Міністерство освіти і науки України

Центральноукраїнський національний технічний університет

В.М. КРОПІВНИЙ, О.В.МЕДВЕДЄВА, А.І.ГРЕЧКА, А.В.КРОПІВНА, О.В.СКРИПНИК

РЕСУРСОЕФЕКТИВНІ ТА ЧИСТІ ТЕХНОЛОГІЇ

Навчальний посібник

Кропивницький 2022

УДК 620.9:622.7
Ресурсоефективні та чисті технології. Навчальний посібник / В.М. Кропівний, О.В. Медведева, А.І.Гречка, А.В. Кропівна, О.В.Скрипник // Загальна редакція В.М.Кропівного. – Кропивницький: ЦНТУ, Електронне видання, 2022. – с.369.

Навчальний посібник спрямований на розкриття суті ресурсоефективних та чистих технологій, їх вплив на навколишнє середовище, проводиться аналіз ефективності поновлюваних джерел енергії. Метою даного навчального посібника є ознайомлення студентів з питаннями застосування ресурсоефективних та чистих технологій і шляхи їх вирішення. Розглядається ефективність впровадження ресурсоефективних та чистих технологій в умовах сучасних викликів розвитку світової економіки та даються рекомендації щодо перспективних шляхів досягнення ресурсо- та енергозбереження.

Укладачі:
Кропівний В. М. – к.т.н., проф., зав.каф. матеріалознавства та ливарного виробництва ЦНТУ;.
Медведева О. В. – к.б.н., доц., зав. каф. екології та охорони навколишнього середовища ЦНТУ;
Гречка А.І. - к.т.н., доц., зав. каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки ЦНТУ;
Кропівна А. В. – к.т.н., доц. каф. матеріалознавства та ливарного виробництва ЦНТУ;
Скрипник О.В. – к.т.н., доц. каф. матеріалознавства та ливарного виробництва ЦНТУ.

Друкується згідно рішення вченої ради ЦНТУ (протокол № 9 від 30.05.2022 р.)
Рецензенти:
Топольний Ф.П. - д.б.н., проф. кафедри загального землеробства ЦНТУ;
Гулай В. В., канд.с.-г. наук, доцент кафедри фізики, біології та методик їхнього навчання ЦДПУ ім. В.Винниченка;
Клименко В.В. - д.т.н., проф. кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту ЦНТУ.

© Центральноукраїнський національний технічний університет, 2022
© Кропівний В.М., Медведева О.В., Гречка А.І., Кропівна А.В., Скрипник О.В. 2022

ЗМІСТ

Стор.

ВСТУП……..…….. 5
1.Основні засади ресурсоефективного та чистого виробництва…... 9
1.1.Розвиток чистих технологій……..…….. 16
1.2.Енергозбереження…… 27
1.2. Основні напрямки підвищення ресурсо- та енергоефективності виробництва……..…….….. 21
1.3. Охорона водних ресурсів……..……... 29
1.4. Охорона земель і ґрунтів…… 34
1.5.Проблеми глобального потепління та забруднення атмосфери.. 36
1.6. Моделювання розвитку цивілізації…….…… 42
1.7. Сталий розвиток цивілізації……..…….48
1.8.Екологічний менеджмент…… 52
2. Екологічні проблеми енергетичного забезпечення людства…… 58
2.1. Сучасний стан виробництва електричної енергії…… 61
2.2. Поновлювана енергетика…….. 67
2.3. Характеристика основних джерел поновлюваної енергії……72
2.3.1. Пряме використання сонячної енергії..……72
2.3.2. Вітрова енергетика……74
2.3.3. Біоконверсія сонячної енергії……76
2.3.4. Гідроенергетика……..77
2.3.5. Хвильова енергетика……80
2.3.6. Припливні електростанції……81
2.3.7. Геотермальна енергетика……83
3.Сонячна енергетика…… 80
3.1.Генерація електроенергії фотоелектричними перетворювачами 92
3.2.Особливості облаштування сонячних електростанцій…….. 108
3.3. Сонячні колектори…….. 114
3.4. Концентратори сонячного випромінювання…… 128
3.5. Накопичення та зберігання електричної енергії…… 136
4.Вітрова енергетика……..… 140
4.1.Конструктивні особливості вітрових генераторів……... 143
4.2.Особливості облаштування вітрових електростанцій……... 154
5.Перспективні енергозберігаючі та ресурсозберігаючі технології…167
5.1. Воднева енергетика……167
5.2. Електромобілі……...179
5.3. Гібридні автомобілі……..190
5.4.Нанотехнології та наноматеріали……..……..192

5.5. Генна інженерія……199
6.Альтернативні види автомобільного палива (біопаливо)……204
6.1.Виробництво біодизельного палива……207
6.2. Виробництво біодизельного палива з водоростей……220
6.3. Виробництво біоетанолу……225
7.Енергозбереження в будівництві та комунальному господарстві..240
7.1.Основні типи енергозберігаючих споруд……242
7.2.Утеплення огороджувальних конструкцій……..251
7.2.1.Теплова ізоляція стін……252
7.2.2.Теплоізоляційні будівельні матеріали……..255
7.2.3. Зовнішнє утеплення фасадів будівель……270
7.2.4.Теплоізоляція відбиваючого типу……..275
7.2.5.Теплозберігаючі вікна……278
7.2.6. Підвищення енергоефективності освітлювальних систем…….283
7.2.7.Рекуперація тепла у вентиляційних системах……288
7.3.Теплові насоси……...300
7.4.Когенерація та тригенерація енергії……309
8.Основні напрямки зниження витрат матеріальних та енергетичних ресурсів в ливарних цехах……318
8.1. Економія електроенергії при роботі дугових печей……320
8.2. Економія електроенергії при роботі індукційних печей……334
8.4. Шляхи економії паливно – енергетичних ресурсів в процесі вагранoчної плавки……..339
8.5. Переплав стружки кольорових та чорних металів……..344
8.6. Регенерація та утилізація формувальних сумішей……346
8.7. Утилізація високотемпературних теплових відходів в технологічних процесах ливарного виробництва……351
8.8. Утилізація теплоти вентиляційних викидів ливарних цехів……..361
Список використаних джерел…… 365

ВСТУП

Підвищення соціальних стандартів у сучасноъ цивілізації супроводжується інтенсивним нарощуванням обсягів виробництва, що в свою чергу вимагає залучення все більшої кількості ресурсів, а це наносить величезну шкоду навколишньому середовищу. Науково-технічний розвиток цивілізації веде до різкого прискорення зростання видобутку корисних копалин. За останні 75 років світовий видобуток нафти зріс більш ніж у 100 раз, вугілля – в 3 рази, природного газу – у 600 разів. Швидкі темпи розробки родовищ видобутку нафти і газу призводять в країнах-постачальниках сировини до катастрофічного забруднення довкілля, а проведення інтенсивних гірських розробок – до техногенного перетворення ландшафтів. Одночасно ціі процеси супроводжуються зростанням обсягів промислових та побутових відходів, відбувається різке погіршення екологічних умов проживання населення, зростання рівня захворюваності та загрозливих змін клімату. Вже сьогодні перед цивілізацією на планеті Земля постають невідкладні завдання: навчитися більш ретельно і бережливо витрачати ті ресурси, що ще залишилося у земних надрах, і, по можливості, вишукувати замінники зникаючим сировинним матеріалам.

Разом з організацією великих промислових виробництв, посилилась їх шкідлива дія на довкілля і виникла реальна небезпека виснаження не лише невідновних, але й ряду відновних природних ресурсів. Створення великих водосховищ при розвитку гідроенергетики викликало катастрофічні зміни рівня грунтових вод і порушення водно-сольового балансу навколишніх територій, привело до виснаження рибних запасів, заростання водосховищ, деградації сільськогосподарських угідь. Робота потужних теплових електростанцій веде створює гігантське забруднення гідросфери і атмосфери, що викликає такі специфічні явища як кислотні дощі та глобальне потепління. Розвиток транспорту та різних телекомунікаційних технологій викликали у мегаполісах підвищення загального рівня шуму, вібрацій, електромагнітних випромінювань.

Сучасна цивілізація підійшла до межі коли біосфера стала втрачати можливість нейтралізації зростаючого антропогенного тиску. У зв'язку з цим ще у 70-х роках XX століття почалися розробки стратегічних планів природоохоронної діяльності, орієнтованих на пошук маловитратних і ефективних технологій виробництва. Основним стратегічним напрямом природоохоронної діяльності на той період

була прийнята стратегія end - of - pipe ("на кінці труби"), коли оцінювалися кінцеві забруднення. Методи захисту навколишнього середовища на той час полягали у видаленні вже утворених забруднювачів із потоку повітря, води, відходів, продуктів тощо. Прикладами таких технологій можуть бути встановлення скруберів та каталізаторів на димових трубах, які зменшують викиди забруднюючих речовин після їх утворення. Однак час показав, що ці методи не є достатньо ефективними для збереження навколишнього середовища.

З 90-х років XX століття у світі почався широкий рух спрямований на зменшення та повне виключення утворення відходів і шкідливих викидів в атмосферу, зменшення споживання вихідної сировини, матеріалів та енергії. Нова зразки техніки і технології, досягнення медицини, засоби масової інформації стали докорінно змінювати умови життя людей. Однак у таких умовах все частіше стало поставати питання щодо небажаних та непередбуваних наслідків науково-технічного прогресу. У XX столітті людству не вдалося зупинити процеси забруднення вод, грунтів і повітря, опустелювання земель, знищення лісів тощо.

Формування національної політики і стратегії розвитку розвинутих країн світу у XXI столітті стало пов’язуватися з використанням екологічно безпечних технологій, дотриманням вимог екологічної безпеки та раціонального природокористування. Останні десятиліття все ширше розповсюдження знаходить розвиток ідей «чистого виробництва», прискореного переходу до маловідходних технологій та до виробництва екологічно чистої продукції.

На сучасному етапі є загальнопризнаним, що зниження впливу промислового виробництва на навколишнє середовище може бути досягнуто шляхом:

-раціонального використання сировини і енергетичних ресурсів, мінімізації викидів, скидів, відходів;

-впровадження у виробництво екологічно чистих ресурсозберігаючих технологічних процесів;

-переходу до широкого використання поновлюваних джерел енергії.

Широкомасштабність і величезна різноманітність методів ефективного використання природних ресурсів у господарській діяльності зумовили необхідність застосування системного підходу, науково-обгрунтованого інформаційного і економічного аналізу результатів природокористування. Вирішення проблеми ресурсозбереження завжди вимагає великих організаційних зусиль від

влади та підприємців щодо підвищення ефективності використання ресурсів. Важливу роль при цьому відіграє наявність свідомої громадської відповідальності кожного жителя нашої планети - здатності ставити суспільне благо вище особистого. Виховання у людей усвідомленого «ресурсозбережного» світогляду є важливим для досягнення високої ефективності використання ресурсів у повсякденному житті шляхом вибору теплового режиму і режимів освітлення та водокористування у житлових помешканнях, енергозберігаючих підходів до вибору побутової техніки тощо.

Навчальний посібник «Ресурсоефективні та чисті технології укладений відповідно до Державного освітнього стандарту підготовки фахівців галузі знань 10 «Природничі науки» спеціальності 101 «Екологія» та галузі знань 13 «Механічна інженерія» спеціальності 131 «Прикладна механіка». Даний посібник є логічним продовженням, стореним у розвиток матеріалів, які було викладено у навчальному посібнику Утилізація та рекуперація відходів / В.М. Кропівний, О.В. Медведева, А.В. Кропівна, О.В.Кузик // Загальна редакція В.М.Кропівного. – Кропивницький: ЦНТУ, Електронне видання, 2020.

Навчальна дисципліна «Ресурсоефективні та чисті технології» має сформувати у студентів знання про основні концепції сталого розвитку суспільства, принципи побудуви безпечного суспільства з урахуванням економічних, соціальних та екологічних аспектів, основними методами ресурсозбереження та прикладами практичної реалізації екологічно чистих технологічних та інженерних рішень. Зміст даної навчальної дисципліни включає інформацію про основні концепції сталого розвитку цивілізації, принципи побудуви безпечного існування суспільства, основні методи ресурсо- та енергозбереження та знайомить з прикладами практичної реалізації екологічно чистих технологічних та інженерних рішень.

Основною метою навчальної дисципліни «Ресурсоефективні та чисті технології» є формування у студентів компетентностей щодо використання поновлюваних джерел енергії, нових екологічно чистих технологічних процесів, які дозволяють зменшити шкідливий вплив промислових об‘єктів на навколишнє середовище та реалізувати заходи по енергозбереженню. Запропонований навчальний посібник допоможе майбутнім фахівцям отримати уявлення про основні принципи ресурсоефективного виробництва, забезпечення прискореного переходу країни до «зеленої» моделі економіки. Набуті компетенції дозволять їм у майбутній діяльності вирішувати складні

технічні та організаційні проблеми, бути провідниками впровадження ресурсозберігаючих та екологічно чистих технологій. Студенти мають отримати навички аналізу та оптимізації технологічних процесів з метою зниження енергетичних витрат і втрат, мінімізації ресурсоспоживання. Значну увагу у навчальному посібнику приділено розкриттю проблем та перспектив застосування альтернативних джерел енергії та біопалив, дається характеристика поновлюваним джерелам енергії. Виклад навчального матеріалу базується на конкретних прикладах технологій ресурсо- та енергозбереження, приводиться техніко-економічний аналіз сучасних технологій.

Вивчення дисципліни базується на знанні студентами основних понять фізики, хімії, економіки, соціології, екології та дисциплін професійної підготовки. При вивченні навчальної дисципліни застосовується міждисциплінарний і системний підхід стосовно основних проблем взаємодії людини й навколишнього середовища, виходячи з принципів сталого розвитку.

При написанні даного посібника використано багаторічний досвід викладання дисципліни «Ресурсоефективні та чисті технології» в Центральноукраїнському національному технічному університеті. Розділ 7 підготував В.М.Кропівний, розділи 5,6 підготував А.І.Гречка, розділи 1,2 підготувала О.В.Медведєва, розділи 3,4 підготувала А.В.Кропівна, розділ 8 підготував О.В.Скрипник. Загальна редакція В.М.Кропівного.

Автори вдячні рецензентам за цінні вказівки, і будуть і будуть вдячні всім, хто надасть відгуки та зауваження, спрямовані на поліпшення змісту даного посібника.

1.ОСНОВНІ ЗАСАДИ РЕСУРСОЕФЕКТИВНОГО ТА ЧИСТОГО ВИРОБНИЦТВА

Проведення структурних інноваційних зрушень в економіці та широке використання нових технологій природокористування, модернізації та технологічного вдосконалення суспільного виробництва дозволяють досягнути зниження навантаження на навколишнє середовище. Відповідно до Закону України "Про інноваційну діяльність" головною метою державної інноваційної політики є створення соціально-економічних, організаційних і правових умов для ефективного відтворення, розвитку й використання науково-технічного потенціалу країни, забезпечення впровадження сучасних екологічно чистих, безпечних, енергозберігаючих та ресурсозберігаючих технологій, виробництва та реалізації нових видів конкурентоспроможної продукції.

Розвиток сучасного виробництва відбувається у напрямку використання високопродуктивних та енергонасичених зразків техніки і наукомістких інформаційних та телекомукаційних технологій, на передових досягненнях агрохімії та генетики, що забезпечує докорінну зміну умов життя людей. Відбувається, властиве для інноваційної економіки, зниження витрат всіх видів матеріальних ресурсів на одиницю кінцевої продукції. В той же час, все частіше постають питання щодоо катастрофічного впливу досягнень науково-технічного прогресу на навколишнє середовище та здоров’я людини.

Ресурсоефективне та чисте виробництво являє собою сучасну стратегію безперервного комплексного застосування заходів щодо попередження шкідливого впливу виробничих процесів на навколишнє середовище з метою виробництва конкурентоздатної продукції та зниження ризиків для здоров’я людини.

Ефективне функціонування будь-якого виробництва потребує:

-енергетичних ресурсів (електроенергія, природний газ, нафтопродукти, теплопостачання тощо);

- сировинної бази;
- водопостачання;
- утилізації відходів, стічних вод та викидів;
- якісної системи управління;
- кваліфікованого креативного персоналу.

Ресурсоефективне та чисте виробництво – це комплексна, послідовна, превентивна екологічна стратегія для застосування у

виробничих процесах, яка покликана підвищувати економічну ефективність виробництва, знижувати виробничі ризики для людей та зменшувати навантаження на навколишнє середовище.

Метою ресурсоефективного та чистого виробництв є:

- скорочення споживання сировини, матеріалів, води та енергетичних ресурсів підприємствами;
- відмова від використання шкідливих для здоров'я людей речовин;
-створення екологічно чистої продукції;
-скорочення обсягів утворення викидів та відходів.

До головних цілей ресурсоефективного та чистого виробництва відноситься:

-ефективне використання сировинних та енергетичних ресурсів, шляхом зменшення кількості витрачених під час виробництва ресурсів на одиницю виготовлених товарів та послуг;
-мінімізація впливу на довкілля шляхом реалізації заходів та технічних рішень, що забезпечують скорочення обсягів викидів в атмосферу, скорочення та безпечну утилізація відходів, а також повернення відходів до виробничого циклу або використання їх як вторинних матеріалів, ефективне споживання води, упровадження безстічних і водооборотних технологій за рахунок очищення стічних вод;
-покращення добробуту людей, що проявляється в мінімізації ризиків та дотриманні вимог економічної й екологічної безпеки завдяки створенню чистого довкілля, безпечних умов праці тощо.

Розширення ресурсоефективного та чистого виробництва на сучасному етапі, головним чином, сприяє:

- ефективному використанню природних ресурсів;
-мінімізації відходів та викидів, використання безстічних технологій та водооборотних циклів;
- зниженню ризику для людини і навколишнього середовища внаслідок застосування хімічних речовин та утилізації хімікатів, що використовуються в промисловості.

На сучасному етапі до основних практичних інструментів переходу до ресурсоефективного та чистого виробництва відносяться:

-застосування новітніх виробничих технологій, які забезпечують скорочення використання природних ресурсів і енергії, зниження рівня забруднення навколишнього природного середовища;
-належне ведення господарської діяльності та експлуатації технологічного обладнання, проведення екологічної модернізації промислових підприємств;

- перехід на більш доступні матеріали у виробничих процесах;
- покращення контролю виробничих процесів;
- заміщення первинних природних ресурсів за рахунок повторного використання відходів у виробничих процесах;
- розширення низьковуглецевого розвитку всіх галузей економіки, ефективне використання побічних продуктів та енергії;
-удосконалення кінцевого продукту для зменшення його негативного екологічного впливу на навколишнє середовище під час та після його використання.

Ефективність підприємств у XXI столітті визначається ступенем їх ресурсоефективності, яка стає ознакою прогресивного бізнесу і політичною вимогою міжнародної громадськості. Термін «ресурсоефективність» означає здатність досягати максимально продуктивних виробничих результатів при мінімальному використанні матеріальних, енергетичних, фінансових і людських ресурсів. З іншої сторони, під ресурсоефективністю розуміють використання меншої кількості ресурсів для виробництва того ж обсягу продукції або отримання такої ж властивості - наприклад, заданої температури повітря в приміщеннях при використанні певної кількості матеріалів і енергії. При розробці технологій з застосуванням методів ресурсоефективного та чистого виробництва проводиться критичний аналіз життєвого циклу отримуємого продукту - від видобутку сировини до переробки та кінцевої утилізації непридатних для переробки відходів.

Вирішення питань ресурсозбереження вимагає значних організаційних зусиль як від влади, так і від кожного жителя нашої планети щодо:
- підвищення ефективності використання ресурсів;
- здатності ставити суспільне благо вище особистого.

Для впровадження принципу «забруднювач - платить», держава повинна здійснити перехід від класичної податкової системи, до нових підходів на основі екологічної податкової реформи, коли оподатковується не праця і вироблена продукція, а обсяги спожитих ресурсів. Виховання у людей усвідомленого «ресурсозбережного» світогляду є важливим елементом досягнення високої ефективності використання ресурсів у повсякденному житті шляхом вибору теплових режимів і режимів освітлення і водокористування роздільного збирання відходів тощо.

Проміжним етапом при створенні безвідходного виробництва є розширення застосування маловідходних технологій. Маловідходна технологія - це спосіб виробництва, при якому забезпечується оптимальне використання сировини й енергії з мінімальним негативним впливом на природне середовище в ланцюгу сучасних технологічних процесів: природні ресурси - виробництво - споживання - вторинна сировина. При маловідходному виробництві частина сировини і матеріалів все ж перетворюється у відходи та спрямовується на захоронення, однак його шкідлива дія на довкілля не перевищує допустимі рівні. У машинобудівній промисловості розроблення маловідходних технологічних процесів спрямовується на підвищення коефіцієнта використання металу.

Чисті технології, які спрямовуються попередження виникнення або розв'язання екологічних проблем, поділяються за наступними критеріями:

- технології, використання яких не порушує природні екосистеми;
- технології, які забезпечують скорочення шкідливих викидів (збір та нейтралізація забруднюючих речовин, обмеження утворення двоокису вуглецю тощо);
- технології, які базуються на використанні поновлюваних джерел енергії (сонячна та вітрова енергетика, виробництво біопалива тощо);
- технології, які спрямовані на скорочення неефективних витрат паливних матеріалів, енергії або води, наприклад, перехід до енергоефективних технологій освітлення, вдосконалення конструкцій двигунів внутрішнього згорання тощо;
- технології відновлювлення екосистем, які було порушено через втручання людини (рекультивація земель, локалізація ділянок розливу нафти, ефективна консервація шахтних виробок тощо);
- технології виробництва і споживання, які адаптовані до незворотних змін довкілля (змін клімату, виснаження озонового шару, ґрунтової ерозії тощо).

Створення нових ресурсоефективних та чистих виробництв базується на використанні ряду взаємопов'язаних принципів та підходів (табл.1).

Принцип системності. Кожен окремий технологічний процес або виробництво розглядаються у складі комплексу матеріального виробництва, господарської діяльності людини, побутового середовища проживання людини та природного середовища

(популяція живих організмів, атмосфера, гідросфера, літосфера, біогеоценози, ландшафти).

Принцип комплексності використання ресурсів. Кожне виробництво має досягати максимального використання всіх компонентів вихідної сировини і потенціалу енергоресурсів. Комплексне використання ресурсів є найбільш актуальним для металургійних комплексів, які поєднують коксохімічне, доменне та сталеплавильне виробництво. Побічні продукти коксохімічного виробництва використовуються для виробництва азотних добрив, синтетичного каучуку та пластмас, синтетичних смол. Металургійні шлаки є дешевою сировиною для цементної і будівельної індустрії. Тепло розжарених газів, які утворюються в металургійних процесах, утилізується в регенераторах для підігріву повітря, що вдувається в доменні печі. Значна кількість тепла, що виноситься з розжареними доменними газами, може бути використана для підігріву повітря або обігріву приміщень. Прикладом комплексного використання сировини також є використання деревини для перероблення на основну продукцію та відходів для виробництва деревостружкових, деревоволокнистих плит, целюлози, пелет, дров тощо.

Принцип циклічності матеріальних потоків. Найбільш ефективними циклічними матеріальними потоками є замкнуті водо- і газооборотні цикли, рециклінгова переробка відходів, а також використання когенераційних установок.

Принцип раціональності організації виробництва. Сучасне виробництво передбачає використання технологій з мінімальними витратами енергії, сировини та людських ресурсів, а також з високою екологічністю.

Переходу до екологічно безпечних та більш чистих виробництв сприяє узгодження національної політики у сфері реструктуризації, модернізації та розвитку секторів національної економіки з політикою охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та поліпшення якості життя населення. Приєднання України до низки міжнародних і європейських угод в галузі охорони навколишнього середовища зумовило необхідність розроблення механізмів переходу до «зеленої» промисловості та екологічної модернізації небезпечних промислових виробництв.

Таблиця 1

Підходи ресурсоефективних та чистих виробництв

Підходи	**Опис підходу**
Належне господарювання	регулярне проведення у господарській діяльності підприємства дій, які стосуються підтримки необхідного робочого стану та режимів роботи обладнання, його обслуговування та поточного ремонту з метою уникнення перевитрат ресурсів і забезпечення належних умов праці персоналу.
Зміна вхідних ресурсів	пошук та вибір вторинних матеріалів, придатних для заміни первинної сировини, застосування менш шкідливих чи токсичних речовин у процесі виробництва, використання альтернативних видів палива для покращення екологічних характеристик продукції та зменшення впливу на навколишнє середовище.
Покращення контролю за технологічними показниками	застосування систематичних заходів з метою обліку споживання ресурсів та утворення відходів і стоків, визначення та контролю технологічних показників і робочих режимів обладнання на всіх виробничих етапах.
Модифікація обладнання	процес удосконалення, модернізації та оновлення техніко-технологічної бази підприємства для досягнення оптимальних параметрів роботи обладнання, забезпечення надійної роботи та кращих показників продуктивності виробництва.
Технологічні зміни	заміна способу обробки та перетворення вхідних ресурсів (матеріалів, енергії, води тощо) на різних етапах виробництва продукції з метою покращення її якісних характеристик або скорочення обсягів споживання ресурсів.
Переробка та повторне використання ресурсів	здійснення підприємством технологічних операцій, пов’язаних зі зміною фізичних, хімічних або біологічних властивостей відходів виробництва з метою їх подальшого застосування або повернення у технологічний процес у вигляді вторинних ресурсів (сировинних, енергетичних, водних).
Виробництво супутньої продукції	отримання додаткових видів продукції, які мають комерційну привабливість для споживачів, із залишків матеріалів або відходів виробництва основного продукту.
Модифікація продукції	зміни у продуктах, що виробляються, для вдосконалення їх характеристик (механічних, фізичних чи хімічних властивостей), підвищення екологічної та економічної привабливості товарів, спрощення способів їх утилізації та подовження життєвого циклу.

Таблиця 2

Основні контрольні показники реалізації державної екологічної політики визначені в Законі України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року»

Найменування показника	Одиниця виміру	Цільові значення			
		базовий рік (2015 рік)	2020 рік	2025 рік	2030 рік
Частка відновлювальних джерел енергії (включно з гідрогенеруючими потужностями та термальною енергією)	відсотків загального споживання енергії	4	8	12	17
Водоємність валового внутрішнього продукту	$м^3$ використаної води на 1000 гривень ВВП у, у фактичних цінах	3,6	3,2	2,9	2,5
Енергоємність валового внутрішнього продукту	відношення витрат первинної енергії на одиницю валового внутрішнього продукту, кілограмів нафтового еквівалента на 1 долар США за паритетом купівельної спроможності 2011 року	0,28	0,2	0,18	0,13
Скиди забруднених стічних вод у водні об'єкти	відсотків загального обсягу скидів	15,7	13	10	5
Обсяги використання первинної сировини	відсотків загального обсягу використаної сировини	90	85	80	70
Викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря від стаціонарних джерел	відсотків обсягу викидів у 2015 році	100	95	90	85
Електротранспорт	відсотків загальної кількості нових придбаних автотранспортних засобів		0.1	0,5	10

Для реалізації пріоритетів розвитку чистого виробництва на Україні передбачається здійснення наступних заходів:

- поширення інформації про засади чистого виробництва;

- розробка та реалізація стимулювання екологічних чинників розвитку виробництва;
- перегляд екологічних нормативів забруднення навколишнього середовища та проведення гармонізації національних стандартів із стандартами ЄС.

Вирішенню питань розширення ресурсоефективного та чистого виробництва сприяє Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», який зокрема передбачає наступні стратегічні напрямки:
- стимулювання державою вітчизняних суб'єктів господарювання, які здійснюють скорочення викидів парникових газів, зниження показників енерго- та ресурсоємності, модернізацію виробництва, спрямовану на зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище,
- усунення прямої залежності економічного зростання від збільшення використання природних ресурсів і енергії та підвищення рівня забруднення навколишнього природного середовища;
- стимулювання впровадження суб'єктами господарювання більш екологічно чистого, ресурсоефективного виробництва та екологічних інновацій, зокрема екологічної модернізації промислових підприємств;
- провадження в Україні сталого низьковуглецевого розвитку всіх галузей економіки.

Основними бар'єрами для широкого впровадження ресурсо- та енергоефективних технологій є:
- недостатність інвестицій у створення сучасних виробництв;
- недостатнє стимулювання державою програм ресурсоефективних та чистих виробництв, відсутність ринкового механізму скорочення витрат на енергоефективні заходи та енергозберігаючі технології.

1.1.Розвиток чистих технологій

Якість життя населення визначається рівнем екологічної безпеки виробництва, який проявляється через утримання чистого довкілля, створення санітарно безпечних умов праці, підтримку соціального розвитку територіальних громад. До теперішнього часу економічний розвиток цивілізації супроводжується виникненням та посиленням екологічних проблем, що виникають у результаті інтенсивної експлуатації природних ресурсів та вичерпування можливостей навколишнього середовища поглинати відходи виробництва та життєдіяльності людини.

Системи природокористування в історичному розрізі здійснювали здійснювали періодичні трансформаційні зміни у вигляді інноваційних хвиль. Першу інноваційну хвилю, яка розпочалася в 1785 році, повязують з початком використання заліза, водяного двигуна та запровадженням механізації виробництва. Друга хвиля, яка бере свій початок з середини XIX сторіччя, характеризується впровадженням парових двигунів, залізниці, промислового сталеваріння та машинного виробництва текстилю. Третя хвиля виникла на початку XX століття з розповсюдженням використання електричних двигунів, двигунів внутрішнього згорання та розвитком хімічних технологій. Четверта хвиля трансформації системи природокористування у середині XX століття була спричинена розвитком технологій нафтохімії, електроніки, авіації та початком освоєння космосу. П'ята інноваційна хвиля, яка бере початок з кінця XX століття, пов'язана з розвитком цифрових мереж та інформаційних технологій, біотехнологій.

Шоста інноваційна хвиля, виникнення якої спостерігається на сучасному етапі, пов'язується із сталим розвитком цивілізації, зростанням ефективності використання природних ресурсів, розвитком чистих технологій, індустріальної екології, поновлювальних джерел енергії, генної інженерії та нанотехнологій. В цей період знаходить розвиток оцінка безпекових цінностей особистості, людського здоров'я, соціальної стабільності, збереження природних ресурсів та біорізноманіття. Питання безпеки стають базовими для визначення напрямів державних політик суспільного розвитку.

До чистих технологій відносять конкурентоспроможні і ефективні технології, використання яких створює менше відходів та завдає меншої шкоди навколишньому середовищу. В багатьох випадках одні і ті ж технології попадають під визначення як ресурсоефективних так і чистих технологій. З точки зору продукції чисте виробництво означає зменшення його впливу на навколишнє середовище в технологічному ланцюгу від видобутку сировини до утилізації відходів. Стосовно до технологічних процесів, чисте виробництво – це раціональне використання сировини та енергії, виключення застосування токсичних сировинних матеріалів, зменшення кількості і ступеня токсичності викидів і відходів, що утворюються у процесі виробництва.

Міжнародною Програмою ООН з довкілля (UNEP), яка була розроблена у 1972 році, визначено 10 ключових секторів впровадження чистих технологій:

-сільське господарство;

-житлово-комунальне господарство;
-енергетика;
-рибальство;
-лісове господарство;
-промисловість;
-туризм;
-транспорт;
-утилізація та переробка відходів;
-управління водними ресурсами.

Перехід до екологічно чистого виробництва потребує докорінної зміни принципів політики організації сучасного виробництва і ґрунтується на результатах міждисциплінарних наукових досліджень шляхів збереження і захисту природного середовища. Розвинуті країни світу все більше віддають пріоритет стимулюванню бізнесу, який спрямовується на мінімізацію екологічно-деструктивного впливу в процесі створення сприятливих умов життя. Ця програма спрямована на вирішення гострих проблем сучасної екологічної кризи (опустелювання, деградації ґрунтів, погіршення якості і зменшення кількості прісних вод, забруднення Світового океану). Досягнення такої мети має базуватися на використанні чистих (зелених) технології. ООН в Програмі з ЮНЕП, дає визначення зеленої економіки як такої, що призводить до покращення добробуту людей та соціальної справедливості, одночасно значно зменшуючи екологічні ризики та екологічний дефіцит. Зелена економіка вносить до традиційної економіки чинники екології, справедливості, соціальної та екологічної відповідальності. Насамперед це технології в енергетиці та сільському господарстві, впровадження яких розглядається як шлях до викорінення злиднів та досягнення продовольчої безпеки при збереженні земель та водних ресурсів, пом'якшення наслідків глобального потепління.Зелена економіка використовує рішення, які дозволяють одночасно боротися з бідністю, глобальними змінами клімату, зниженням біорізноманіття. В останні десятиліття концепція зеленої економіки стає стратегічним пріоритетом для урядів багатьох держав і міжурядових організацій. У перспективі очікується, що зелена економіка зможе забезпечити значне зростання валового внутрішнього продукту, збільшити доходи на душу населення і зайнятість у таких самих або навіть більш високих темпах ніж розвиток традиційної економіки.

Таблиця 3

Завдання та кінцеві цілі державної політики в зелених секторах економіки (за оцінками Програ́ми ООН з довкі́лля (ЮНЕП))

новні засади впровадження моделі «зеленої» економіки в Україні

№ пп	Сектор економіки	Шляхи досягнення мети	Кінцеві цілі
1	Підвищення Енергоефектив-ності житла	Реконструкція житла, гнучке проектування, енергоактивні будівлі, нульовим енергоспоживанням	Скорочення енергоспоживання майже на 80% порівняно з традиційним проектуванням будівель, створення мільйонів робочих місць
2	Сталий транспорт	Перехід на низьковуглецеві види палива. Інвестування в енергоефективний транспорт, електрифікацію, розширення залізнизь.	Скорочення споживання палива світовим парком автомобілів до 2050 року на 50 %, попередження викидів CO_2 щорічно обсягом 2 гігатонни, створення 3,8 млн нових робочих місць у світі.
3	Стала енергетика	Інвестування в інтелектуальні енергорозподільні системи типу «smart grids», в інфраструктуру для відновлювальних джерел енергії, у розвиток і викорис-тання технологій альтернатив-ної енергетики	Понад 20 млн додаткових робочих місць: 2,1 млн у вітроенергетиці, 6,3 млн у геліо-фотоелектричній галузі, 12 млн у сільському господарстві і промисловості, пов'язаних з виробництвом біопалива. Зменшення вики-дів вуглецю.
4	Стале сільське господарство	Інвестування у стале сільське господарство, у т.ч. органічне землеоброблення. Відрахування розвинутими країнами частини стимулювальних пакетів на користь країн, що розвиваються.	До 2050 р., згідно з прогнозами, один гектар Землі повинен прогодувати від 6,1 до 6,4 осіб проти 4,5 осіб у 2005 р. Створення на 30% більше робочих місць.
5	Прісна вода	Інвестування в інфраструктуру забезпечення чистою водою	До 2015 р. удвічі зменшити кількість людей, що не мають постійного доступу до безпечної води табазової санітарії. Глобальний виграш у 38 млрд дол. США у рік
6	Екологічна інфраструктура	Інвестування у здорові еко-системи: водозбірні басейни, річкові системи, водно-болотні угіддя, ґрунти, ліси, океани та коралові рифи, що надають важливі економічні послуги	Створення значної кількості додаткових робочих місць (вимагатиме від 10% до 40% від обсягу інвестицій). Скорочення обсягу використа-них природних ресурсів
7	Ефективне використання матеріалів та енергії у вироб-ничих процесах	Інвестування в екологічно чисті технології, чисте виробництво, відновлювальну енергетику	Скорочення субсидій на видо-буток і використання викопного палива. Загальне зменшення матері-алоємності та енергоємності виробництва
8	Утилізація відходів, вторинна переробка матеріалів	Включення у вартість продукції вартості шкоди для довкілля. Забезпечення безпечного й чистого відвантаження, вивозу, збереження та утилізації від-ходів при дотримані трьох правил: зменшення кількості відходів, їх вторинна переробка та вторинне використання	У 2000 році на сектор вторин-ної переробки у країнах-чле-нах Євросоюзу припадало 4 % ВВП цього регіону (а може не регіону а сектору уточнити в першоджерелі). Очікується, що в умовах під-вищення цін на сировинні товари сектор буде швидко зростати

Зелені технології мають величезний потенціал для забезпечення постійного інноваційного розвитку, що дозволяєь підвищувати ефективність існуючих виробництв, значно знизивши рівень небезпечних викидів та відходів, що зближує їх за метою та методами досягнення з чистими технологіями (табл.3).

Важливим чинником розвитку та розширення впровадження екологічно орієнтованих технологій стає послідовна реалізація заходів державної політики. Приєднання України до низки міжнародних і європейських угод в галузі охорони навколишнього середовища зумовило необхідність розроблення механізмів проведення екологічної модернізації промислових виробництв у пріоритетних виробничих секторах економіки (хімічна, харчова, металургійна та металообробна галузі промисловості). До основних складових такої модернізації виробництва відносять заміну застарілих технологій на більш енерго- та екологічно ефективні, удосконалення технологічних процесів з метою підвищення ефективності використання ресурсів у виробництві та послугах, мінімізації відходів. Реалізації програм створення екологічно чистого виробництва передбачає оптимізацію виробничих процесів, впровадження енергоощадних і маловідходних технологій, використання екологічно чистої сировини, зменшення обсягів утворення токсичних і небезпечних відходів. Розробка і впровадження чистих технологій є невід'ємною частиною соціального процесу, яке співвідноситься з економічними, політичними, етичними та культурними цінностями.

У реалізації моделі зеленого зростання важлива роль приділяється енергетичному та транспортному сектору, які утворюють значні обсяги викидів вуглекислого газу в атмосферу. У якості складового елемента сучасної зеленої економіки на перший план виходить «низьковуглецева економіка» (low-carbon economy), яка охоплює енергетичний сектор, розвиток альтернативної енергетики, а також проблеми енергоємності виробництва та енергоефективності економічної діяльності в цілому. В цьому проглядається близькість за метою і шляхами доосягнення термінів «чисті технології» та «зелені технології».

Традиційні технології виробництва сільськогосподарської продукції суттєво порушують природну рівновагу та забруднюють навколишнє середовище. Сільськогосподарське виробництво створює ряд екологічних проблем:

- забруднення ґрунтів, ґрунтових та поверхневих вод, а також і питної води залишками мінеральних добрив та пестицидів;
- забруднення навколишнього середовища відходами тваринницьких ферм (бактеріальне зараження ґрунту, забруднення атмосферного повітря метаном, сірководнем, аміаком);
- негативний вплив на здоров'я людини рослинних продуктів, у яких накопичилися залишки мінеральних добрив та отрутохімікатів;
- ймовірні ризики для здоров'я людини у разі вживання в їжу продуктів харчування, отриманих з генетично модифікованих організмів;
- зменшення видового різноманіття рослинного й тваринного світу;
- виснаження, заболочення, засолення ґрунтів.

Для розв'язання вказаних проблем набувають поширення методи чистих (зелених) технологій виробництва, які охоплюють галузі рослинництва і тваринництва. Такі технології спрямовуються на:
- відмові від використання гербіцидів, пестицидів, фунгіцидів, штучних добрив та перехід до застосування біологічних засобів захисту рослин;
- застосуванні у якості добрив тваринних і рослинних відходів;
- застосуванні сівозміни для відновлення родючості ґрунтів;
- розширенні застосування ручної роботи замість механізованої при виробництві продукції рослинництва незважаючи на підвищення трудомісткості;
- запаровадженні обов'язкового випасу худоби, відмова у тваринництві від використання синтетичних кормових добавок, гормонів, антибіотиків.

Застосування чистих методів у сільськогосподарському виробництві веде до помітного підвищення вартості отриманих продуктів. Станом на 2019 рік на Землі вже більше 70 млн га сільськогосподарських угідь використовувалися відповідно до принципів чистого (зеленого) виробництва, що становить лише 1,4% від загального обсягу всіх сільськогосподарських угідь.

1.2. Основні напрямки підвищення ресурсо- та енергоефективності виробництва

Розвиток сучасної цивілізації базується на ресурсах, які класифікуються за п'ятьма основними групами:
- матеріальні - природні і створені людиною штучні засоби виробництва і споживання;

- трудові - частина населення держави, що володіє здібностями, необхідними для трудової діяльності;
- фінансові – ресурси, які забезпечують здійснення капітальних вкладень, наповнення оборотних коштів, здійснення торговельної діяльності та накопичень;
- інформаційні - ресурси знань і інфраструктура, що забезпечує їх зберігання і використання;
- часові - ресурси часу.

В даному навчальному курсі першочергова увага буде звертатися на матеріальні ресурси.

Природні матеріальні ресурси додатково класифікуються за рядом ознак:
- за розміщенням і шляхами надходження - ресурси сонячної енергії, атмосфери, гідросфери, літосфери, біосфери;
- за ознакою поновлюваності - поновлювані, непоновлювані та обмежено поновлювані ресурси;
- за ступенем вичерпності - вичерпні і невичерпні;
- за галузевою ознакою - паливно-енергетичні, мінеральні, лісові, сільськогосподарські, рибні, промислові біоресури, транспортні, рекреаційні;
- за взаємозамінністю - незамінні (кисень повітря і прісна вода для життєдіяльності людини; грунт для сільгоспкультур тощо) і взаємнозамінні (енергоресурси, харчові продукти);
- за ступенем потреби в ресурсах - продукти першої необхідності (їжа, житло, тепло, світло, засоби праці тощо) і продукти не першої необхідності (предмети розкоші, послуги туризму тощо);
- за ступенем залучення в господарський оборот - функціонуючі, потенційні, які ще не залучені в господарський оборот.

Будь-який технологічний процес вимагає певної витрати палива, електричної та теплової енергії, що передбачає використання різних енергоносіїв. Розвиток цивілізації супроводжується стрімким ростом енергоспоживання. 5000 років тому для виживання людського індивіда було достатнім споживання 12 000 ккал енергії на день, а вже на початку XV століття потреби зросли до 26 000 ккал на день. Після індустріалізації виробництва в наприкінці XIX століття споживання енергії, яке припадало на кожного жителя розвинутих країн, зросло до 77 000 ккал.

У зв’язку з підвищенням вимог до комфортних умов проживання до 1975 року споживання енергії людиною досягло 230 000 ккал на день.

Видобуток нафти впродовж XX століття збільшився у 12 разів, руд та мінералів – у 27 разів, будівельних матеріалів – у 34 рази, біомаси – у 3,6 разів. Таке зростання супроводжувалося збільшенням потреби в енергоресурсах та загостренням глобальних екологічних проблем.

Починаючи з 2000 року країни Європейського Союзу зробили величезний крок у своєму економічному розвитку, але при цьому, завдяки заходам по підвищенню ресурсо- та енергоефективності , вже не відбувалося інтенсивне зростання споживання енергії. У 2015 році енергоспоживання країн ЄС було навіть нижчим, ніж у 1990 році.

Джерела енергії – це матеріальні об'єкти, в яких зосереджена енергія, придатна для практичного використання. Існує п'ять основних джерел енергії:

1) сонячне випромінювання;
2) гравітаційні взаємодії (енергія тяжіння Місяця);
3) геотермальні процеси (теплова енергія ядра Землі);
4) ядерні реакції;
5) хімічні реакції.

Непоновлювані енергетичні ресурси (вугілля, нафта, природний газ, радіоактивні елементи) - це природні запаси речовин і матеріалів, які можуть бути використані людством для виробництва електричної, теплової або механічної енергії. Енергія в цих джерелах знаходиться в звязаному вигляді і вивільняється в результаті цілеспрямованої діяльності людини.

Поновлювані джерела енергії – це джерела на основі постійно існуючих або періодично виникаючих процесів в природі, а також життєвому циклі рослинного і тваринного світу та життєдіяльності людського суспільства.

Гострою проблемою сучасності руйнуючий вплив результатів науково-технічного прогресу навколишнє природне середовище. Основними джерелами антропогенного забруднення середовища є виробники енергії (ТЕС, АЕС, ГРЕС, сотні тисяч котельних), промислові об`єкти (в першу чергу металургійні, хімічні, нафтопереробні, цементні і целюлозо-паперові), гірничі розробки, екстенсивне сільськогосподарське виробництво, військова промисловість і військові об`єкти, автомобільний транспорт тощо. При використанні поновлюваних джерел енергії не відбувається виснаження природних ресурсів, не утворюються небезпечні відходи та знижується шкідливий вплив енергоспоживання на навколишнє середовище. До поновлюваних джерел енергії відноситься:

- сонячна енергія;
- енергія вітру;
- енергія водних потоків, припливів, океанічних хвиль;
- геотермальна енергія;
- низькопотенційна теплова енергія земних надр та повітря;
- біомаса рослин, яка вирощена для спалювання та біогаз.

На сучасному етапі розвитку цивілізації основні підходи до енергозбереження включають в себе:
- перехід від викопного палива до поновлюваних джерел енергії;
- поступову заміну транспортних засобів з бензиновими і дизельними двигунами на електротранспорт або транспорт на водневому паливі;
- використання низькопотенциальної теплової та кінетичної енергії земних надр та повітря;
- збільшення енергетичної ефективності використання виробничого устаткування, побутових приладів та діючих технологічних процесів;
- розробка і впровадження економічних законів, які стимулюють розвиток енергозберігаючих технологій.

Поняття «енергоефективність» означає рівень раціонального використання енергетичних ресурсів на одиницю кінцевого продукту, досягнення економічно доцільної ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів при сучасному рівні розвитку техніки та технології та при дотриманні вимог до збереження навколишнього середовища. Енергоефективність може означати як оптимізацію процесів заради зменшення споживання енергії у виробничому процесі, так і підвищення енергоефективності на стадії експлуатації обладнання, агрегатів, а також будівель. Чим меншими є втрати енергії в системі, тим вищою є її енергоефективність. Підвищення енергоефективності досягається в результаті застосування комплексного підходу від етапу проектування до введення в дію та експлуатації об’єкта чи технології (обладнання).

За даними ООН, підвищення енергоефективності дозволяє більш ефективно забезпечувати захист навколишнього середовища ніж шляхом впровадження технологій зеленої економіки. Енергоефективність та використання поновлюваних джерел енергії є головними стратегіями багатьох країн, що забезпечують скорочення викидів парникових газів в атмосферу.

Розвиток сектору енергетики України на сьогодні ускладнюється рядом проблемних питань, а саме:

- дефіцит маневрових і резервних потужностей в існуючій структурі електрогенерації у поєднанні з суттєвим дисбалансом в їх регіональному розміщенні;
- зношеність значної частини енергогенеруючих потужностей та мереж постачання енергії, що веде до високих питомих витрат палива;
- нестача обсягів власного видобування первинних енергоносіїв для задоволення потреб споживачів (природного газу, сирої нафти та ядерного палива);
- недостатність встановлених потужностей поновлюваних джерел енергії;
- низька енергоефективність всіх галузей народного господарства.

Використання зношеного обладнання і застарілих технологій є причиною значних втрат електричної та теплової енергії. Підвищення енергоефективності дозволяє знизити витрати на енергоносії, підвищити рентабельність, досягнути покращення якості продукції, забезпечити зростання конкурентоспроможності продукції підприємства. Основною проблемою економіки України є її низька енергоефективність внаслідок наявності енергомістких промислового і аграрного виробництв, а також енерговитратного житлово-комунального сектора. Наприклад, на сьогодні в Україні ще експлуатується велика кількість низькоефективних газових і мазутних котелень з низьким коефіцієнтом корисної дії. Такі теплогенеруючі установки в комунальній сфері є не лише найбільшими споживачами паливно-енергетичних ресурсів, а й основними джерелами забруднення навколишнього середовища. Енергоефективність досягається шляхом використання комплексу ресурсозберігальних технологій, рекуперації, встановленням енергоефективних вікон, утеплення стін тощо. Україна посідає шосте місце у світі за обсягом споживання газу на душу населення, перевищуючи в 3-4 рази показники європейських країн.

Лише протягом останніх десятиліть в Україні в умовах підвищення ціни на газ стали проводитися заходи, спрямовані на ріст енергоефективності та розвиток джерел поновлюваної і альтернативної енергетики. Найпростішим прикладом вирішення питання підвищення енергоефективності є використання енергозберігаючих електроосвітлювальних приладів в комунальному господарсві.

Енергоємність валового внутрішнього продукту – узагальнюючий макроекономічний показник, що характеризує рівень витрат паливно-

енергетичних ресурсів на одиницю виробленого валового внутрішнього продукту. На одиницю внутрішнього валового продукту енергетичні підприємства України не ефективно витрачають величезну кількість енергоносіїв, що наносить зачну руйнівну шкоду для економіки та навколишнього природного середовища. Паливно-енергетичні ресурси використовуються більш ефективно в країнах з меншим значенням енергоємності валового внутрішнього продукту.

Таблиця 3

Показники ефективності створення внутрішнього валового продукту України у порівнянні з деякими країнами світу станом на 2000 рік

Світ, країни	Індекс енерго-ємності	Індекс шкідливості для атмосфери	Індекс водоємності
Світ	1,00	1,00	1,00
Україна	14,31	15,25	2,83
Молдова	8,78	13,38	2,33
Росія	7,44	7,89	2,69
Румунія	3,06	3,45	1,10
Польща	1,84	2,81	0,61
Словаччина	2,95	2,77	0,11
Білорусь	2,47	2,78	0,53
Угорщина	1,70	1,76	0,06
Франція	0,62	0,39	0,27

При розрахунках показників енергоємністі фізичні обсяги різних видів палива за теплотворною здатністю приводяться до умовного палива, 1 кг якого має теплоту згоряння 7000 ккал або 29,3 МДж. Енергоємність валового внутрішнього продукту України в 2020 році становила 0,89 кг умовного палива на 1 долар США . Це є одним з найвищих показників у світі: у 2,7 рази вище ніж у Польщі, і у 3,3 рази вище ніж у Німеччині.

1.2.Енергозбереження

По мірі переходу розвинених країн на наступний технологічний рівень світове виробництво і споживання енергоресурсів неухильно зростає. Значне електроспоживання є характерним для технологічно розвинутих країн - Японії, Німеччини, США. Реальна питома витрата енергії в різних країнах значно різниться: для США цей показник складає - 10,3 кВт / чол, а в Бангладеш - 0,21 кВт/чол - всього 2% від рівня споживання в США. Найважливішим заходом сучасності щодо збереження і порятунку навколишнього середовища є енергозбереження. Під енергозбереженням розуміють зменшення споживання енергії за рахунок використання меншої кількості енергетичних послуг. Енергозбереження передбачає не відмову від благ цивілізації чи обмеження власних потреб, а шлях раціонального використання енергоресурсів, отримання більшого обсягу корисної роботи електроприладів за рахунок тієї ж кількості електроенергії.

Термін «енергозбереження» означає діяльність (організаційну, наукову, практичну, інформаційну), яка спрямована на раціональне використання та економне витрачання енергії та природних енергетичних ресурсів у всіх галузях національної економіки. Енергозбереження здійснюється шляхом впровадження правових, організаційних, наукових, виробничих, технічних і економічних заходів спрямованих на зменшення споживання електричної енергії споживачами і на збільшення частки енергії, що отримують від поновлювальних джерел енергії.

Ефективні методи зниження споживання енергії є різноплановими. Це може бути поліпшення теплоізоляції будівель, застосування в освітленні світлодіодних світильників, використання більш легких матеріалів для виробництва транспортних засобів, використання відпрацьованого теплого повітря для опалення, зниження втрат води в муніципальних системах, вдосконалення методів зберігання сільськогосподарської продукції. Досягнути відчутної економії енергоресурсів людство може досягнути навіть шляхом використання примітивних методів економії – використання для сантехнічних цілей низькоякісних і стічних вод, відключення живлення комп'ютерів в нічний час, автоматизація підтримки оптимального теплового режиму в приміщеннях тощо.

Прикладом розвитку ефективного енергозбереження може бути економіка Японії. У 1970-х роках ця країна пережила енергетичну кризу

і, як результат, уряд та населення цієї країни об'єднали свої зусилля у напрямку використання нових технологій, обладнання та систем високої ефективності в плані використання енергії. В результаті за 15 років, починаючи з 1973 року, Японія змогла подвоїти свій валовий внутрішній продукт без збільшення рівня споживання енергії. При цьому поточний рівень енергоспоживання стримувався і він є всього лише 1,3 рази більшим, ніж у 1973 році. Зокрема, споживання енергії у промисловому секторі навіть знизилося на 15%.

Проблеми енерго- та ресурсозбереження притягують значні інвестиції у створення і швидке розповсюдження нових технологій. Прикладами можуть бути швидке відмирання технологій традиційної фотографії, запису інформації на CD-диски, використання телевізорів з кінескопами тощо. Сучасні холодильники завдяки покращеній термоізоляції і більш ефективним системам охолодження за останні 40 років знизили споживання електричної енергії на 75%. Сучасні пасажирські літаки витрачають на 50-60% менше палива в розрахунку на одного пасажира у порівнянні з літаками початку 1970-х років. Сучасні вантажні автомобілі за цей же період стали споживати на 10-25% менше палива на 1 тонна-кілометр.

Організаційно-економічний механізм енергозбереження в промисловості включає:

- проведення енергетичного аудиту та ліквідації прямих втрат енергетичних і природних ресурсів, удосконалення контролю і обліку над енергетичними ресурсами;
- впровадження організаційних механізмів підвищення енергоефективності виробництва;
- встановлення в системі електропостачання відповідних тарифів (двоставковий тариф, денний, нічний тариф тощо);
- переведення виробництва на альтернативні і поновлювані джерела енергії, використання потенціалу твердих і рідких відходів виробництва для отримання енергії;
- утилізацію тепла димових газів, повітря, конденсату, стічних вод та інших матеріальних носіїв енергії;
- модернізацію окремих ланок виробництва шляхом заміни застарілого і малоефективного обладнання на сучасне, досягнення оптимальних режимів роботи і завантаження обладнання;
- впровадження систем автоматичного моніторингу за розподілом енергоресурсів підприємства;

- регулюванням та своєчасним відключенням електричного опалення, освітлення, кондиціювання при закінченні роботи, залежно від стану навколишнього середовища.

Реакцією на сучасні загрози в енергетичній сфері для України мають стати радикальні структурні реформи в енергетичній політиці: підвищення енергоефективності, формування конкурентних енергетичних ринків, диверсифікація енергопостачання, збільшення в енергетичному балансі частки поновлюваних джерел енергії та видів палива.

1.3. Охорона водних ресурсів

Водні ресурси є складовою природного середовища, що відіграють важливу роль в життєзабезпеченні людства. Вода виконує роль теплоносія, розчинника, каталізатора, і є одним із компонентів більшості технологічних процесів. Гідросфера представляє собою водну оболонку Землі (моря, океани, льодовики, ріки, озера та підземні води). Вода покриває понад 70% поверхні планети і є найбільш важливим компонентом, необхідним для підтримки життя на Землі. Обсяг водних ресурсів планети складає близько 1,5 млрд км^3, однак 96,4% їх припадає на солоні води морів і океанів.

В XX столітті населення земної кулі зросло у 3 рази. За цей же період споживання людством прісної води з річок, озер, підземних вод зросло у 7 раз і досягло близько 4000 км^3/рік. За даними ООН 2 мільярди людей вже зараз потерпають від нестачі прісної води, 120 млн. жителів Європейського регіону не мають доступу до якісної чистої води. За збереження нинішнього рівня водоспоживання та рості населення до 9 млрд. чоловік, у 2050 році потреба у питній воді становитиме 10200 км3/рік, що складатиме 82% світового стійкого стоку. За оцінками Всесвітнього Банку у найближчі 50 років вже 40 % населення Північної та Східної Африки, Близького Сходу, Південної Європи і Центральної Азії зіткнеться з проблемою дефіциту води, 20 % – страждатимуть від її нестачі. Очікується, що в близькому майбутньому питна вода буде стрімко та суттєво зростати в ціні, і це неодмінно вплине на всі сфери життєдіяльності людини.

До регіонів з недостатньою водозабезпеченістю відносять і Україну. Питне водопостачання України майже на 80 % забезпечується використанням поверхневих та річних вод. Підземні води України в багатьох регіонах за своєю якістю не відповідають установленим вимогам, що пов’язано передусім з тривалим антропогенним

забрудненням. Щороку у водойми України скидають близько 3,5 млрд $м^3$ стоків, які містять шкідливі хімічні речовини, домішки, патогенні організми, і все це вкрай негативно позначається на здоров'ї людей. Рішення про використання створеного джерела прісних вод приймається з урахуванням вимог щодо якості води, її доступності, вартості, умов транспортування, складності та вартості попередньої підготовки.

Основна частка прісних вод (85%) зосереджена в льодовиках і сніжних покривах Антарктиди і Арктики, використання яких залишається не ефективним і технологічно не освоєним. Технології опріснення солоних морських вод є енергозатратними і їх розглядають лише як джерело зменшення дефіциту питної води в засушливих регіонах. До найбільш поширених джерел прісних вод, які на сьогодні використовує людство, відносяться:

- поверхневі грунтові води;
- підземна (артезіанська) вода з власних свердловин;
- поверхнева вода (річки, озера, водосховища, канали, ставки).

За останні декілька десятків років ґрунтові води стали одним із найважливіших ресурсів людства. Ґрунтові води вимивають із ґрунтів значну кількість забруднювачів та мінеральних добрив, які грунт не може затримати. Випадки забруднення ґрунтових вод отруйними речовинами стають все більш частими, що викликає введення обмежень щодо використання прісних поверхневих вод для господарсько-питних цілей. Грунтові води з джерел, які раніше були якісними і без очищення відповідали вимогам до питної води, вимагають перед використанням фільтруючого очищення.

Внаслідок катастрофи на Чорнобильській АЕС відбулося зниження якості водних ресурсів, значна частина радіонуклідів осіло у донних річок.

У різних кліматичних умовах річки характеризуються вкрай нерівномірним розподілом стоку як протягом року. Наприклад, по ріках України, наповнення яких відбувається за рахунок танення снігу, у період весняної повені протікає до 60–70% обсягу річного стоку. склалося майже в усіх річкових басейнах нашої країни.

Вкрай недостатньо забезпечені водою південні та східні області, які особливо потребують води і через розвинену промисловість, і через значну концентрацію міст. Це Донецька, Запорізька, Дніпропетровська, Миколаївська, Одеська, Херсонська області, де на душу населення припадає води в 15-20 разів менше, ніж в інших областях.

В умовах нерівномірного стоку річок створення водоймищ дозволяє ефективно використовувати водні ресурси. Крім того, водні ресурси у багатьох випадках в межах однієї країни розміщуються також не рівномірно, що викликає необхідність їх перерозподілу шляхом подачі води з водоймищ каналами в маловодні райони. Так, в Україні з водоймищ Дніпровського каскаду ГЕС значна частина води подається в маловодні райони Донбасу, Кривого Рогу, Кіровоградщини тощо. Водоймища Дніпровського каскаду ГЕС використовуються для водопостачання населення, комунального господарства й промисловості на території, де проживають близько 30 млн. чоловік.

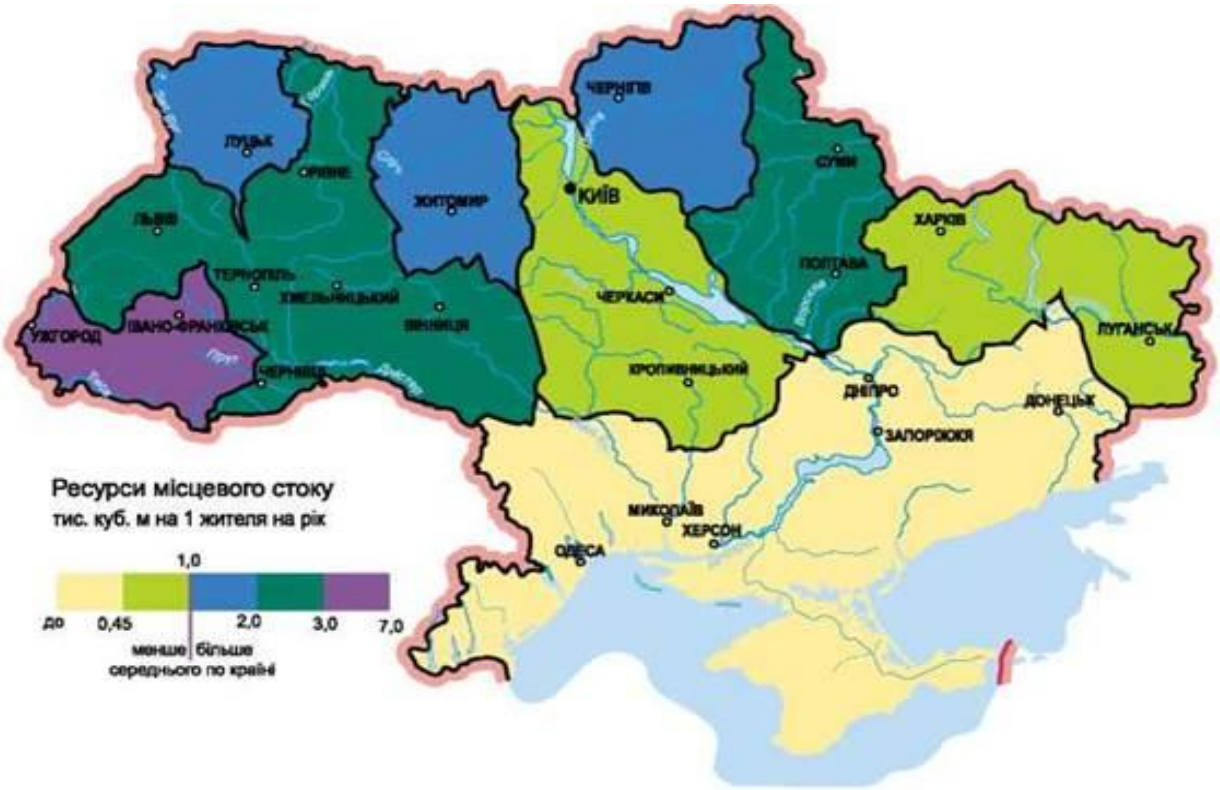


Рис. 1. Розподіл водних ресурсів України

В середньому у світі 16,6% від загального споживання вод займає побутова сфера, 31,1% – промисловість, 52,3% – сільське господарство. Зрошення земель, що забезпечує підвищення врожайності, широко застосовується у світі в багатьох країнах. Лише на потреби зрошення витрачається до 70% усіх запасів прісної води. Внесок водоймищ у світове виробництво продуктів харчування оцінюється в 12–16%. В Україні з водоймищ Дніпровського каскаду гідравлічних електростанцій до 2014 року зрошувалося більше 1 млн. га земель. У Дніпровському каскаді гідроелектростанцій Кременчуцьке

й Каховське водосховища, будучи основними регуляторами стоку річки Дніпро, забезпечують водопостачання й зрошення центральних, східних і південних регіонів України. Затоплення родючих земель стало основним негативним наслідком створення цих водоймищ. Землі, затоплювані водоймищами ГЕС, в основному перебувають у долинах річок, які мають високу цінність в сільському господарстві. Із загальної площі затоплених водоймищами земель частка сільськогосподарських угідь становить в Україні 40%. Крім того, створення водосховищ веде до зміни режиму ґрунтових вод, заболочування територій тощо. На багатьох водоймищах Дніпровського каскаду у літній період спостерігається «цвітінням» води, повязане з розмноженням синьо-зелених водоростей. Останні десятиліття в світовій практиці при будівництві ГЕС перевагу віддають передгірним і гірським районам, де спрощується утворення глибоких водоймищ з незначною територією затоплення родючих земель.

При інтенсифікації сільськогосподарського виробництва за рахунок хімізації і меліорації, велика кількість добрив і пестицидів надходить до річок, озер, потрапляє в підземні води. Особливо проблематичним є забруднення природних вод біогенними речовинами, зокрема азотними. У світі щорічно в навколишнє середовище надходить понад 50 млн. т нітратів. Змивання пестицидів із зрошуваних полів складає до 4% від внесеної кількості. У сільськогосподарському секторі економіки України вже десятки років проблемою є:

- значна розораність територій, яка на окремих водозборах річок сягнула 80 - 90 %;
- використання в сільськогосподарському обороті схилів, заплав річок; низький рівень агротехніки і технологій;
- нехтування природоохоронними, меліоративними, протиерозійними правилами, прийомами і способами.

Значним джерелом забруднення прісних вод є скиди з промислових об’єктів і тваринницьких ферм, стічних вод комунальної сфери за неналежного стану утримання очисних споруд, недотримання норм водоохоронних зон, змив та дренування мінеральних добрив та пестицидів із земель сільськогосподарського призначення. Понад 60% від промислових стоків надходять від хімічних, металургійних, шахт і збагачувальних фабрик, сільського гоподарства, підприємств харчової промисловості. До основних речовин, що призводять до забруднення джерел прісної води відносяться сполуки важких металів, сполуки азоту та фосфору, нафтопродукти, феноли, сульфати, поверхнево-

активні речовини. За даними ЮНЕСКО, за рівнем раціонального використання водних ресурсів та якості води Україна, посідає 95 місце серед 122 країн світу.

В Україні нараховується 22,5 тис малих річок з загальною протяжністю 100 тис. км. В басейнах малих річок формується понад 60% водних ресурсів України. До поширених проблем малих річок України належать:

- замулення внаслідок розорювання заплав і вирубування лісових смуг;
- забруднення від тваринницьких комплексів, які розташувані у басейнах малих річок;
- розташування поблизу малих річок полів фільтрації цукрових заводів;
- потрапляння до малих річок з недосконалих складів великої кількості мінеральних добрив;
- існування на берегах річок звалищ сміття.

Атмосферні води можуть нести до басейнів малих річок значні кількості забруднювачів, що вимиваються з повітря і мають переважно промислове походження. При стіканні по схилах, атмосферні та талі води додатково захоплюють з собою значну кількість забруднень. Особливо небезпечні стоки з міських вулиць та промислових майданчиків, які несуть значну кількість нафтопродуктів, сміття фенолів, різних кислот. Неочищені міські стічні води можуть містити фекалії, поверхнево - активні речовини, патогенні мікроорганізми. Особливо значне забруднення малих річок має місце у промислових районах.

До основних способів раціонального використання водних ресурсів слід віднести:

- розміщення водомістких галузей національної економіки з урахуванням водних ресурсів, уникнення надмірної концентрації промислових підприємств, які споживають велику кількість води, в маловодних і безводних районах;
- розширення застосування безвідходних, безводних та зелених технологій;
- зменшення водоємності виробництв, переведення промислових підприємств на оборотне водоспоживання, застосування нових методів демінералізації шахтних вод;
- будівництво сучасних очисних споруд;

- заміна у зрошуваному землеробстві поверхневого поливу більш раціональними методами – дощуванням, крапельним поливом.

Лише часткова реалізація даних заходів дозволила зменшити на 14,44 млн. куб. м або на 12 % понаднормативні втрати та витрати води в Україні в 2020 році у порівнянні з 2019 роком. Прикладами заходів, що сприяють ефективному використанню води в комунальному господарстві, є:

- ліквідація численних втрат води на всіх етапах її використання, встановлення лічильників води на основних ділянках водоспоживання;
- обслуговування та ремонт трубопроводів і сантехнічного обладнання;
- проведення інструктажів персоналу щодо ощадливого використання;
- встановлення автоматичних вимикачів подачі води;
- застосування системи автоматичного миття обладнання;
- облаштування пристроїв для збору дощової води та її використання в технічних цілях.

1.4.Охорона земель і ґрунтів

У розпорядженні людства на земній поверхні знаходиться 13,4 млрд га суші. При цьому, на площу лісів, гір, боліт, пустель і напівпустель сумарно припадає 64% території суші. Площі, які придатні для виробництва продовольства (рілля, сади і плантації, луки, пасовища), складає лише 9% поверхні Землі.

Ґрунти є головним джерелом отримання харчових продуктів. Враховуючи, що на виробництво харчових продуктів при використанні сучаних аграрних технологій для забезпечення однієї людини необхідно обробляти 0,3 - 0,5 га сільськогосподарських угідь. Крім того, 0,07 - 0,09 га необхідно для розміщення житла, доріг і рекреаційних територій. Відповідно, існуючий потенціал земельних ресурсів дозволяє забезпечити їжею від 10 до 17 млрд осіб на планеті. Однак, площа суші, яка придатна для ефективного ведення господарської діяльності населенням, в різних країнах суттєво відрізняється і визначається природно-кліматичними умовами територій та демографічною ситуацією. Так, в США на 1 жителя припадає - 3,4 га, а в Японії лише 0,3 га.

Ґрунтово-рослинний покрив планети є регулятором водного балансу суші, оскільки він здійснює поглинає, утримує й перерозподіляє велику кількість атмосферної вологи. Це універсальний біологічний фільтр і нейтралізатор ряду антропогенних забруднень. Ґрунт може стати

найбільшим гальмом глобального потепління оскільки вміст вуглецю у ґрунтах вищий, ніж в атмосфері та рослинності разом взятих. Так, цілинний ґрунт природної екосистеми містить понад 500 т органічної речовини на гектар

Нині охорона й раціональне використання земельних ресурсів - одна з найактуальніших проблем. З метою підвищення врожайності землеробських угідь в ґрунти вносять величезні кількості мінеральних добрив та пестицидів при практично повній відсутності використання органічних добрив у вигляді гнойових компостів. Обсяги внесення органічних добрив в Україні з розрахунку на 1 га в 2019 році зменшились в 22 рази в порівнянні з 1990 роком. В результаті структура грунтів погіршилася, вони стали перенасиченими шкідливими хімічними сполуками. Подальше існування нашої цивілізації опиняється під загрозою через широкомасштабне знищення родючих земель, що постійно зростає.

При застосуванні інтенсивного землеробства відбувається зниження різноманітності видів ґрунтових мікроорганізмів, порушується хімічний і біологічнитй баланс ґрунтів. В якості інструменту інструмент для збору високих урожаїв знаходить розповсюдження використання біопрепаратів до складу яких входять гриби і бактерії, що прискорюють розкладання пожнивних залишків і є антагоністами патогенних мікроорганізмів. Їх застосування дозволяє заселяти ґрунт корисними мікроорганізмами, нейтралізувати фітотоксини і покращувати біологічну активність ґрунту. До того ж біозахист дозволяє зробити акцент саме на профілактиці хвороб та шкідників.

Проблемою є практика спалювання пожнивних решток (соломи), що досі існує на вітчизняних полях. Це приводить до втрат азоту, яким міг би збагачуватися ґрунт - у 1 т соломи міститься до 80 кг азоту. Крім того, спалювання гальмує протікання біохімічних процесів в грунті оскільки на 2-3 см знищується вся біота.

Україна володіє 27 % світових площ кращих чорноземів та клімат сприятливий для розвитку землеробства. Країна має майже 34 млн га орної землі, в той же час як світова житниця - Канада тільки 25 млн га. В той же час, стан земельних ресурсів України оцінюється як близький до критичного. Обробіток важкою технікою приводить до значного ущільнення ґрунтів. Відсутність науково обгрунтованих сівозмін веде зменшення вмісту поживних речовин у ґрунтах, а щорічні втрати гумусу становлять до 0,65 тонни на 1 гектар. Монокультура та монотонна сівозміна, незмінна структура посівних площ виснажують

ґрунти, змінюють їхню початкову структуру. На всій території нашої держави поширені процеси деградації земель, серед яких найбільш масштабними є ерозія, забруднення, підтоплення. Великих збитків сільському господарству завдає ерозія грунтів, яка викликана вирубуванням лісопосадок та лісів на схилах, знищення трав'яного та чагарникового покрову, глибокому розорювання землі тощо. Значною проблемою також є засолення грунтів внаслідок неправильного зрошення. Сіль, яка виділяється при випаровуванні зрошувальної води, забиває пори ґрунту та різко знижує врожайність. На півдні України поблизу від зрошувальних каналів відбувається підвищення рівня грунтових вод та значне погіршення якості питної води.

Лісові насадження виконують унікальні функції у стабілізації земної біосфери. Ліси в процесі фотосинтезу поглинають вуглекислий газ, поставляючи в земну атмосферу понад 50% кисню. Особливо значний вплив на глобальні кліматичні процеси мають тропічні ліси. Вирубування за останні 30 років 180 млн. га тропічних лісів призвело до виникнення пустель на величезних територіях.

Лісові ресурси сприяють збільшенню запасів підземних вод, утримують вологу від атмосферних опадів. До наслідків масових вирубок відносять висихання колодязів. Зменшуючи поверхневий стік, ліси уповільнюють водну і вітрову ерозію грунтів, захищають від паводків. Крім того, в умовах заліснення практично не відбувається замулювання річок, ставків, водосховищ. Україна належить до лісодефіцитних держав. Залісеність її території - 14,2%. При цьому площа лісів на Україні, незважаючи на проведення робіт по залісненню, постійно скорочується з причини цінності деревини як промислової сировини. Вирубка лісу є основним джерелом доходу багатьох населених пунктів України.

1.5.Проблеми глобального потепління та забруднення атмосфери

До Землі з космічного простору надходить потужний потік енергії короткохвильового сонячного випромінювання, яке поглинається атмосферою і земною поверхнею. В свою чергу нагріта поверхня Землі здійснює теплове випромінення, при цьому атмосфера повністю не пропускає відбите інфрачервоне випромінювання у космос. Частина теплового випромінювання від поверхні Землі в інфрачервоній області відбивається назад хмарами та деякими газами (CO_2, метан тощо), що містяться в атмосфері. За рахунок теплоізолюючої дії атмосфери

зустрічні теплові потоки енергії зрівнюються, що забезпечує стабілізацію середньої температури поверхні Землі на рівні +14°С, що приблизно на 40°С вище температури атмосфери. Дане явище носить назву парниковий ефект. Якби природний парниковий ефект не затримував на Землі сонячне тепло, то середня температура нижніх шарів атмосфери становила б -18°С і величезні простори земної поверхні були б покриті льодовиками. Роль стану атмосфери ілюструється на прикладі планет Сонячної системи Марса і Венери. У Венери атмосфера на 97% складається із вуглекислого газу, що визначає температуру на поверхні планети близько + 500 °С. Розріджена атмосфера Марса не забезпечує теплоізоляційного ефекту і тому на цій планеті надзвичайно холодний клімат, яка на 95% складається із вуглекислого газу, є дуже розрідженою, тому на Марсі не виникає парниковий ефект. На Марсі дуже холодно: - 50°С у середніх широтах та -100°С у полярних широтах.

Земна атмосфера сформувалася за рахунок процесів газообміну з водою, рослинами, тваринами і продуктами розкладання органічних решток в ґрунтах і болотах. Значну кількість вуглекислого газу з атмосфери поглинається при фотосинтезі рослинами та світовим океаном. За рахунок вуглекислого газу, азоту і водяного пару, що містяться в атмосферному повітрі утворилася велика біомаса планети, яка є основою покладів паливних корисних копалин. Протягом мільйонів років існувала природна рівновага вмісту вуглекислого газу в атмосфері, яка сьогодні порушена за рахунок інтенсивного росту виробництва теплової та електричної енергії за рахунок спалювання накопичених у попередні геологічні епохи підземних запасів вугілля, нафти і природного газу.

Парниковий ефект, який існує на Землі із моменту утворення атмосфери, забезпечив умови появи життя Землі. Результати моніторингових досліджень зафіксували, що вміст у земній атмосфері вуглекислого газу, що вносить основну складову у виникнення парникового ефекту, за останні 250 років став різко зростати. За даними Міжурядової групи експертів зі зміни клімату ООН, з 1750 року концентрація в земній атмосфері вуглекислого газу за рахунок видобутку та спалювання органічного палива зросла на 47%, а концентрація метану - на 156%. На теперішній час викиди вуглекислого газу досягають 4 тонн на жителя Землі.

За поясненнями вчених такі зміни складу атмосфери є причиною глобального потепління клімату Землі. За даними метеорологічних

досліджень середня річна температура повітря в Україні за період 1991-2020 років підвищилася на 0,8-1,8°С порівняно з показниками за період з 1961 по 1990 рік.Такі зміни проявляються в інтенсивни засухах, ураганах, торнадо і тайфунах, спостерігається інтенсивне танення льодовиків і підйом рівня світового океану. Прогнозується, що стрімкі зміни складу атмосфери можуть призвести до зміни напрямків океанічних течій і, як наслідок, до значного порушення екологічної рівноваги на планеті.

Основна частина викидів утворюється виробниками електричної та теплової енергії 42%, транспортними засобами 23%, промисловістю 19%, житловим сектором 6%. Парниковий ефект посилюється за рахунок знищення лісів та розширення сільськогосподарських угідь.

Сильний вплив на утворення парникового ефекту створює метан (CH_4), який виділяється у сільському господарстві в результаті анаеробного розкладання органічних речовин біомаси, при вуглевидобутку (рудниковий газ), в процесі нафто- і газовидобутку.

Негативний вплив на кліматичні зміни також створює аерозольне забруднення атмосфери, що виникає як у результаті природних катаклізмів (виверження вулканів, пилові бурі тощо), так і від господарської діяльності людини (пилові викиди при видобутку руд і будівельних матеріалів, сажа при спалюванні викопного палива на електростанціях, в металургії та при виробництві цементу, вихлопні гази транспортних засобів тощо).

Для вирішення проблем глобального потепління від посиленого викиду в земну атмосферу парникови газів останні десятиліття реалізуються ряд міжнародних ініціатив. Важливу роль у розробці механізмів протидії глобальним змінам клімату став Кіо́тський протокол - міжнародна угода, укладена з метою скорочення викидів парникових газів в атмосферу Землі. Протокол було прийнято японському місті Кіото 11 грудня.1997 року і він набрав чинності з лютого 2005 року. На даний час до Кіотського протоколу приєдналося 192 країни. Україна ратифікувала цей Протокол 04 лютого 2004 року. Однак США підписали цей Протокол, але не ратифікували його, а Канада офіційно вийшла з нього у 2012 році.

Головна мета даної угоди: скоротити викиди парникових газів до рівня концентрації в атмосфері, який не приводить до небезпечного антропогенного впливу на клімат планети. Згідно Кіотського протоколу промислово розвинені держави взяли зобов'язання в період з 2008 до 2012 року скоротити викиди парникових газів щонайменше на 5%

порівняно з рівнем 1990 року. Кіотський протокол визначив для кожної країни квоти на викиди парникових газів. Згідно з Додатком А до Кіотського протоколу визначено основні парникові гази, які найбільше впливають на зміну клімату. До таких газів віднесено: діоксид вуглецю CO_2, метан CH_4, закис азоту N_2O, гідрофторвуглецеві сполуки, перфторвуглецеві сполуки та гексафторид сірки SF_6.

Кіо́тський протокол пропонує учасникам здійснення на національному рівні заходів по зниженню викидів парникових газів за рахунок розвитку поновлюваних джерел енергії, поліпшення енергетичної ефективності, використання енергозберігаючих будівельних технологій, енергоефективних і екологічно чистих форм ведення сільського господарства тощо. Основним напрямком скорочення викидів в атмосферу вуглекислого газу є перехід до безвуглецевої енергетики та збільшення в енергетичному балансі долі атомної енергії та рослинної біомаси, що не супроводжується підвищенням вмісту вуглекислого газу в атмосфері планети. Кіотський протокол передбачає, що у випадку викиду в атмосферу парникових газів менше виділеної квоти, держава може продати надлишки встановленого ліміту іншій державі, у якої викиди парникових газів перевищують встановлені квоти.

Україна на початку тисячоліття входила у двадцятку країн з найвищими абсолютними викидами парникових газів та у десятку країн з найбільш високим рівнем енергоємності та вуглецеємності внутрішнього валового продукту, який втричі перевищував показники країн ЄС. Це було переважно пов’язано з високим ступенем зношеності вітчизняної енергетичної та металургійної інфраструктури, низькою ефективністю використання паливно-енергетичних ресурсів у технологічних процесах, значними втратами під час перетворення, передавання та розподілення енергії, а також із низьким коефіцієнтом корисної дії обладнання у секторах кінцевого споживання.

У рамках третього періоду дії Кіотського протоколу (2020-2030 роки) Україна взяла на себе зобов’язання не допустити перевищення у 2030 році рівня 60% викидів парникових газів від рівня викидів таких газів у базовому 1990 році (783 млн. т), яке чітко виконує. Так, у 2018 році вони складали вже 203 млн. т, а у 2019 році - 196 млн. т. В Україні викиди на душу населення у 2019 році становили близько 4,5 т на рік, проти понад 15 т у 1990 році. Для порівняння, середні світові викиди вуглекислого газу на душу населення складають 4,9 т CO_2, а у Євросоюзі середній показник становить 6,5 т. Порівняльний показник

викиду вуглекислого газу (% CO_2 на 1% валового внутрішнього продукту) у США складає 0,93, Китай - 2,7, Росія - 2,5, Україна - 3,5.

В глобальному масштабі реалізація Кіотського протоколу не забезпечила повного досягнення поставлених цілей – світові обсяги викидів парникових газів на сьогодні стали більш ніж на 50% вищими порівняно з показниками 1990 року.

Загальносвітові викиди CO_2 продовжують зростати, сягнувши 38 млрд. т у 2019 році. Найбільшу відповідальність за велику кількість викидів вуглекислого газу в атмосферу несуть країни з розвинутою економікою. У 2019 році у світі найбільш значний обсяг викидів в сумарних викидах зафіксовано в чотирьох державах (%):

-КНР-понад 36,0;
-США- 14,5;
-Россія- 4,5;
-Японія- 3,3.

Важливою подією у створенні глобального механізму протидії зміні клімату стала XXI конференція Сторін Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату, що відбулася у 2015 році у м. Париж. На цій конференції було прийнято нову угоду протидії змінам клімату, яка покликана стати заміною Кіотського протоколу. Метою цього документу є посилення заходів на глобальному рівні з метою стримування росту середньої глобальної температури не вище 2°С у порівнянні з доіндустріальним рівнем і докладання максимальних зусиль задля обмеження зростання температури більш ніж на 1,5°С. Стратегія боротьби з глобальним потеплінням має полягати у виконанні ряду заходів, а саме:

- щорічне скорочення протягом наступних 10 років споживання вугілля на 13%;
- більш ефективне використання виробленої енергії;
- широке впровадження енергозберігаючих технологій та розвиток альтернативної енергетики на основі використання поновлюваних джерел енергії;
- впровадження нових екологічно чистих і низьковуглецевих технологій;
- боротьба з лісовими пожежами, відновлення лісових насаджень.

В країнах Євросоюзу у 2019 році було досягнуто скорочення викидів парникових газів на 3,8% у порівнянні з 2018 роком. Основною причиною цього називають зменшення використання вугілля. Серед лідерів Німеччина - її обсяги викидів CO_2 зменшилися на 6,5%. Це

було обумовлено збільшенням частки виробництва електроенергії від поновлюваних джерел енергії до 29% і зниженням на 1,8% споживання вугілля. У квітні 2019 року загальний обсяг енергії в США, що виробляється з «зелених» джерел, став перевищувати частку від спалювання вугілля.

Таблиця 4

Основні напрямки скорчення викидів парникових газів по галузям

№ п/п	Галузь	Напрямки скорчення викидів парникових газів
1	Промисловість	-заміщення технологій виплавки сталі в кисневих конверторах до електродугових печей з меншими питомими викидами парникових газів; -перехід від «вологого» способу виробництва цементу до «сухого».
2	Транспорт	-розширення використання електротранспорту, удосконалення двигунів внутрішнього згорання, використання автомобілів гібридних систем.
3	Житловий сектор	-використання скидного тепла від теплових електростанцій для потреб теплопостачання та заміщення теплової енергії, яка виробляється на котельних; -використання біопалива для потреб теплопостачання.
4	Виробництво електроенергії	-використання енергії вітру, води, сонця для виробництва електроенергії; -підвищення коефіцієнту корисної дії повного циклу теплових електростанцій; -часткове заміщення викопних видів палива біомасою.
5	Охорона земель і ґрунтів	-заліснення невикористаних сільськогоспо-дарських земель та висадження захисних лісосмуг.
5	Використання поновлюваних джерел енергії	-використання енергії вітру, води, сонця для виробництва електроенергії; -підвищення коефіцієнту корисної дії повного циклу теплових електростанцій.
6	Видобуток вугілля	-уловлювання та спалювання шахтного метану при виробництві теплової та електричної енергії.
7	Утилізація відходів	-збір біогазу з полігонів твердих побутових відходів та виробництво електроенергії на когенераційних установках; -виробництво біогазу з осаду стічних вод на очисних спорудах та виробництво електроенергії на когенераційних установках.
8	Сільське господарство	-виробництво біогазу з сільськогосподарських відходів та подальша утилізація на когенераційних установках з постачанням електроенергії в мережу.

Одним з механізмів й інструментів для досягнення цілей політики щодо запобігання змін клімату і скорочення викидів парникових газів є

система торгівлі викидами, яка задекларована на міжнародному рівні та відображена в законодавчих актах ЄС. Європейська система торгівлі викидами працює за принципом обмеження викидів парникових газів та торгівлі дозволами на викиди парникових газів. Доходи, отримані від продажу дозволів на викиди парникових газів, забезпечують державам-членам надходження, які можуть бути використані на програми, спрямовані на зниження викидів в атмосферу парникових газів та розширення використання поновлюваних джерел енергії.

Взяті Україною зобов'язання з адаптації національного законодавства щодо охорони довкілля та протидії кліматичним змінам у відповідності до європейських норм вимагають від нашої держави лібералізації та дерегуляції енергетичних ринків, створення і впровадження системи торгівлі дозволами на викиди парникових газів, удосконалення підходів до екологічного оподаткування у частині викидів тощо.

1.6.Моделювання розвитку цивілізації

Зростання чисельності населення Землі за останні 350 років носить експоненціальний характер. Напередодні промислової революції, у 1650 році ця цифра складала близько 0,5 млрд осіб при річних темпах зростання близько 0,3%, що визначало час подвоєння населення на планеті близько 240 років. До 1900 року на Землі проживало вже 1,6 млрд осіб, а річний приріст зріс до 0,7-0,8%, що еквівалентно часу подвоєння близько 100 років. Станом на 1965 рік чисельність населення Землі досягла 3,3 млрд, а темпи зростання зросли до 2% в рік, відповідно час подвоєння населення на планеті зменшився до 36 років). У точній відповідності з прорахованими прогнозами чисельність населення Землі в 1999 році досягла шестимільярдної позначки. Незважаючи на те, що з кінця 1980-х років річні темпи приросту населення знизилися, абсолютне збільшення його чисельності зберігається донині. Внесок у це зростання переважно вносять економічно відсталі країни.

П'ятдесяті - шістдесяті роки двадцятого століття в розвинених країнах світу характеризувалися швидким економічним зростанням та поліпшенням рівня життя населення. Промислова революція супроводжувалася стрімким зростанням населення, яке освоїло практично всю придатну для проживання частину земної кулі і стало

використовувати ресурси з усіх куточків планети. Такі зміни почали супроводжуватися виникненням глобальних екологічних, демографічних та продовольчих проблем. В цей період проявами екологічної кризи стало утворення озонових дірок в атмосфері, глобальне потепління клімату, почастішали природні катаклізми, посилився дефіцит прісної води, стало помітним скорочення морського вилову риби. Реакцією суспільства на такі зміни стало виникнення в шістдесятих роках минулого століття громадських організацій, які починають займатисяі пошуком виходу з глобальної екологічної кризи. Так, у 1968 році було створено Римський клуб – одну з авторитетних міжнародних організацій, яка на науковій основі започаткувала дослідження глобальних проблем сучасності. На момент створення ця організація об'єднала близько тридцяти вчених – фізиків, математиків, соціологів, економістів, спеціалістів в галузі планування. Римський клуб розпочав проведення системних досліджень з питань глобального розвитку цивілізації в соціально-економічній області. Результати цих досліджень періодично представлялися громадськості у вигляді відкритих доповідей.

Першу доповідь Римського клубу на тему «Межі зростання» було поширено у 1972 році. На основі використання економіко-математичних методів було створено прогнозну модель загальносвітового розвитку, яка базувалася на тисячі математичних рівнянь, що встановлювали взаємозв'язок між такими глобальними явищами як:

- швидка індустріалізація;
- зростання численності населення;
- зростання дефіциту продуктів споживання;
- вичерпання запасів не відновлювальних природних ресурсів;
- забруднення навколишнього середовища та деградація природних екосистем.

Таке моделювання стало можливим лише після створення потужніх електронно – обчислювальних машин. Закладення в прогнозну модель глобального розвитку великого числа перехресних і зворотних зв'язків між складовими явищами дозволяло врахувати їх всебічний вплив на досліджувані процеси. Дана модель використовувала нелінійні математичні рівняння, які при набутті критичних значень певних вхідних даних прораховували лавиноподібні ефекти зміни результатів. У кібернетиці таке явище носить назву позитивного зворотного зв'язку - коли зміна певного параметру веде до ще

більшого зміни вихідного елемента в тому ж напрямку: Так, враховувалося, що підвищення середньої приземної температури в результаті викидів в атмосферу парникових газів прискорює процеси танення в зоні вічної мерзлоти. Грунтові маси тундрових зон при відтаюванні вивільняють зв'язаний метан, який володіє сильним парниковим ефектом, що провокує подальше зростання глобальної температури. Таким чином, запущений одного разу процес в подальшому стимулює розвиток непропорційних змін. Використання нелінійних залежностей і врахування зворотних зв'язків в поєднанні з системним підходом до розгляду навколишнього середовища, населення та економіки в їх динамічній єдності, забезпечили отримання моделі близької до реальних процесів.

Використовуючи потужні електронно-обчислювальні машини вдалося прорахувати ряд сценаріїв світового розвитку на період з 1970 по 2100 рік. Кожен прорахований прогнозний сценарій характеризувався відповідними числовими значеннями вихідних даних, які закладалися в модель для машинного розрахунку. За результатами кожного розрахунку модель видавала більше 80 тисяч чисельних значень. Зрозуміло, що таке моделювання розвитку цивілізації свідомо мало спрощений і ідеалізований вигляд. При такому моделюванні було не можливим врахувати виникнення воєн, явищ корупції, злочинності, тероризму, політичної боротьби, націоналізму. Також, досить складно у математичній моделі передбачити розвиток майбутнього науково - технічного прогресу. Наприклад, у 1960-1970 роках, у людства була віра, що до початку XXI століття буде освоєно безмежне виробництво термоядерної енергії. У той же час навіть не було прогнозів, що через тридцять років мобільні телефони завоюють світ, також не очікувався розвиток інтернету, який революціонізував життя людства у глобальному масштабі.

Отримані моделі показали порочність прагнення людства до зростання добробуту за рахунок розширення промислового виробництв. До екологічних катастроф буде вести зростання чисельності населення, зростання споживання та посилення забруднення планети. Результати прорахованих сценаріїв прогнозують до кінця XXI століття глобальну кризу з виснаженням природних ресурсів, ерозією оброблюваних земель, скороченням виробництва продовольства. Як результат, спрогнозовано катастрофічнео неконтрольоване скорочення чисельності населення та різке скорочення обсягу виробництва. Альтернативою такому

сценарію розвитку цивілізації є перехід цивілізації на шлях довгострокової економічної та екологічної стабілізації. Попередити кризу можливо лише коли економічний розвиток буде зведено до простого відтворення, а приріст населення Землі буде зупинено (концепція "нульового росту"). Однак, така рекомендація на основі прорахованого прогнозу викликала значну критику опонентів, оскільки такий шлях передбачає збереження відсталості у країнах, що розвиваються.

Сьогодні, через півстоліття після першої публікації прогнозів, показники реального погіршення ситуації підтверджують досить точний збіг з передбаченням. Впровадження на сучасному рівні технологій альтернативної енергетики та енергозбереження до цього часу за темпами розвитку є абсолютно недостатніми для ефективної зміни курсу розвитку цивілізації.

Друга доповідь Римського клубу "Людство на роздоріжжі" (1974 рік) характеризувала стан цивілізації в середині 1970-х років і визначала, що стихійний розвиток економіки є нераціональним і потребує планового управління на глобальному рівні. У цьому документі концепцію "нульового росту" було замінено на концепцію "органічного росту", що розглядає світ як живий організм, де кожна країна, кожний регіон відіграє свою особливу роль у взаємоповязаному світовому співтоваристві. Цей історичний період характеризується початком втрати стабільності світового економічного порядку. Станом на 1970 рік середній дохід найбільш забезпечених верств населення світу був в тринадцять разів вищим середнього доходу найбідніших верств. Спроби розвинених країн змінити становище на краще і задовільнити вимоги країн, що розвиваються, було переважно безуспішними. Розрив між доходами найбільш розвинених країн і найбільш відсталих продовжував безперервно зростати. Для зближення середнього рівня доходів у світовому масштабі, в доповіді рекомендувалося розвиненим країнам і країнам, що розвиваються, прийняти різні темпи середньорічного зростання доходів душу населення. Вважалося за доцільне, щоб при зростанні доходів в країнах, що розвиваються на 5% на рік, економічні показники в розвинених країнах залишалися на незмінному рівні. Концепція «органічного зростання» до цього часу залишається однією з основних ідей Римського клубу.

У наступній доповіді Римського клубу "Перебудова міжнародного порядку" (1976 рік) наголошувалася необхідність встановлення нового економічного порядку та проведення фундаментальних змін в

політичному, соціальному і духовному житті суспільства. Головною метою людства визначено забезпечення гідного життя і помірного добробуту для усіх громадян світу. Надано рекомендації зробити більш повноправною участь країн, які розвиваються, у міжнародній системі поділу праці. Автори доповіді запропонували кілька практичних сценаріїв «революції світової солідарності». В доповіді було висунуто чотири глобальні цілі для досягнення глобальної безпеки:

- припинення гонки озброєнь, відмова від воєн, конфліктів і насильства;
- вирішення продовольчої проблеми в глобальному масштабі, ліквідація голоду, створення світової системи, що дозволяє задовольнити потреби в продовольстві всіх людей на Землі; глобальний контроль за використанням енергетичних і сировинних ресурсів;
- розробка раціонального і екологічно безпечного використання електроенергії, контроль над технологією, економічно ефективне природокористування;
- глобальний розвиток, орієнтований на якісне зростання, шляхом підвищення якості життя та соціальної справедливості у розподілі матеріальних і духовних благ.

У 1977 році у доповіді Римського клубу «Людські якості» було запропоновано шляхи розв'язання проблем, які постають перед людством через зміну в сфері людських якостей:

- усвідомлення «внутрішніх меж» людини;
- збереження культурної спадщини;
- формування єдиного світового співтовариства;
- турбота про середовище проживання;
- вдосконалення виробничої системи.

Важливою доповіддю Римського клубу, що враховувала екологічний фактор як основоположний фактор економічного зростання стала доповідь 1998 року «Фактор чотири: подвоєння багатства, двократна економія ресурсів». В цій доповіді, на відміну від першої доповіді Римському клубу «Межі зростання», дослідники висловлювали оптимізм і наводили методи повернення Землі у стан рівноваги. Для досягнення такого результату продуктивність використання ресурсів має збільшитися в чотири рази і, водночас, їх витрати на це повинні зменшитися вдвічі. Показано, що 10% найбагатших домогосподарств світу є причиною 45% загального обсягу викидів. Людина втягує у виробництво і споживання кількість

сировини і енергії в десятки разів більші за її біологічні потреби. Відповідно, збільшується кількість відходів та їх вплив на навколишнє середовище. Недоречно повністю зводити збільшення навантаження на біосферу планети лише з ростом населення. З 1900 року населення планети зросло в 5 разів, а економічний оборот - в 40 разів, споживання палива - в 16 разів, вилов риби - в 35 разів. Паралельно спостерігається зростання і споживання енергії, води і корисних копалин на душу населення. В даний час чисельність населення подвоюється кожні 30-40 років, а споживання ресурсів - кожні 8-10 років.

У доповіді «Фактор чотири: подвоєння багатства, двократна економія ресурсів» обгрунтовується необхідністю реалізації наступних заходів:

- ефективне використання ресурсів покращує якість життя та сприяє боротьбі з відходами;
- забруднення навколишнього середовища треба ототожнювати зі спрямуванням ресурсів не за призначенням;
- ефективне використання ресурсів зазвичай приносить прибуток за допомогою ринкових механізмів;
- гроші, що вивільняються завдяки скороченню втрат, можна використовувати для вирішення інших нагальних потреб;
- ефективне використання ресурсів призводить до економії ресурсів, зменшує залежність від них та сприяє зростанню кількості робочих місць.

В доповіді також наводяться деякі можливі шляхи економії: зниження попиту на енергію, яка виробляється на основі викопного палива, збирання дощової води шляхом створення мікрогребель та каналів, повторне використання міських стічних вод для зрошення приміського сільського господарства тощо. Здійснення таких заходів вимагає проведення економічної політики, яка спрямована на протидію надмірному витрачанню ресурсів та їх надмірному споживанню. У висновках до цієї доповіді висловлюється прогноз, що замість глобальної катастрофи після 2050 року є можливість досягнути стабілізації чисельності населення та промислового виробництва при зниженні рівня забруднення навколишнього середовища. Доповідь «Фактор чотири» викликала ряд критичних зауважень опонентів з приводу того, що подвоєння багатства водночас зі зменшенням використання природних ресурсів неможливе та вводить в оману людство.

У 2012 році Римський клуб представив наступну доповідь «2052: глобальний прогноз на найближчі 40 років». Показано, що сучасне навантаження людської цивілізації на біосферу перевищує біологічні можливості Землі приблизно на 40%. В цьому документі висловлено прогноз загострення екологічної проблеми та запропоновано заходи щодо поліпшення ситуації. Прогнозується, що ситуація у наступні 40 років залежатиме від реалізації суспільством змін, що спрямовані на:

- припинення домінування неконтрольованого капіталізму;
- уповільнення або навіть припинення економічного зростання;
- боротьбу з причинами зміни кліматичних умов.

Розвиток ситуації залежатиме від того, як швидко відбудеться перехід до сталого розвитку, який сьогодні знаходиться ще на початковій стадії. Уповільнення зростання споживання, а також скорочення споживання у багатих країнах, стає можливим внаслідок здійснення витрат на нейтралізацію кліматичних проблем. Висловлюється думка, що головною проблемою сучасності є уповільнена реакція суспільства на збільшення викидів парникових газів вище критичного рівня. Перед людською цивілізацією залишаються нереалізованими задачі швидкого підвищення енергоефективності, переходу до альтернативної енергетики, припинення знищення лісів тощо.

За півстоліття свого існування Римським клубом згенеровано та незмінно наголошуються наступні постулати оптимістичного розвитку:

- земна цивілізація має припинити зростання економіки;
- народонаселення, населення Землі має стабілізуватися на рівні 1 – 2 мільярдів;
- забруднення біосфери не повинне мати національних кордонів;
- держави світу повинні поступатися своїм суверенітетом для вирішення глобальних проблем людства;
- для порятунку людства необхідно створення ефективного «світового уряду».

1.7. Сталий розвиток цивілізації

На сучасному етапі негативний вплив людства на навколишнє середовище набуває глобального характеру, а саме.

1). Різко зростає вплив людини на біосферу за рахунок збільшення обсягу вилучення ресурсів, відчуження нових територій.

2). Значне хімічне забруднення всіх геосфер, що призводить до зменшення біорізноманіття в екосистемах Землі. Ризик погіршення навколишнього середовища зростає за рахунок використання в сільському господарстві мінеральних добрив та пестицидів.

3) Зростання фізичного забруднення біосфери у вигляді електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону, іонізуючих і теплових випромінювань, виброакустичних впливів тощо.

4). Формування якісно нового класу біологічного забруднення, пов'язаного з розвитком біотехнологій та генної інженерії. Існує небезпека попадання з біологічних лабораторій в навколишнє середовище мікроорганізмів і біологічних речовин, що створюють шкідливий вплив на флору і фауну, здоров'я людини і її генофонд.

5). Потоки виробленої енергії техногенного походження стали порівнянними з природними, характерними для масштабних явищ і процесів у природі.

Зусилля земної цивілізації все більше концентруються на вирішенні екологічних та соціально-економічних проблем шляхом переходу до ідеології сталого виробництва та споживання. Сталий розвиток (англ. sustainable development) – це концепція розвитку суспільства, яка визначає дотримання балансу між задовільненням сучасних потреб людства та захистом інтересів майбутніх поколінь, враховуючи їх потребу в безпечному і здоровому довкіллі. Сталий розвиток на встановленні обмежень щодо антропогенного впливу на біосферу.

Сталий розвиток передбачає збереження популяційного здоров'я, запобігання прискореній біологічній і духовній деградації людини, яка розширюється не зважаючи на швидкий розвиток сучасної медицини та розширення доступності охорони здоров'я.

Модель економічного зростання в умовах сталого розвитку має забезпечувати:

- зростаючі матеріальні і духовні потреби населення;
-умови для проведення ресурсоефективного та екологічно безпечного господарювання;
-створення сприятливих умов для здорового образу життя людини;
-збереження та відтворення безпечного навколишнього природного середовища. та природно-ресурсного потенціалу суспільного виробництва.

У 2015 році на сесії Генеральної Асамблеї ООН було прийнято Глобальну програму сталого розвитку на період 2016-2030 років, що містить 17 цілей сталого розвитку. Визначено, що паралельно

зусиллям по нарощуванню економічного зростання, держави світу повинні здійснюватися заходи:
- по ліквідації бідності для вирішення проблемних питань у сфері освіти, охорони здоров'я, соціального захисту та працевлаштування;
- по боротьбі зі зміною клімату;
- по захисту навколишнього середовища.

У Глобальній програмі сталого розвитку визначено наступні цілі сталого розвитку:

Ціль 1. Подолання бідності;

Ціль 2. Викорінення голоду, забезпечення продовольчої безпеки та покращення харчування, заохочення раціонального ведення сільського господарства;

Ціль 3. Забезпечення здорового способу життя та добробуту людей будь-якого віку;

Ціль 4. Забезпечення всеохоплюючої і справедливої якісної освіти та заохочення можливості навчання впродовж усього життя;

Ціль 5. Забезпечення гендерної рівності, розширення прав і можливостей усіх жінок та дівчат;

Ціль 6. Забезпечення наявності та здійснення сталого управління водними ресурсами та санітарією;

Ціль 7. Забезпечення доступу всіх людей до прийнятних за ціною, надійних, сталих і сучасних джерел енергії;

Ціль 8. Сприяння безперервному, всеохопному і сталому економічному зростанню, повній і продуктивній зайнятості та гідній праці для всіх;

Ціль 9. Створення стійкої інфраструктури, сприяння проведенню всеохоплюючої і сталої індустріалізації та впровадженню інновацій;

Ціль 10. Скорочення нерівності всередині країн і між країнами;

Ціль 11. Забезпечення відкритості, безпеки, життєстійкості й екологічної стійкості міст і населених пунктів;

Ціль 12. Забезпечення переходу до раціональних моделей споживання і виробництва;

Ціль 13. Вжиття невідкладних заходів щодо боротьби зі змінами клімату та їх наслідками;

Ціль 14. Збереження та стале використання океанів, морів і морських ресурсів в інтересах сталого розвитку;

Ціль 15. Захист і відновлення екосистем суші та сприяння їх раціональному використанню, раціональне лісокористування, боротьба з опустелюванням, припинення процесу деградації земель та їх відновлення, зупинення втрати біорізноманіття;

Ціль 16. Сприяння розбудові миролюбного і всеохопного суспільства задля сталого розвитку, забезпечення всім доступу до правосуддя і створення ефективних, підзвітних та інклюзивних інституцій на всіх рівнях;
Ціль 17. Зміцнення засобів реалізації Глобального партнерства в інтересах сталого розвитку та активізація його діяльності.

Ці цілі є взаємоповязаними і мають комплексний характер. Їх досягнення є можливим лише при урівноваженні економічних, соціальних та екологічних процесів. До ключових принципів, які дозволять досягнути сталого розвитку відноситься:
– врахування шкоди від виснаження ресурсів і забруднення довкілля у витратах виробництва та у процесах ціноутворення;
– врахування обмеженості природних ресурсів на основі обмеженої здатності біосфери до самовідновлення;
–діяльність щодо розширення використання відновлюваних джерел енергії;
- узгодження рівня сталого споживання і виробництва людством з екологічними можливостями нашої планети;
– еволюція та адаптування виробничих технологій та людських цінностей до змін у природних екологічних системах.

Серед зазначених вище цілей сталого розвитку можна виділити ті, що стосуються ефективного використання ресурсів та розвику більш чистого виробництва. Зокрема, Ціль 8 передбачає підвищення продуктивності в економіці шляхом диверсифікації, технічної модернізації та інноваційної діяльності та підвищення глобальної ефективності використання ресурсів у системах споживання і виробництва, перехід на замінники традиційної сировини. Відсутність значних змін у сучасні базові технології буде приводити до подальшого погіршення стану навколишнього середовища. Ціль 9 направлена на підвищення ефективності використання ресурсів і більш широкого застосування чистих та екологічно безпечних технологій за рахунок створення інновацій та модернізації інфраструктури з метою підтримки економічного розвитку та добробуту людей.

Ключовим аспектом Цілі 11 є збільшення кількості міст і населених пунктів, в яких реалізовують комплексні стратегії і плани, спрямовані на усунення соціальних бар’єрів, зменшення негативного екологічного впливу, підвищення ефективності використання ресурсів, пом’якшення наслідків зміни клімату та адаптацію до його зміни, а також здатність протистояти стихійним лихам.

Для промислових виробників Ціль 12 передбачає забезпечення переходу до сталих моделей споживання та виробництва, зокрема, шляхом ефективного використання природних ресурсів, екологічно безпечного поводження з хімічними речовинами та всіма відходами, істотного зменшення утворення відходів, впровадження заходів щодо їх переробки і повторного використання.

Ціль 15 має на меті збереження, відновлення та раціональне використання земельних ресурсів, а також прісноводних водойм, у тому числі лісів, водно-болотних угідь, гір і посушливих земель.

Успішна реалізація окремих соціально-економічних цілей сталого розвитку при сучасному рівні використання ресурсоефективних та чистих технологій робить неможливим досягнення визначених екологічних цілей. Так, досягнення перших одинадцяти соціальних і економічних цілей, в разі використання традиційних політик економічного зростання, роблять практично неможливим зниження темпів глобального потепління, припинення надмірного вилову риби в океанах або зупинення деградації земель. У якості складової частини концепції сталого розвитку поширення набуває концепція екологічно чистого виробництва (“зеленої” економіки).

Перехід до сталого розвитку передбачає здійснення глибоких структурних та функціональних перетворень суспільного виробництва на інноваційній основі та забезпечення еколого-орієнтованого розвитку всіх галузей економіки. Досягти цього можна шляхом реалізації таких напрямків розвитку:

- поширення ідеології екологізації виробництва;
- оптимізації структури споживання і структури виробництва;
- розширення виробничого ресурсозбереження, проведення оцінки екологічної небезпеки вироблюваних продуктів протягом їх життєвого циклу;
- збільшення інвестицій на природоохоронну діяльність, створення системи гарантій раціонального природокористування;
- виховання суспільної свідомості щодо забезпечення сталого розвитку.

1.8. Екологічний менеджмент

Екологізація – процес послідовного впровадження нової техніки і технології, нових форм організації виробництва, виконання управлінських та інших рішень, які дають змогу підвищити ефективність використання природних ресурсів з одночасним

збереженням природного середовища та його поліпшення на різних рівнях. Провідну роль у механізмі екологізації відіграє державна політика, яка визначає умови раціонального використання природних ресурсів, поліпшення якості навколишнього середовища, стимулює розширення виробництва на основі ресурсоефективних та чистих технологій.

Законодавство про охорону навколишнього природного середовища регулює відносини у галузі охорони, використання та відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки, запобігання та ліквідацію негативного впливу господарської діяльності на навколишнє природне середовище. На сучасному етапі для регулювання захисту довкілля у країнах Європейського Союзу застосовується понад 300 законодавчих актів, які стосуються управління водними, атмосферними, земельними ресурсами, шумовими забрудненнями, відходами тощо. До цих документів відносяться директиви, які встановлюють основні положення, контрольні цифри та нормативи. При цьому держави – члени ЄС мають можливість обирати найбільш придатні шляхи, форми, процедури їх досягнення на основі цих законодавчих актів.

Необхідність проведення екологізації визначається законами України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року», «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про екологічний аудит», іншими екологічними законами та нормативно-правовими актами держави. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» передбачає прискорене запровадження міжнародних стандартів систем екологічного управління на підприємствах і в компаніях.

Одним з пріоритетних завдань збалансованого розвитку України є запровадження нових принципів та ефективних заходів, спрямованих на інтеграцію екологічної складової до усіх галузей національної економіки.

Сучасним механізмом ефективного управління природоохоронною діяльністю, який визнано на міжнародному рівні, є екологічний менеджмент (environmental management).

Термін “екологічний менеджмент” розглядається у таких значеннях:

- сукупність методів і засобів управління природоохоронною діяльністю підприємства;

- система управління окремим природним комплексом, що підлягає особливій охороні;
- складова загальної системи управління, яка включає організаційну структуру, діяльність з планування, обов'язки, відповідальність, досвід, методи, методики, процеси і ресурси для формування, здійснення, аналізу та актуалізації екологічної політики конкретної організації;
- діяльність громадських екологічних організацій.

Впровадження системи екологічного менеджменту дає підприємству ряд конкурентних переваг:
- економія матеріалів внаслідок більш ефективного використання сировини і відходів виробництва при збереженні економічних інтересів підприємства;
− зростання екологічної ефективності діяльності підприємства;
- зменшення енергоспоживання;
- поліпшення якості продукції в результаті змін у технологічному процесі.

Розроблення та впровадження систем сучасного екологічного менеджменту проводять на основі серії міжнародних стандартів ISO 14000, які орієнтовані на поліпшення екологічних характеристик діяльності підприємства, і містять практичні інструменти для створення ефективної системи екологічного управління та розвитку ініціативного екологічного аудиту. Ці стандарти носять загальний та універсальний характер, і можуть застосовуватися на будь-якому підприємстві незалежно від галузі, розміру та сфери діяльності.Система стандартів ISO 14000 носить рекомендаційний характер і забезпечує зменшення несприятливого впливу на навколишнє середовище на двох рівнях:
- організаційному – через поліпшення екологічної «поведінки» корпорацій.
- національному – через створення істотного доповнення до національної нормативної бази і компонента державної, екологічної політики.

Стандарти серії ISO 14000 включають групи стандартів з принципів створення й використання систем екологічного менеджменту, інструментів екологічного контролю та оцінки тощо.

Запровадження та виконання на підприємстві вимог серії стандартів ISO 14000 забепечує досягнення наступних результатів:
- стратегічний напрям діяльності підприємства з врахованням аспектів екологічної політики;

- гармонізація тактичного і стратегічного планування послідовного покращення діяльності підприємства;
- удосконалення бізнес-процесів і організаційної структури підприємства з метою уникнення конфліктів виробничої й екологічної діяльності;
- удосконалення управлінських технологій шляхом використання широкого спектру інструментів екологічного управління;
- оптимізація документообігу відповідно до вимог екологічних стандартів;
- розвиток персоналу, спрямованого на розвязання екологічних проблем.

Міжнародний стандарт ISO 14001:2004 «Системи екологічного менеджменту (EMS). Специфікація та керівництво з використання», визначає, що система екологічного менеджменту – це частина загальної системи менеджменту, що включає організаційну структуру, планування діяльності, розподіл відповідальності, практичну роботу, а також процедури, процеси і ресурси для розробки, впровадження, оцінки досягнутих результатів реалізації та вдосконалення екологічної політики, її цілей і завдань.

До ключових принципів, на яких базується система екологічного менеджменту, відноситься:
- принцип запобігання негативного впливу підприємства на навколишнє середовище;
- принцип послідовного поліпшення результатів екологічної діяльності підприємства;
- принцип відповідності вимогам природоохоронного законодавства та іншим вимогам, з якими організація погодилася.

На сьогодні в Європейському Союзі склалася практика, що країни ЄС на свої ринки допускають лише продукцію компаній, які мають сертифікати відповідності стандартам ISO. Підприємства, які мають екологічну сертифікацію, отримують ряд переваг в отриманні кредитів на розвиток виробництва, вирішення екологічних проблем та економії природних ресурсів. Для підтвердження відповідності системи екологічного менеджменту вимогам стандарту ISO 14001 здійснюється проведення сертифікаційного аудиту акредитованим органом та видача сертифіката. В процесі сертифікації представники міжнародної організації зі стандартизації встановлюють стан впровадження на підприємстві екологічної політики, рівень впровадження технологічних процесів, які забезпечують найменший рівень ресурсоємності і

шкідливого впливу на довкілля, організацію постійного моніторингу досягнення цілей та завдань екологічної політики, а також надають рекомендації щодо підвищення ефективності системи екологічного менеджменту. Протягом терміну дії сертифікату сертифікаційний орган періодично проводить наглядові аудити для контролю функціонування системи екологічного менеджменту.

В Україні ряд міжнародних стандартів серії ISO 14000 прийняті як національні. Це такі стандарти:

-ДСТУ ISO 14001:2006 «Система екологічного керування. Вимоги та настанови щодо застосовування»;

-ДСТУ ISO 14004:2006 «Система екологічного управління. Загальні настанови щодо принципів, систем та способів забезпечення»;

-ДСТУ ISO 14015:2005 «Екологічне керування. Екологічне оцінювання виробничих об'єктів та організацій»;

-ДСТУ ISO 19011:2003 «Настанови щодо здійснення аудитів систем управління якістю і (або) екологічного управління»;

-ДСТУ ISO 14020-2003 «Екологічні маркування та декларації. Загальні принципи»;

-ДСТУ ISO 14021 -2002 «Екологічні маркування та декларації. Екологічні самодекларації. (Екологічне маркування типу II)»;

-ДСТУ ISO 14024-2002 «Екологічні маркування та декларації. Екологічнемаркування типу I. Принципи та методи»;

-ДСТУ ISO 14025:2008 «Екологічні маркування та декларації. Екологічні декларації типу III. Принципи та процедури»;

-ДСТУ ISO 14031:2004 «Екологічне керування. Настанови щодо оцінювання екологічної характеристики»;

-ДСТУ ISO/TR 14032:2004 «Екологічне керування. Приклади оцінювання екологічної характеристики»;

-ДСТУ ISO 14040:2004 «Екологічне керування. Оцінювання життєвого циклу. Принципи та структура»;

-ДСТУ ISO 14041:2004 «Екологічне керування. Оцінювання життєвого циклу. Визначення цілі і сфери застосування інвентаризації»;

-ДСТУ ISO/TR 14047:2007 «Екологічне управління. Оцінювання впливів у процесі життєвого циклу. Приклади застосування ISO 14042».

-ДСТУ ISO/TR 14062:2006 Екологічне керування. Враховування екологічних аспектів під час проектування та розробляння продукції.

В Україні система екологічної сертифікації та маркування почала розвиватися з 2003 року згідно з вимогами ДСТУ ISO 14024 «Екологічні маркування та декларації. Екологічне маркування типу I. Принципи та

процедури». Екологічні показники продукції підприємств, які мають екологічні сертифікати, відображаються на етикетках та упаковці основних видів продукції. Згідно з ДСТУ ISO 14024 екологічні критерії встановлюють вимоги, яким повинен відповідати об'єкт стандартизації з тим, щоб йому було надано право на застосування екологічного маркування. У 2016 році підприємство «Тойота-Україна» стало першою автомобільною компанією в Україні, яка успішно прошов сертифікацію відповідно нової версії міжнародного стандарту ISO 14001:2015.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ТА КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Що представляють собою ресурсні обмеження та екологічні загрози сьогодення?
2. Які характерні приклади характеризують процеси екологічної деградації на сучасному етапі характерні ?
3. У чому полягає сутність ресурсоефективних та чистих технологій?
4. Які цілі визначено для забезпечення сталого розвитку сучасної цивілізації?
5. Опишіть основні висновки математичного прогнозування розвитку земної цивілізації.
6. Які напрями трансформації системи природокористування на засадах концепції «зеленої» економіки?
7. Що означає термін «зелена» економіка та її відмінності від попередніх концепцій суспільного розвитку?
8. Які функції екологічної стандартизації ?

2. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛЮДСТВА

Споживання енергії є необхідною умовою існування людини. Перший кроком у зростанні енергоспоживання стався після того, як людина навчилася добувати вогонь і використовувати його для приготування їжі та обігріву своїх осель. Джерелами енергії в цей період служили переважно дрова та м'язова сила людини. У Середньовіччі розпочалося широке використання людством робочої худоби, енергії води і вітру, дров і, частково, вугілля. Станом на початок XV століття людина збільшила енергоспоживання до 10 разів, у порівнянні з первісною людиною.

Подальший розвиток цивілізації супроводжується постійним збільшенням енергоспоживання і, відповідно, освоєнням її нових джерел та винаходами нових методів перетворення енергії. Наявність доступної для споживання енергії завжди було необхідно для задоволення потреб людини, збільшення тривалості і поліпшення умов її життя. Особливо помітне збільшення світового споживання енергії відбулося за останні 200 років. Людина сучасного індустріального суспільства споживає у сотні разів більше енергії, ніж первісна людина. Освоєння різних видів енергії в світовому масштабі призвело до зростання рівня життя. Нині понад 80 % населення планети має доступ до електроенергії.

У сучасному світі енергетика є основою розвитку базових галузей промисловості, що визначають прогрес суспільного виробництва. В усіх промислово розвинених країнах темпи розвитку енергетики випереджали темпи розвитку інших галузей.

Загальноприйнята класифікація поділяє джерела первинної енергії на комерційні та некомерційні.

Комерційні джерела енергії включають в себе тверді (кам'яне і буре вугілля, торф, горючі сланці), рідкі (нафта та газовий конденсат), газоподібні (природний газ) і первинну електроенергію, яка виробляється на ядерних, гідравлічних, вітрових, сонячних, приливних станціях тощо. До некомерційніх відносять всі інші джерела енергії (дрова, сільськогосподарські и промислові відходи, м'язова сила робочої худоби і власне людини).

Світова енергетика в цілому протягом індустріальної фази розвитку суспільства базується переважно на комерційних енергоресурсах. Найбільшими енергоспоживачами є: Китай - 30 %, США - 25 %,

Російська Федерація - близько 10 %, ФРН — 7,3 %, Японія - 5,5 %, Енергоспоживання України складає у цьому переліку близько 3 % і є співмірним з показниками Великої Британії, Франції, Канади.

Важливою складовою сучасних тенденцій розвитку світової енергетичної сфери став розвиток технологій видобутку сланцевих нафти та газу, що призвело до «вуглеводневого буму» в США. Накопичений досвід використання технологій у середньостроковій перспективі дозволив США країні стати одним з найпотужніших експортерів енергоресурсів, що помітно вплинуло на формування цін на нафту та природний газ у світі.

Популярні у XX столітті джерела енергії (нафта, газ, вугілля) є проміжними на даному етапі розвитку людства. Ці джерела накопичили в собі енергію протягом тривалого проміжку часу задовго до появи людства. Витрата за останні 80 років значної кількості органічного палива стала причиною різкого викиду в навколишнє середовище надлишкової теплової енергії та вуглекислого газу, що викликало зміни в екологічній ситуації (спустелювання, ерозія грунтів, знищення деяких видів рослин і тварин, парниковий ефект, забруднення водних басейнів). Крім того, ці ресурси органічного викопного палива є практично не поновлюваними і, отже, можуть вичерпатися у найближчому майбутньому.

У структурі світового виробництва електроенергії провідна роль нині належить тепловим електростанціям, завдяки яким виробляється понад 80% усієї електроенергії. Ще понад 11,5 % виробляють електростанції, що використовують нетрадиційні ресурси - біопаливо, відходи, сонце, вітер тощо. Близько 5 % постачають атомні електростанції, вдвічі менше за них електроенергії виробляють гідравлічні електростанції.

Наявні прогнози щодо споживання людством енергії припускають, що приблизно до 2025 року очікується збереження сучасного помірного темпу зростання світового споживання енергії - близько 1.5% в рік, в наступні двадцять років прогнозується стабілізація світового споживання на душу населення на рівні 2,3 - 2,4 т умовного палива в рік на одного жителя нашої планети. При цьому загальне споживання енергії за прогнозами має стабілізуватися після 2050 року і навіть дещо зменшитися до кінця століття.

При виробництві енергоресурсів важливо, щоб витрати енергії на видобуток, транспорт і переробку сировини повинні бути меншими за енергію, яку одержують від спалювання видобутих ресурсів. Цей

показник носить назву «енергетична рентабельністю» або EROEI (Energy return on energy invested) - співвідношення отриманої енергії до кількості енергії, яка витрачена на отримання цього енергетичного ресурсу. У випадку, коли значення цього коефіцієнта є більшим одиниці виробництво енергії є прибутковим. Для прикладу, показник EROEI вітряної турбін залежить від вкладеної у виробництво турбіни енергії, кількості виробляємої енергії і гарантійної тривалості експлуатації турбіни. Якщо для джерела електроенергії показник EROEI є меншим або дорівнює одиниці, то така генеруюча установка перетворюється в «поглинач» енергії і не може розглядатися як первинне джерело енергії.

Згідно з критерієм EROEI вугілля є найефективнішим видом палива (показник EROEI складає близько 80), дещо нижчі показники характерні показники характерні для нафти і природного газу (EROEI = 35), ще нижчий показник для ядерного палива (EROEI = 15). При цьому показники EROEI для різних видів біопалива (біоетанол, біодизель) є значно нижчими (EROEI = 0,8-10) у порівнянні з викопними видами палива. Виходячи з наявних даних, за критерієм EROEI нині рівноцінних замінників традиційним видам палива (вугілля, нафта, газ) немає. В той же час, враховуючи постійне здешевлення обладнання для потужної вітрової (EROEI = 35-45) і сонячної енергетики (EROEI = 9-14), ці поновлювані джерела енергії у майбутньому мають значні перспективи.

Енергетика є одним з джерел несприятливого впливу на навколишнє середовище. Значна частина енергії отримується при спалюванні органічного викопного палива (нафти, вугілля і газу), що призводить до викиду в атмосферу значної кількості забруднюючих речовин. Підприємства енергетики негативно впливають на стан атмосферного забруднення (звязуваня кисню в вуглекислий газ, викиди парникових газів, вологи і твердих частинок), гідросферу (споживання води, створення штучних водоймищ, скиди забруднених і нагрітих вод, рідких відходів) і на літосферу (споживання викопних палив, зміна ландшафту, викиди токсичних речовин у складі відходів). Провідну роль у зниженні обсягів антропогенних викидів парникових газів у національних планах дій та програмах відводять підвищенню рівня ефективного використання викопних енергоресурсів і переходу на низьковуглецеві джерела енергії. Пріоритетами енергетичної політики України визначено:

- низьковуглецевий розвиток економіки країни та впровадження інноваційних технологій;
- забезпечення енергетичної безпеки та енергетичної достатності;
- підвищення енергоефективності та енергозбереження;
- суттєве розширення використання поновлюваних джерел енергії;
- зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище.

2.1. Сучасний стан виробництва електричної енергії

До теперішнього часу викопні види органічного палива продовжують домінувати у глобальному енергоспоживанні. Загальна частка нафти, вугілля і природного газу у світовому енергобалансі упродовж останніх 25 років була стабільно високою: на ці види палива припадало від 81% загального споживання енергії у 1989 році до 78,3% у 2015 році.

Вугілля залишається найбільш надійним і дешевим джерелом енергії для країн, що розвиваються, і країн з перехідною економікою, а також основним енергоносієм електроенергетики США і Китаю. У 2019 році в паливній структурі світу вироблення електроенергії питома вага вугілля складала 36,4%. На частку газу в електроенергетиці припадає 23,3%, нафти - близько 3%. Розвідані запаси вугілля у багато разів перевищують запаси інших видів вуглеводневого палива. Найбільші світові запаси вугілля (близько 90%) зосереджені у восьми країнах світу – США, Росії, КНР, Австралії, Індії, ПАР, Україні, Казахстані.

Сильний економічний тиск на споживачів вугілля шляхом застосування механізмів міжнародної торгівлі квотами на викиди парникових газів стимулює розвиток більш ефективних технологій виробництва електричної енергії за рахунок спалювання вугілля, що сприяє зменшенню споживання цього виду палива і, відповідно, парникових викидів на одиницю виробленої енергії. До 2040 року споживання вугілля у Європі планується скоротити на 87% та на 45% у США. Видобуток вугілля продовжує зростати в Китаї, але за прогнозами досягне піку в 2026 році і потім теж має почати скорочуватися.

Глобальне виробництво електричної енергії у 2020 році було забезпечено завдяки наступним видам генерації: вугільна – 8,7 тис ТВт·год (33,8 %), з природнього газу – 5,9 тис ТВт·год (22,8 %), гідроелектростанції – 4,3 тис ТВт·год (16,8 %), атомні електростанції – 2,6 тис ТВт·год (10,1%), вітроелектростанції – 1,6 тис ТВт·год (6,1 %),

сонячні електростанції – 840 ТВт·год (3,3 %), біонергетика – 586 ТВт·год (2,2 %).

Таблиця 5

Структура виробництва електроенергії у світі у 2019 році

Країна	Загальне виробництво, млрд кВт·год на рік	Джерело енергії, %					
		Вугілля	Нафта	Природний газ	Атомна енергія	Гідроенергія	Інші види
США	4003,5	52,7	3,1	15,7	20,0	6,2	2,2
Франція	535,8	0,0	0,1	6,3	62,3	11,2	20,1
Німеччина	567,1	27,2	0,1	8,0	11,1	3,8	49,8
Англія	372,2	0,0	0,2	27,4	17,7	2,0	52,7
Італія	269,9	11,3	31,8	37,5	0,0	16,4	3,0
Іспанія	221,7	1,6	0,1	28,0	20,5	12,8	37
Україна	120,2	21,0	0,1	9,8	56,0	8,0	5,1
Швеція	145,9	0,0	0,0	0,0	26,7	42,3	31
Норвегія	142,4	0,0	-	0,0	0,0	80	20
Данія	36,2	3,0	0,1	2,2	-	0,1	94,6

За 2020 рік структура використання палива для виробництва електричної енергії традиційними способами змінилася наступним чином:

вугілля – зменшення на 3,8% (- 345,8 ТВт·год);

природний газ – зменшення на 0,9% (- 50,7 ТВт·год);

ядерна енергетика – зменшення на 3,8% (- 104,1 ТВт·год);

інші види викопного палива – зростання на 3,6% (+ 39,1 ТВт·год).

Китай став єдиною країною, в якій відзначено значне збільшення вироблення електричної енергії з вугілля (+2%). В даний час, на Китай припадає вироблення більше половини (53%) світової вугільної електроенергії в порівнянні з 44% у 2015 році.

Виробництво електроенергії в Україні забезпечують: 4 атомні електростанції; 15 теплових електростанцій, 2 з яких залишились на непідконтрольній території; 43 теплоелектроцентралей, 10 з яких знаходяться на непідконтрольній території; основу гідроенергетики України становить каскад з 6 великих гідравлічних електростанцій на Дніпрі, а також Ташлицька ГАЕС на річці Південний Буг. За даними Міністерства енергетики та вугільної промисловості України виробництво електроенергії в об'єднаній енергосистемі України у 2021 році порівняно з 2020 роком збільшилося на 5,2% і становило 156 млрд 575,7 млн кВт·год. Частка атомних електростанцій у структурі виробництва електроенергії склала 55,1%, теплових електростанцій – 29,3%, гідравлічних електростанцій – 6,7%, поновлюваних джерел енергії – 8%.

Теплоенергетика - виробництво електричної енергії за допомогою електричних генераторів - парових турбін, що працюють за рахунок спалювання твердих (вугілля), рідких (мазут, нафта) і газоподібних (природний газ) видів палива. Коефіцієнт корисної дії теплових електростанцій знаходиться в межах 36 - 39%. Теплоенергетика є одним з екологічно небезпечних методів виробництва енергії. З-поміж негативних наслідків роботи теплових електростанцій на викопному вугільному паливі слід особливо зважати на забруднення біосфери радіоактивними речовинами в обсягах, які набагато перевищують можливі радіоактивні викиди за безпечної експлуатації атомних електростанцій. Однак, з технічної точки зору, теплові електростанції менш небезпечні, ніж атомні та гідроелектростанції.

Теплові електростанції, які працюють на кам'яному вугіллі, утворюють приблизно 720 г CO_2 на 1 кВт·год виробленої електроенергії, а сучасні електростанції на природному газі лише 370 г на 1 кВт·год. Для прикладу, забруднення навколишнього середовища від роботи на вугіллі Трипільської теплової електростанції складає понад 80% від загальної кількості забруднень, що утворюються у Київській області.

Поряд з органічним паливом теплові електростанції потребують споживання значної кількості води. Типова теплова електростанція потужністю 1 млн кВт щодоби споживає 9 тис т вугілля, 1250 т мазуту і 75000 $м^3$ води. На охолодження відпрацьованого водяного пара на такій тепловій електростанції використовуються щодоби 7 млн. $м^3$ води, що призводить до теплового забруднення водойми-охолоджувача. Теплове забруднення води спричиняється спуском у

водойми підігрітих вод від теплових електростанцій та інших енергетичних установок. Тепла вода змінює термічний і біологічний режими водойм і шкідливо впливає на на риб та інших мешканців водойм.

За одну добу на тепловій електростанції потужністю 1 млн кВт утворюється понад 1000 т золи, для розміщення якої необхідно виділення до 1 га площі щорічно.

Рис.2. Викиди в атмосферу від теплової електростанції

Основними причинами, що при роботі теплових електростанцій посилюють негативний вплив на довкілля є:

- використання низькосортного палива;
- застаріла технологія виробництва та обладнання, у тепловій електроенергетиці України експлуатуються енергоблоки, наймолодшим з яких понад 40 років;
- доцільність використання на теплових електростанціях ефективних фільтрів для очищення продуктів згорання палива;
- висока енерго- та матеріаломісткість встановленого обладнання.

Протягом тривалого часу атомні електростанції (АЕС) представлялися як найбільш екологічно чистий вид електростанцій та як перспективна заміна тепловим електростанціям. При роботі АЕС не утворюється вуглекислий газ, а обсяг інших викидів забруднень атмосфери у порівнянні з тепловими електростанціями незначний. Кількість радіоактивних речовин, що утворюються в період експлуатації АЕС є порівняно невеликою. На сьогодні у світі працює

близько 400 атомних електростанцій. Вони забезпечують майже 10% енергії, що виробляється на Землі. В 10 країнах світу зосереджено 90 % загальної їх потужності. Серед цих країн Франція, де атомні електростанції виробляють понад 62 % електроенергії, Україна понад 56 %, США – 20%.

Однак процес безпечної експлуатації атомних електростанцій залишається до цього часу не вирішеним. Після катастрофи на Чернобильській атомній електростанції у 1986 році у ставленні до ядерної енергетики сталися значні зміни. Ряд держав зовсім відмовилися від виробництва електроенергії на атомних електростанції (Фінляндія, Італія, Швейцарія, Нідерланди).

Після трагедії на атомній електростанції "Фокусіма" (Японія) у 2012 році для багатьох країн світу постало питання про доцільність їх подальшого використання, а Німеччина взагалі прийняла рішення про поступове закриття атомних електростанцій, що діяли в країні, та припинення будівництва і введення в експлуатацію нових. В зв'язку з цим різко зросла роль екологічно чистих і безпечних альтернативних джерел енергії.

В Україні атомні електростанції займають провідне місце, виробляючи більше половини електроенергії. Сьогодні в Україні діє 15 ядерних енергоблоків. За кількістю реакторів та їх потужністю Україна посідає восьме місце у світі та п’яте - в Європі. Відбувається спрацьовування та підтримування потенціалу галузі атомної енергетики України, який було створено у минулому столітті, оновлення основних фондів практично не відбувається. Для 11 з реакторів атомних електростанцій України термін служби продовжений на 10 - 20 років. З 1990 року на Україні було введено в експлуатацію три атомні енергоблоки, будівництво яких було розпочато ще у 80-ті роки минулого століття. В Україні використовуються реактори типу ВВЕР - 440, ВВЕР - 1000 і РБМК. В 1986 році у Відні на нараді експертів МАГАТЕ відзначалося, що за міжнародним стандартом реактори РБМК із 19 обов’язкових параметрів відповідають тільки одному. Починаючи з 2030 року наявні ядерні енергоблоки мають почати виводити з експлуатації. Для цього вже зараз необхідно передбачати будівництво заміщувальних потужностей.

Підприємства з видобування та переробки уранових руд знаходяться у Дніпропетровській та Кіровоградській областях. Характерним для уранопереробки є те, що майже всі її відходи - відвали шахтних порід, скиди та викиди є джерелами радіаційного

забруднення навколишнього середовища. В них містяться природний уран, продукти розпаду уранового та торієвого рядів, у тому числі і радіоактивний газ радон. Для природного середовища та людей головну небезпеку становлять великі за своїми обсягами хвостосховища та зосереджені в них радіоактивні матеріали.

Детальний аналіз повного циклу атомної енергетики (від видобутку сировини до утилізації радіоактивних відходів, включаючи витрати на будівництво самої атомної електростанції) свідчить, що її будівництво є більш ніж у 5 разів дорожчим, ніж будівництво теплової електростанції такої ж потужності. Висока вартість ядерних реакторів пояснюється необхідністю забезпечення суворих заходів безпеки для запобігання аварій.

Рис. 3. Південно-Українська АЕС

Атомна енергетика є потенційно небезпечною через можливі аварії на енергоустановках, що супроводжуються викидом у навколишнє середовище радіоактивних матеріалів. Радіоактивне забруднення супроводжує всі ланки складного господарства ядерної енергетики: видобуток і переробку урану, роботу АЕС, зберігання і регенерацію палива.

Важливою проблемою атомної енергетики є утилізація і захоронення відпрацьованого палива АЕС, яке залишається небезпечними протягом сотень і тисяч років. Переробка ядерних відходів і їх захоронення обходяться надзвичайно дорого і на сьогодні відсутні надійні інженерні рішення.

1.2. Поновлювана енергетика

Швидке зростання кількості населення та економічне зростання приводять до щорічного збільшення глобального попиту на енергетичні ресурси, особливо в країнах, що розвиваються. Згідно з прогнозами Міжнародного енергетичного агентства на такі країни до 2035 року буде припадати 90% зростання сукупного світового попиту на енергію. Традиційна енергетика не зможе задовольнити майбутній попит, тому для попередження виникнення дефіциту необхідно розвивати джерела альтернативної енергетики.

Головним засобом боротьби зі зміною клімату вбачається перехід до безвуглецевої енергетики. Людство не має іншої альтернативи зменшення викидів парникових газів в атмосферу як розширення використання поновлюваних джерел енергії. Сьогоднішній етап розвитку цивілізації супроводжується революційною трансформацією світової енергетики - перехід від моделі енергетичного сектора на основі викопного палива, до нової моделі поновлюваної енергетики та впровадження енергозберігаючих заходів. Обмеженість традиційних джерел енергії призводить до необхідності дедалі ширшого застосування для цілей електропостачання нетрадиційних та поновлюваних джерел енергії. До поновлюваних джерел енергії відносять потоки енергії Сонця, енергію вітру, морів і океанів, річок, теплоти Землі, біомаси. Також до поновлюваних джерел енергії відносять низькопотенційне тепло Землі, яке використовується у теплових насосах, та вторинні джерела енергії, такі як скидне тепло, побутові та промислові відходи.

Енергія, яку отримують від поновлюваних джерел, класифікується за формою на:

1) механічна енергія (енергія вітру та потоки води);

2) теплова та промениста енергія (енергія сонячного випромінювання та природна теплова енергія глибоких шарів земної кори, які утворюють гаряча лава та природна радіоактивність гірських порід в корі Землі);

3) хімічна енергія (енергія, що міститься в біомасі: відходи деревообробних виробництв, вторинні ресурси агропромислового комплексу, стічні води, морські водорості, побутові та промислові відходи тощо).

Існує п'ять основних способів використання сонячної енергії:

-тепловий - полягає в підігріві повітря, води або сушіння матеріалів;

- фотоелектричний – полягає у перетворенні енергії сонячних променів на електричну енергію;

- біологічний – ґрунтується на здатності рослин шляхом фотосинтезу перетворювати сонячну енергію на хімічну;

- хімічний – полягає у використанні процесів розкладання та синтезу речовин під дією сонячних променів (розкладання води на водень та кисень);

- прямий - для освітлення через вікна, світлові люки тощо.

Поновлювані джерела енергії існують постійно або періодично виникають в навколишньому середовищі. До переваг більшості видів поновлюваної енергетики відносяться поширеність, невичерпність запасів та екологічна чистота. Заміщення виробництва електроенергії, яка виробляється з традиційних енергоресурсів, на вироблену з поновлюваних джерел, забезпечує значне скорочення викидів в атмосферу шкідливих речовин. На теперішній час енергопостачання віддалених автономних споживачів від джерел на основі поновлюваних енергоресурсів у багатьох випадках економічно доцільніше, ніж завезення органічного палива або будівництво ліній електропередач від великих енергосистем.

До недоліків поновлюваної енергетики відносяться мала питома потужність потоку енергоносіїв, яка складає для сонячної енергії на поверхні Землі 1,36·10-3 МВт/м^2, мінливість в часі більшості поновлюваних джерел енергії. Процес надходження сонячної енергії та енергія вітру містить значну частку випадковості, пов'язану з погодними умовами. Наявність даних недоліків вимагає:

- використання значних площ під розміщення енергоустановок (приймальних поверхонь сонячних установок, площ вітрових колес, протяжні греблі припливних електростанцій тощо);

-призводить до значної матеріаломісткості пристроїв поновлювальної енергетики і відповідно до підвищених питомих капіталовкладень порівняно з традиційною енергетикою.

. Середня площа, необхідна для забезпечення потужності 1 МВт на електростанціях різного типу складає:

-атомні електростанції - 630 $м^2$;
-теплові електростанції, які працюють на природному газі -1500 $м^2$;
-теплові електростанції, які працюють на вугіллі – 2400 $м^2$;
-сонячні електростанції -100000 $м^2$;
-гідроелектростанції - 265000 $м^2$;
-вітроенергетичні станції – 1700000 $м^2$.

Використання основних поновлюваних енергетичних джерел у 2018 році характеризувалося наступними показниками:
-загальна потужність відновлюваної енергетики (за виключенням гідроенергетики) - 1246 ГВт;
-встановлені потужності вітроенергетики - 591 ГВт;
-встановлені потужності біоенергетики - 130 ГВт;
-встановлені потужності геотермальної енергетики - 13,3 ГВт;
-встановлені потужноті сонячної енергетики на основі концентраційних технологій - 5,5 ГВт
-встановлена потужність установок, які використовують енергію океану - 0,5 ГВт;
-річне виробництво біоетанолу – 112 млрд літрів;
-річне виробництво біодизельного палива - 41 млрд літрів.

Таблиця 6

Ресурси поновлювапних джерел енергії у світі млн тонн умовного палива

Вид енергії	Теоретичні ресурси, млн т умовного палива	Технічні ресурси, млн т умовного палива
Енергія сонця	$1,3 \cdot 10^8$	$5,3 \cdot 10^4$
Енергія вітру	$2,0 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^4$
Геотермальна енергія	$4,8 \cdot 10^9$	$1,7 \cdot 10^5$
Енергія світового океану	$2,5 \cdot 10^5$	-
Енергія біомаси	$9,9 \cdot 10^4$	$9,5 \cdot 10^3$
Гідроенергія	$5,0 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^3$

Альтернативні джерела енергії поступово витісняють вугілля, видобуток якого знизився в першій половині 2020 року на рекордні 8,3% у порівнянні з тим же періодом 2019 року. Заміна такого скорочення досягається на 30% вітровою і сонячною енергією. Падіння вартості технологій в вітрової і сонячної енергетики і амбітні програми

по боротьбі зі змінами клімату в ЄС, США, Китаї, Індії, Японії і Австралії сприяли збільшенню генеруючих потужностей і виробленні електроенергії з поновлюваних джерел. У Європі лідерами за виробництвом електроенергії від поновлюваних джерел є Німеччина - 33% від загальної кількості виробленої електроенергії та Великобританія - 29%. При цьому електростанції, що спалюють викопне вуглецеве паливо, виробляють всього 34% електроенергії. У 2017 році в Китаї було зафіксовано найзначніший приріст кількості сонячних та вітрових установок та загальної кількості встановлених потужностей. Сонячні та вітрові електростанції в Китаї мають потужності понад 100 ГВт. У 2017 році на цю країну припало понад половину всіх нових сонячних установок, а також дві третини виробництва сонячної енергії за допомогою фотоелектричних панелей.

Сукупне світове виробництво від альтернативних джерел генерації у 2020 році змінився порівняно до 2019 роком наступним чином:

сонячні електростанції – зростання на 19,9%;

вітрові електростанції – зростання на 12,2%;

гідроенергетика – зростання на 2,2%.

Сукупне виробництво світової електроенергії на вітрових і сонячних електростанціях у 2021 році вперше склало 10,3%.

У 2018 році близько двох третин світових інвестицій в електроенергетику припадало на об'єкти поновлюваної енергетики. Найбільші інвестиції в поновлювану електроенергетику і поновлювані види палива здійснювали Китай, США, Японія, Індія, Австралія.

Енергетичний перехід до поновлюваних джерел енергії і має здійснити до 2050 року глобальну соціально-економічну революцію. Сонячні електростанції мають стати домінуючим джерелом вироблення електроенергії в країнах Європейського Союзу. Прогнозується, що електроенергія від сонячних електростанцій забезпечить найбільшу частку потужності, досягнувши у 2050 році 4,7-8,8 ТВт, що складатиме від 50% до 80% загального виробництва енергії. До 2050 року іншого опорою енергетичного переходу має стати енергія вітру, на яку буде припадати 28 - 33% генерації.

У 2017 році в Україні було прийнято «Енергетичну стратегію України», згідно з якою до 2035 року Україна планує збільшити долю відновлювальної енергетики у своєму енергобалансі до 25%. Частка генерації поновлюваними джерелами енергії в загальному обсязі виробленої енергії об’єднаної енергетичної системи (ОЕС) України у серпні 2021 року складала 9%.

Відповідно до прийнятого в 2009 році закону про електроенергетику, для стимулювання використання поновлюваних джерел енергії була застосована модель диференційованих (пільгових) тарифів для суб'єктів господарювання, які виробляють електроенергію з поновлюваних джерел енергії. Цей закон дав потужний поштовх до розвитку енергетики в Україні. Закон передбачає зниження тарифів для виробників (в середньому на 15% для сонячних електростанцій і на 7,5% для вітрових електростанцій. Динаміка запровадження нових потужностей відновлюваної енергетики в Україні з року в рік залишається позитивною - у 2017-му їх потужність склала 257 мВт, що в 2,1 раза більше, ніж попереднього року. За 2020 рік в Україні генерація поновлюваної енергетики зросла втричі – з 2,3 до 6,8 ГВт. За І півріччя 2021 року загальна потужність об’єктів поновлюваної електроенергетики збільшилась на 8,3 %. З них за 6 місяців введено:

- вітроелектростанцій – 278,4 мВт;
- потужніх сонячних електростанцій – 257,4 мВт;
- сонячних електростанцій приватних домогосподарств – 156 мВт;
- електростанцій, які у якості палива використовують біомасу – 10,4 мВт;
- електростанцій, які у якості палива використовують біогаз – 6 мВт;
- об’єктів малої гідроенергетики – 1,6 мВт.

Загалом, станом на кінець І півріччя 2021 року в Україні введено 9225 МВт потужностей, що виробляють електроенергію з відновлюваних джерел, а саме:

-6 351 МВт – сонячні електростанції;
-1 593 МВт – вітроелектростанції;
-933 МВт – СЕС домогосподарств;
-119 МВт – потужності на твердому біопаливі;
-118 МВт – мала гідроенергетика;
-111 МВт – біогазові установки.

Зараз в Об'єднаній енергосистемі України (ОЕС) працюють близько 7 тис мВт поновлюваних джерел енергії, в більшості - сонячні і вітрові електростанції. У 2014-2019 роках сонячна та вітрова енергетика України забезпечували зайнятість майже 25 тис. працівників, а з врахуванням етапу виробництва обладнання – близько 45 тисяч.

Лідером серед областей за встановленою потужністю сонячних електростанцій є Дніпропетровська область, з потужністю 1163,9 МВт. Лідером за встановленою потужністю вітроелектростанцій є Запорізька область – 595,8 МВт. Вінницька область має найбільшу

кількість потужності малих гідроелектростанцій – 24,6 МВт, а Хмельницька має найбільшу встановлену потужність установок з виробництва біогазу – 34,6 МВт.

2.3. Характеристика основних джерел поновлюваної енергії

2.3.1. Пряме використання сонячної енергії

Потужність сонячної радіації, поглинутої атмосферою і земною поверхнею, складають $1{,}0 \cdot 10^5$ ТВт ($1{,}0 \cdot 10^{17}$ Вт). Для порівняння сучасне світове енергоспоживання становить лише 10 ТВт, що визначає сонячну енергію найбільш перспективним видом альтернативної енергетики.

До основних методів промислового перетворення сонячної енергії відносяться методи прямого використання сонячної енергії - фотоелектричне перетворення і перетворення через термодинамічний цикл.

Фотоелектричний метод (фотовольтаїка) перетворення сонячної енергії заснований на ефекті взаємодії напівпровідникових матеріалів зі світловим випромінюванням. Головні переваги фотоелектричних установок полягає в тому, що вони не мають рухомих частин, їх конструкція є простою, а серійне виробництво є достатньо технологічним. Останні 35 років ціни на фотоелектричні перетворювачі знижувалися, і навіть проявилася закономірність - кожні 5 років ціна на ці пристрої знижується вдвічі.

Найбільшу встановлену потужність сонячної енергетики, яка використовує фотоелектричний метод мають Китай, США, Японія, Німеччина, Індія. В Африці та Азії в країнах, що розвиваються, мільйони людей отримали доступ до електричної енергії, використовуючи автономні сонячні фотоелектричні системи. Виробництво сонячної фотоелектричної енергії в 2018 році складало 315,5 ТВт·год, або 11,0% від сумарного виробництва відновлюваної енергії (у 1990 році – 88,7 ТВт·год). Найбільша українська сонячна електростанція встановлена в Нікопольському районі Дніпровської області і вона є другою за потужністю СЕС в Європі. Журнал «Шпігель» (стаття: автор: Jens Lubbadeh) опублікував зображення пустелі Сахара, на площі якої можливе розміщення сонячної електростанції, потужності якої буде достатньо для задоволення нинішньої потреби всього людства в електричній енергії. Для

розміщення такої єдиної «глобальної» сонячної електростанції достатньо площі розміром 250×300 км (рис.4).

При використанні методу термодинамічного перетворення (метод CSP) електричну енергію отримують з сонячної енергії в теплових машинах (турбінах, парових двигунах) практично аналогічно як і на теплових електростанціях, що працюють на основі викопного палива. Вода в них закипає та випаровується під дією зконцентрованої дзеркалами сонячної енергії, а утворена пара обертає турбіни. Більш ніж 33 гВт нових потужностей термодинамічного перетворення було введено в експлуатацію в 2018 році. Найбільші встановлені потужності систем концентрованої сонячної енергії розміщуються в країнах з підвищеною сонячною радіацією (Іспанія, США, Південна Африка, Морокко, Індія).

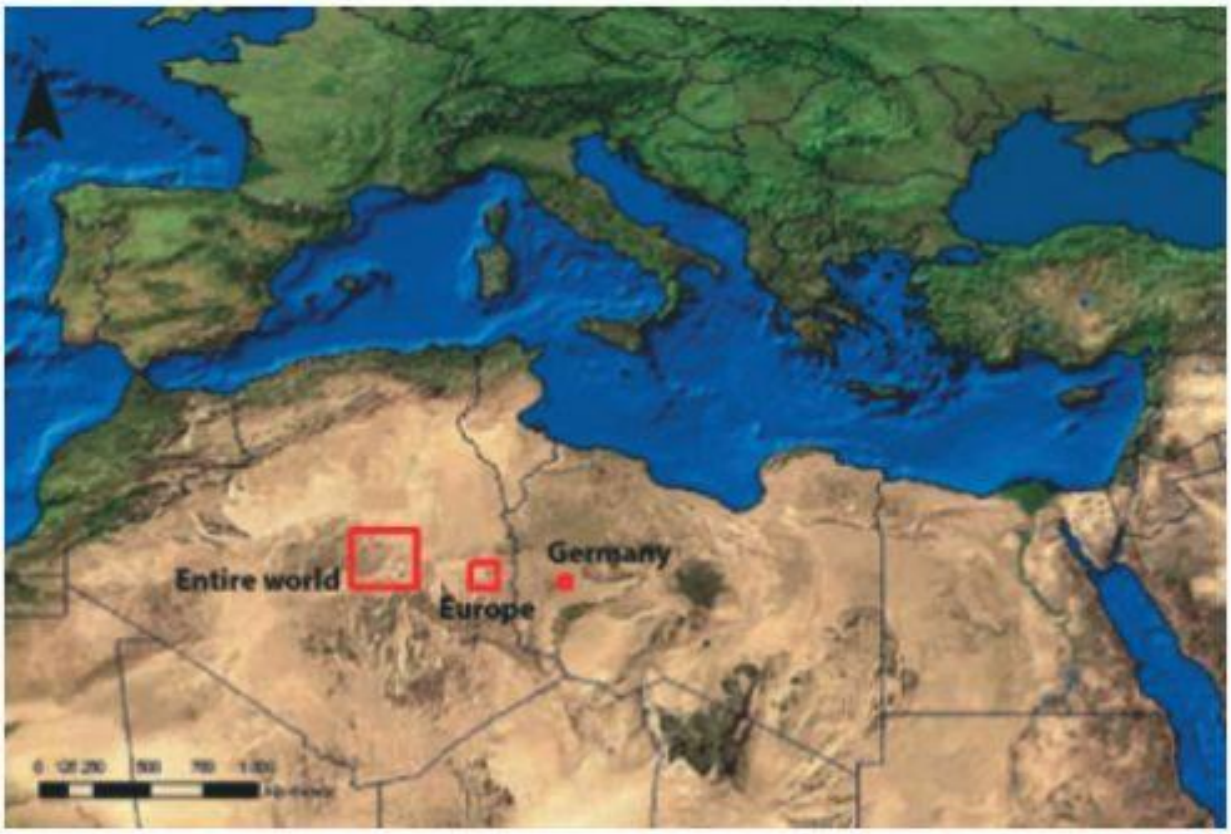


Рис. 4. Розміри площі «умовної» сонячної електростанції для задоволення потреб в електричній енергії (зліва направо): всього світу, 28 країн ЄС, Німеччини. Розмір найбільшого квадрата – 250×300 км

На сьогодні досить простим і поширеним рішенням як у індустріальних, так і в країнах, які розвиваються, є використання сонячної енергії в системах тепло- і гарячого водопостачання. У світі встановлено сонячних установок для гарячого водопостачання з

площею приймаючої поверхні понад 30 млн $м^2$. Дві третини таких установок припадає на Європейський Союз. Наприклад, у Австрії, згідно із статистичними даними, на кожного четвертого мешканця припадає 1 $м^2$ поверхні сонячних водонагрівачів. В Ізраїлі жоден новий будинок не приймається в експлуатацію, поки на даху не буде змонтовано систему гарячого водопостачання на основі сонячних колекторів.

Використання сонячної енергії створює певні економічні та екологічні проблеми:

- вилучення порівняно великих площах для розміщення обладнання (кожен 1 МВт потужності сонячної електростанції потребує відведення 2 гектарів землі);
- виробництво фотоелектричних перетворювачів і сонцевідбиваючих дзеркал пов'язано з використанням вартістних токсичних хімічних елементів та їх сполук;
- нерівномірність у виробленні електричної та теплової енергії протягом доби, а також у різні пори року;
- обмежений термін служби вартістного обладнання сонячної енергетики.

2.3.2. Вітрова енергетика

Вітрова енерге́тика - галузь поновлюваної енергетики, яка базується на використанні для вироблення електричної енергії кінетичної енергії вітру. Технічно досяжними та економічно доцільними для використання у масштабі планети є 18-68 ТВт вітрових ресурсів, в той же час світова частка освоєного на кінець 2018 року була значно меншою. В період з 1990 до 2018 року виробництво електричної енергії вітровими генераторами збільшилось з 3,8 до 745,2 ТВт·год. (щорічне зростання – приблизно 20,7%). Лідерами виробництва вітрової енергії в 2018 році були США (277,9 ТВт·год), Німеччина (111,6 ТВт·год), Великобританія (57,1 ТВт·год). Людство вже кілька тисячоліть використовує вітряки та вітрильні кораблі. Вже у тридцяті роки минулого століття мільйони вітрових електрогенераторів потужністю близько 1 кВт використовувалися для електропостачання у віддалених сільських місцевостях Європи, Америки, Азії. Вітрова енергетика має певні особливості:

- не завжди існує можливість розмістити вітрову енергетичну установку поряд зі споживачами електричної енергії (відсутність вільної

земельної ділянки, неприйнятність розміщення установки через значне шумоутворення);
- потужність вітрової енергетичної установки в значній мірі залежить від погодних умов, що спричиняє не стабільне у часі вироблення електричної енергії. Порівняно з іншими видами електричних станцій, вітрові генератори мають найменший рівень прогнозованості вироблення електричної енергії. Вироблення енергії вітровими установками зазвичай ефективно проводиться 25% до 35% часу експлуатації. Для забезпечення стабільного електропостачання при слабкому вітрі паралельно з вітроустановкою використовують дизельні генератори. За відсутності вітру споживачі забезпечуються енергією, що виробляється виключно дизельною електростанцією;
- вітрові електростанції є уразливими в умовах ураганів та обледеніння.

Від енергетики на базі викопного палива при сучасному розвитку енергетичних технологій повністю відмовитися не можливо. Вважається, що вітрова і сонячна енергія будуть використовуватися як доповнення до системи викопного палива або атомної енергетики, а не заміняти її. Сонячні та вітрові енергетичні установки, на відміну від електростанцій, що працюють на викопному паливі, не мають можливості регулювання подачі в енергосистему відповідно до потреби. З цієї причини, енергосистема з використанням поновлюваних джерел енергії, повинна мати резервні акумулятори, які б мали ємність достатню на три дні автономної роботи. Підраховано, що для накопичення 1 тВт·год електроенергії потрібні дороговартістні акумулятори вагою в 1 млн т. Загальна потужність таких акумуляторів у світі на початку 2019 року складала лише 3 ГВт і є мізерною для того, щоб забезпечити резервне живлення для електропостачання.

В недалекому майбутньому прогнозується виникнення екологічних проблем, які повязані з закінченням терміну служби вітряних турбін, сонячних батарей і акумуляторів електричної енергії. Витрати енергії на утилізацію матеріалів цього обладнання є значно вищими, ніж енергія, яку було затрачено при їх виробництві.

2.3.3. Біоконверсія сонячної енергії

Під біопаливом розуміють будь-який вид палива, що отримується з рослинної сировини, відходів тваринництва, органічних відходів промисловості та життєдіяльності людини. Щорічно на Землі в

результаті фотосинтезу утворюється близько 120 млрд. т сухої органічної речовини (біомаси), що є енергетичним еквівалентом понад 40 млрд. т нафти. Загальні річні ресурси біомаси в Європі (млн т сухої маси) оцінюються наступним чином: деревного палива - 75; деревних відходів - 70; сільськогосподарських відходів - 250; тверді побутові відходи - 75. Україна має значний потенціал вирощування рослинної біомаси, яка може забезпечити близько 6% загальної потреби держави в енергії. Біомаса за кількістю акумульованої енергії посідає, поряд із природним газом, третє місце в енергетичному балансі.

Умовно біомасу як сировину для виробництва енергоносіїв поділяють на 3 види:

1.Харчові масло- і цукромісткі наземні рослини.

2.Нехарчові целюлозовміщуючі рослини.

3.Нехарчові водні рослини (водорості).

Для виробництва теплової або електричної енергії біомасу можливо безпосередньо спалювати. Біомаса, передусім у вигляді рослинного палива, залишається основним джерелом енергії для 2 млрд людей. Існує фундаментальна різниця між вуглецем у біомасі та вуглецем у складі викопних палив. Вуглець у викопних видах палива, який накопичувався протягом декількох мільйонів років, переміщується з підземних шарів і, спалений у теплоенергетичних установках, викидається у вигляді вуглекислого газу в атмосферу. Шлях вуглецю, що спалюється в біомасі, виглядає інакше. Використання біомаси не наносить шкоди довкіллю, оскільки кількість вуглекислого газу, що виділяється при її спалюванні є еквівалентною його кількості, яку було звязано у целюлозу в процесі фотосинтезу. Таким чином, утворений з біомаси вуглекислий газ носить нейтральний характер і не впливає на кліматичні зміни. Рослинна сировина є екологічно чистим видом палива - при спалюванні біомаси виділяється в 10-20 разів менше сірки та в 3-5 разів менше золи, ніж при спалюванні вугілля. Насамперед це стосується відходів деревини, соломи, органічних відходів, які утворені в процесі фотосинтезу впродовж короткого терміну.

У якості альтернативного виду енергії з біомаси на сьогодні виробляють наступні види біопалива:

- тверде біопаливо (паливні пелети і брикети);
- рідке біопаливо (біоетанол, біодизель);
- -газоподібне біопаливо (біогаз).

Для виробництва таких видів палива використовують як спеціально вирощувані культури, так і відходи сільськогосподарського виробництва.

Органічні відходи сільського господарства та промислового виробництва на сьогодні широко використовуються для виробництва біогазу. Цей напрямок є одним з найбільш перспективних і багатообіцяючих способів вирішення проблеми енергозабезпечення в сільських регіонах. Біогаз утворюється в результаті переробки органічних сільськогосподарських і побутових відходів анаеробним метановим бродінням з одержанням газової суміші, що містить близько 70% метану, і знезаражених органічних добрив у вигляді перегною. Найширше розповсюдження вироблення біогазового палива знаходить у Китаї, США, Бразилії, Німеччині, Індії. В Україні лише на великих свинофермах і птахофабриках щорічно утворюється понад 3 млн т органічних відходів у перерахунку на суху речовину, переробка яких дозволяє одержати близько 1 млн т умовного палива у вигляді біогазу, що еквівалентно 8 млрд кВт·год електроенергії.

У зв'язку з необхідністю різкого зменшення шкідливого впливу автотранспорту на довкілля у якості рідкого транспортного палива знаходять розповсюдження біодизель та біоетанол, які виробляються в процесі біохімічної переробки продукції рослинництва. У США реалізується програма заміни бензинового пального біоетанолом, який одержують шляхом ферментаційної переробки надлишків кукурудзи й інших зернових культур. У Бразилії біоетанол одержують переважно у результаті переробки цукрової тростини.

2.3.4. Гідроенергетика

Виробництво електроенергії на гідравлічних електростанціях здійснюється за рахунок кінетичної енергії води, що падає під напором з великої висоти на лопаті турбіни електричного генератора. Необхідний тиск водного потоку створюється у водосховищах,шляхом побудови гребель.

З 1990 року до 2020 року річна світова генерація електричної енергії на гідравлічних електростанціях (ГЕС) збільшилась з 1185 до 4300 ТВт·год. Для виробництва такої кількості електроенергії на теплових електростанціях було б необхідно щорічно спалювати більш 1 млрд. тонн умовного палива. Станом на 2018 рік найбільшими виробниками електроенергії на гідравлічних електростанціях були Канада, США та

Норвегія. Третина країн світу забезпечує значну частину своїх потреб в електроенергії за рахунок ГЕС, а в ряді країн (Парагвай, Норвегія) ГЕС забезпечують понад 90% потреб в електричній енергії. Економічно розвинені країни з особливо суворими вимогами природоохоронного законодавства (Італія, Швейцарія, Франція), освоїли наявний гідроенергетичний потенціал на 95–98%, Японія – на 90%, Німеччина – на 86%, США – на 82%.

Гідравлічні електростанції, заміняючи теплові електростанції, запобігають викидам у навколишнє середовище величезної кількості парникових газів і забруднюючих речовин, зберігають життя й здоров`я людей. До основних переваг ГЕС відноситься:

- низька собівартість виробленої електроенергії. В той же час на інвестиційній стадії затрати на будівництво ГЕС є у кілька разів вищими, порівняно з тепловими електростанціями і складають від 1000 до 3000 доларів США на 1 кВт встановленої потужності;
- висока маневреність збільшення виробітку електричної енергії, що є важливим в періоди пікових навантажень, можливість акумуляції енергії у водосховищах. В об`єднаних енергосистемах гідравлічні електростанції, підключаючись в період пікових навантажень, забезпечують надійне електропостачання населення, комунального господарства, промисловості й сільського господарства, запобігають відключенню споживачів в аварійних ситуаціях.

У різних кліматичних умовах ріки характеризуються вкрай нерівномірним розподілом стоку протягом року. Наприклад, на ріках України, європейської частини Росії й Західного Сибіру, Скандинавії, північної частин и США й інших, що живляться від танення снігу, у період весняної повені протікає до 60–70% обсягу річного стоку. Створення водоймищ за допомогою гребель в умовах нерівномірного стоку річок дозволяє більш ефективно використовувати водні ресурси. Крім того, водні ресурси у світі розподілені вкрай нерівномірно, у багатьох випадках виникає необхідність їх перерозподілу шляхом подачі води з водоймищ по каналам в маловодні райони для зрошення і водопостачання.

Однак, спорудження ГЕС на рівнинних територіях приводить до багатьох екологічних проблем повязаних зі зміною властивостей екосистем річок. З проточної системи ріка перетворюється на ланцюг водосховищ, в яких суттєво змінюються фізичні, хімічні та біологічні властивості води. У штучних водосховищах через застоювання води складаються умови для інтенсивного розмноження одноклітинних

синьо-зелених водоростей. Вони швидко відмирають, спливаючи на поверхню водосховищ у вигляді величезних ділянок гниючих біологічних решток, та відбирають із води кисень, що призводить до масової загибелі риби. У воді штучних водоймищ, забрудненій стічними промисловими водами, синтетичними миючими засобами, а також водою, що стікає з полів разом із хімічними добривами та отрутохімікатами, виникають умови для набуття синьо-зеленими водоростями властивостей, які погіршують якість води. У річковому фітопланктоні, зоопланктоні та в рибі, яка харчується ним, вміст шкідливих сполуки виявляється в десятки разів вищим, ніж у воді. Особливої шкоди водосховищам завдає утворення поверхневої плівки з нафтопродуктів, що перешкоджає газообмінові між водою і атмосферою і знижує вміст кисню у воді. Осідаючи на дно, згустки мазуту вбивають донні мікроорганізми, що беруть участь у самоочищенні води.

Рис. 5. Кременчуцька гідравлічна електростанція

При будівництві водосховищ порушуються природні місця нересту риби, затоплюються родючі землі, підвишується рівень грунтових вод. Створення водосховищ приводять до змін клімату на прилеглих локальних територіях.

На рівнинній річці Дніпро гідроелектростанції утворюють п’ять штучних водосховищ, які затопили 700 тис. га родючих земель. Таке

розміщення гідроелектростанцій призвело до відселення тисяч людей із зони затоплення, знищення історичних пам'яток, лісів і високородючих земель, руйнування природних ландшафтів. Економічні збитки від вилучення земель із сільськогосподарського виробництва в десятки разів перевищують прибутки від виробництва енергії рівнинними гідравлічними електростанціями. Таким чином, гідравлічні електростанції не можуть розглядатися в Україні як ефективна альтернатива тепловим електростанціям. Враховуючи малі запаси води у водосховищах гідравлічні електростанції на річці Дніпро підключаються до об’єднаної енергосистеми в години пік для компенсування зростаючих навантажень. Значно менші екосистемні зміни виникають при будівництві ГЕС на бурхливих гірських річках, коли перепад висот між водосховищем і стоком може досягати кількох сотень метрів.

В останні роки починає зосереджуватися увага до створення й використання малих гідравлічних електростанцій із потужністю до 10 МВт, які наносять меншу шкоду навколишньому середовищу. Сучасні турбіни малих гідравлічних електростанцій, які виготовлені відповідно до стандартів захисту навколишнього середовища, додатково насичують воду киснем, що сприяє збереженню іхтіофауни, а також запобігають утворенню паводків. Мала гідроенергетика одержує у багатьох країнах все більше поширення завдяки новій технічній основі, яка забезпечує повну автоматизацію їхньої роботи в умовах дистанційного керування.

2.3.5. Хвильова енергетика

На морські та океанічні побережжя майже постійно набігають хвилі, середня потужність яких оцінюється в 15 кВт на погонний метр берега. Сила, з якою хвилі діють на стінки споруд в береговій зоні, досягає декількох тонн на квадратний метр. Цей силовий вплив хвиль води може бути використаний для генерування електричної енергії. Енергія, яка може потенційно вироблятися в цій зоні протягом року, складає понад 130 МВт·год на 1 метр берега.

Хвильова електростанція являє собою установку, яка розташована в водному середовищі з метою генерації електрчної енергії шляхом відбору кінетичної енергії хвиль. Створення хвильових електростанцій доцільно здійснювати в акваторії океанічних побережь з постійною наявністю потужних хвиль. Вважається, що ефективно хвильові

електростанції можуть працювати при використанні постійної потужності хвиль близько 80 кВт/м. Одночасно хвильові електростанції можуть захищати берегові зони від руйнування. На теперішній час у світі налічується близько 400 маяків і навігаційних буїв, які одержують живлення від малопотужних хвильових енергетичних установок. Досвід експлуатації існуючих хвильових установок показав, що вироблювана ними електроенергія є в 5-10 разів дорожчою, ніж отримуєма від атомних або теплових електростанцій.

Оскільки питома енергія хвиль, набігаючих на узбережжя Азовського моря (3 кВт/м) та Чорного моря (6 – 8 кВт/м) є незначною, використання хвильових електростанцій на побережжі України розглядається як малоефективне.

2.3.6. Припливні електростанції

Припливи і відливи являють собою періодичні підвищення і пониження рівня води в океанах і морях, що виникають при гравітаційній взаємодії Землі з Місяцем і Сонцем. Через близькість Місяця до Землі величина припливу під дією цього супутника нашої планети у 2,2 раза є більшою за сонячний вплив. Двічі протягом доби біля океанічних берегів або відкритого моря рівень води піднімається (приплив), а потім знижується і вода відступає, оголюючи дно (відплив). Амплітуди і форми припливно-відпливних хвиль залежать від глибини, конфігурації берегової лінії тощо. Так, максимальна величина припливу, що складає 19,5 м, спостерігалась на узбережжі Атлантичного океану в затоці Фанді (Канада), 16,3 м – у Великобританії в поймі р. Северн, 14,7 м – на північному узбережжі Франції. У вузьких протоках припливи часто проявляються у вигляді потужних течій. Припливи є більш прогнозованим у часі явищем, ніж енергія вітру та інтенсивність надходження сонячної енергії.

Припливи й відпливи мають велику енергію, яку людство починає використовувати в корисних цілях. Особливістю припливних електростанцій є використання ними природної поновлюваної енергії.

Для концентрації водного напору на припливній електростанції гребля відокремлює частину акваторії затоки, яка виконує роль водосховища. У тілі греблі припливної електростанції розміщуються гідрогенератори та регулюючі водопропускні пристрої. Інтенсивність вироблення припливної енергії є непостійною у часі. Встановлена в

греблі гідравлічна турбіна під дією різниці рівнів води може працювати близько чотирьох годин. Вода припливу, проходячи через турбіну, забезпечує наповнення водосховища, і в певний момент рівень в ньому зрівняється з морем - турбіна перестане обертатися. Під час відливу після паузи тривалістю 1-2 години утворюється достатній натиск води з середини водосховища, і турбіна знову почне обертатися та виробляти електричну енергію.

Рис. 6. Затока Фанді (Канада) під час припливу і відпливу

Серед джерел відновлюваної енергії, енергія припливів і відливів традиційно використовується мало з причини відносно високої вартості будівництва такого типу електростанцій та обмеженої доступності місць з досить високими приливними діапазонами. Припливи і відпливи слабо відчуваються у внутрішніх морях. Так, припливи і відпливи в Азовському та Чорному морях є незначними. Тому на морському побережжі України умови для будівництва припливних електростанцій відсутні.

У 2018 році з допомогою припливних електростанцій виробляли електричну енергію Франція (680 ГВт·год.), Корея (485 ГВт·год.), Канада (20 ГВт·год.) та Великобританія (8,3 ГВт·год.). Найбільш доцільним є використання приливних електростанцій в піковому режимі для покриття зростаючих навантажень в енергетичній системі.

Рис. 7. Припливна електростанція «Ля Ранс» (Франція) потужністю 240 МВт.

2.3.7. Геотермальна енергетика

Основним джерелом геотермальної енергії є постійний потік теплової енергії з надр Землі до її поверхні. Найбільш доступним є розміщення обєктів геотермальної енергетики в зонах підвищеної вулканічної діяльності та по краях тектонічних плит материків. Ця енергія накопичується в гарячій воді або водяній парі внутрішніх шарів Землі. Геотермальні електростанції створюють переважно над природними підземними резервуарами з сухою парою. Перегріта пара зі свердловини глибиною до 5 км надходить до парової турбіни, яка обертає ротор генератора електричної енергії. Геотермальна енергія найбільш успішно використовується в Ісландії та США. В США у долині Великих Гейзерів (штат Каліфорнія) діє 15 енергетичних установок, потужністю понад 900 МВт.

Геотермальна гаряча вода може використовуватися для опалення теплиць, лікарень і шкіл, житлових і виробничих приміщень. Гарячу воду з свердловин глибиною 2000 м використовують в Угорщині, Болгарії, Словаччині, Румунії, Польщі, переважно біля місця видобування в теплицях, плавальних басейнах та для наповнення лікувальних ванн. У Франції гарячу воду з температурою 45 - 80 °С зі свердловин глибиною до 1800 м використовується в районах Паризького й Аквітанського осадових басейнів для обігріву 200 тис. будинків.

В Україні зони з геотермальною енергією є обмеженими і використовується для наповнення лікувальних басейнів (Західна Україна), та для гарячого водопостачання у кількох селищах у Криму. В цілому вважається, що геотермальна енергетика є малоперспективним джерелом енергії для використання на території України.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ТА КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Вкажіть роль викопних джерел енергії в структурі споживання енергії.
2. Наведіть структуру світового виробництва електроенергії.
3. Опишіть перспективи розвитку атомної енергетики в Україні.
4. Назвіть основні види поновлювальних джерел енергії.
5. Назвіть основні заходи з енергозбереження.
6. Назвіть основні шляхи стимулювання розвитку поновлювальної енергетики.
7. Назвіть основні положення енергетичної стратегії України до 2030 року.
8. Дайте характеристику паливно-енергетичного комплексу України.
Зазначте місце біоенергетики у паливно-енергетичному комплексі України.
9. Покажіть шляхи використання сонячної енергії.
10. Наведіть можливості використання вітрової енергії на території України.
11. Техніко-економічні показники виробництва елелектричної енергії на гідравлічних електростанціях України.
12. Показники критерію EROEI для різних способів виробництва електричної енергії.

3.СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА

Сонячна енергія утворюється в результаті протікання термоядерних реакцій у надрах Сонця. Для сучасної цивілізації Сонце є невечерпним джерелом енергії. За розрахунками вчених Сонце буде стабільно випромінювати енергію ще понад 10 млрд. років. Дія сонячної енергії на навколишнє середовище поділяється на:

-пряму, наприклад, нагрівання атмосферного повітря;

-непряму, яка забезпечує кругообіг води, циркуляцію повітря, нагромадження органічної речовини в біосфері.

Сонце є першопричиною утворення на Землі вітрових потоків та кругооберту води з утворенням річок за рахунок процесів випаровування. Надходження сонячної енергіє забезпечує протікання у живій природі процесів фотосинтезу, в результаті яких з вуглекислого газу і води утворюються органічні речовини. За рахунок фотосинтезу сонячна енергія вловлювалася і концентровано акумулювалася у вигляді потенційної енергії органічних речовин у біосфері, з яких утворилися запаси органічного палива (камяного вугілля, природного газу, нафти, сланців).

За рахунок інтенсивного добування розвіданих запасів органічного палива відбувається швидке вичерпування традиційних джерел енергії. Підвищення цін на нафту і газ, забруднення атмосфери продуктами згорання, прискорення процесів глобального потепління все більше привертає увагу людства до розширення безпосереднього використання сонячної енергії. Розвиток сонячної енергетики вже сьогодні дозволяє суттєво зменшити залежність людства від необхідності безперебійного використання викопного палива. Використання людством енергії, яка надходить від Сонця, не викликає порушення рівноваги в природному середовищі, не приводить до негативних змін в енергетичному балансі і стані біосфери Землі.

Потік сонячного випромінювання, що припадає на площу 1 м², розташовану зовні атмосфери Землі перпендикулярно потоку носить назву постійна сонячна випромінювання і складає 1367 Вт/м². При проходженні через атмосферу інтенсивність сонячного випромінювання послаблюється через поглинання інфрачервоного випромінювання парами води, поглинання ультрафіолетового випромінювання озоном і розсіювання випромінювання частинками атмосферного пилу і аерозолями. Максимальний потік сонячного випромінювання на екваторі на рівні моря складає до 1020 Вт/м².

Сонячний спектр поділяється на три основні групи:

– ультрафіолетове випромінювання з довжиною хвиль до 0,4 мкм, 9 % інтенсивності;

– видиме випромінювання з довжиною хвиль в межах 0,4 - 0,7 мкм), 45 % інтенсивності;

–інфрачервоне (теплове) випромінювання з довжиною хвиль від 0,7 до 1,0 мкм, 46 % інтенсивності.

На сьогодні людство використовує не більше 0,0005% енергії, яка надходить до земної поверхні від Сонця (рис.4). Підвищення у майбутньому її використання до 0,5% стане достатнім для повного покриття енергетичних потреб транспорту, промисловості і комунальної сфери. Головною перешкодою для більш широкого забезпечення людства трансформованою енергією Сонця є низька інтенсивність сонячного випромінювання, яке доходить до поверхні нашої планети.

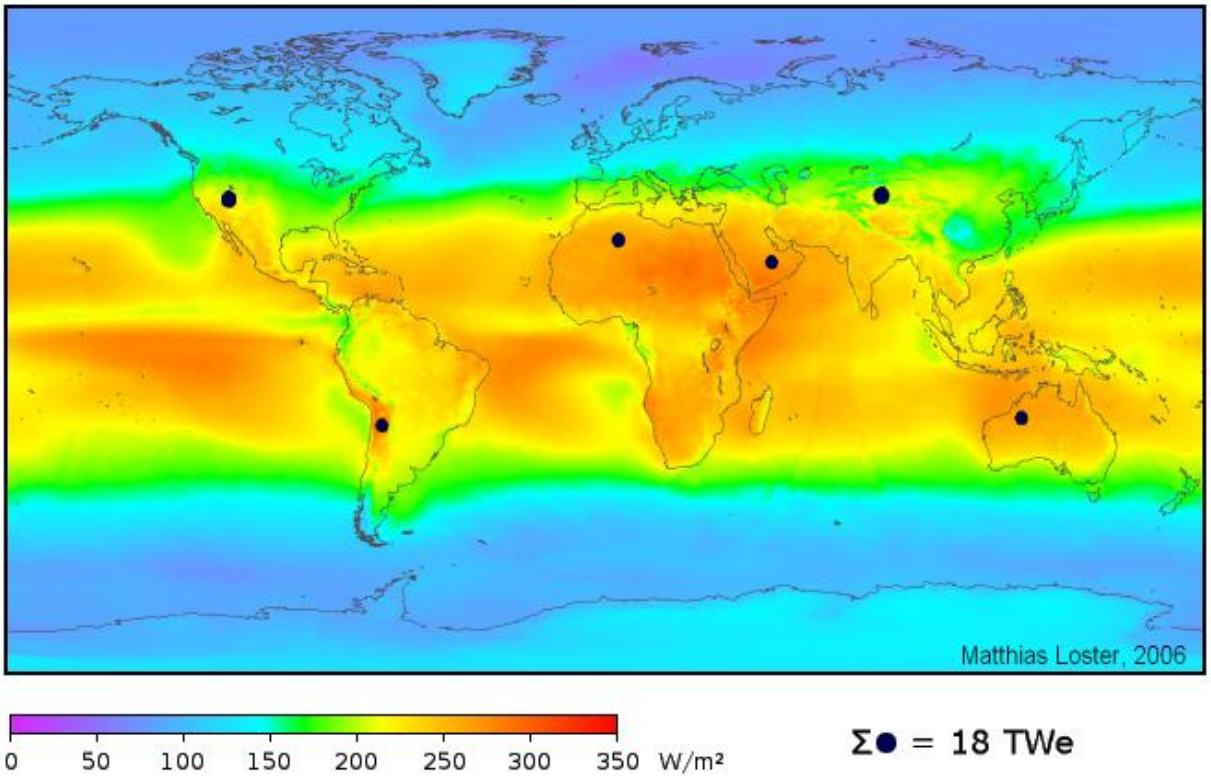


Рис. 8. Мапа середньорічного надходження сонячної енергії до поверхні Землі

Через зміни дня і ночі, а також зміни кута розміщення Сонця над горизонтом середньодобове значення потоку сонячного випромінювання знижується втричі. В помірних широтах взимку ця величина знижується ще у два рази. Відповідно, для задоволення

сучасних потреб людства, в помірних широтах необхідно організувати збір сонячної енергії, яка надходить на територію до 130000 км^2. Враховуючи добові і сезонні коливання надходження сонячної енергії, ця площа має бути збільшеною ще у 2-3 рази. Крім того, треба мати можливість накопичення отриманої енергії для підтримання стабільного енергопостачання у нічний час, а також в похмурі і зимові дні.

Рис. 9. Розподіл потенціалу сонячної енергії на території України

Сонячною енергетикою називається галузь енергетики, яка базується на використанні методів і засобів перетворення енергії Сонця в теплову або електричну енергію. За характером використовуваного обладнання і принципами отримання енергії сонячну енергетику поділяють на два основних види: сонячну фотоенергетику та сонячну теплоенергетику.

Сонячна фотоелектроенергетика – передбачає перетворення спектрального випромінювання сонця безпосередньо в електричну енергію в напівпровідникових фотоелектричних перетворювачах, які є складовими елементами сонячних батарей.

Сонячна теплоенергетика передбачає використання теплового енергії, яка безпосередньо надходить від Сонця для нагрівання теплоносія та подальшої подачі його на об‘єкти обігріву:

- сонячні колектори, в яких вода нагрівається для гарячого теплопостачання житла за рахунок поглинання сонячної енергії;
- сонячні концентратори, в яких теплоносій нагрівається з метою виробництва електроенергії за допомогою парових теплових турбін;
- опріснювачі води;
- сушарки та випаровувачі.

На використанні процесів фотолізу та фотосинтезу знаходять розвиток фотохімічні і фотобіологічні технології.

У 1954 році у лабораторії компанії "Bell Telephone" (США) було синтезовано перший кремнієвий фотоелектричний елемент із коефіцієнтом корисної дії 4%. Надалі було досягнуто підвищення їх ефективності до 11%. У 1958 році батареї з фотоелектричних елементів потужністю меншою 1 Вт були застосовані для забезпечення електричною енергією радіопередавача американського космічного супутника "Авангард". Розвиток космічних досліджень постійно стимулював вдосконалення фотоелектричних елементів.

На сьогодні спостерігається інтенсивне розширення використання фотоелектричних елементів як джерел електричної енергії: вони прості за конструкцією, не створюють шкідливого впливу на навколишнє середовище, потребують мінімального обслуговування, їх можна розміщувати на територіях не придатних для сільськогосподарського виробництва. Основні зусилля дослідників зосереджено на підвищення ефективності фотоелектричного перетворення, зниження вартості матеріалів і виробництва, підвищенні надійності фотоелектричних елементів шляхом впровадження тонкоплівкових технологій.

Сонячна електроенергетика відноситься до матеріаломістких, наукомістких та трудомістких видів виробництва енергії, що веде до розширення зайнятості населення. Розширення сонячної енергетики для виробництва енергетичних установок викликає значне збільшення потреби в електронних і конструкційних матеріалах, а також в трудових ресурсах для видобутку сировини, її збагачення, отримання матеріалів, виготовлення сонячних батарей, колекторів, інших пристроїв. Вдосконалення технологічних процесів виробництва супроводжується щорічним стабільним зниженням вартості обладнання сонячної енергетики і, як наслідок, відбувається зниження собівартості виробленої сонячної електроенергії.

Основний обсяг енергетичних витрат, які стосуються життєвого циклу сонячної електростанції, відноситься лише до стадії їх високотехнологічного промислового виробництва. Впродовж останніх

років сонячна енергетика є найбільшим сектором світової електроенергетики за обсягами щорічно залучених інвестицій і введених потужностей. За останні 10 років інвестиції в сонячну енергетику склали близько 300 млрд.$, що забезпечує щорічний світовий приріст потужностей сонячних електростанцій на 40-50%. У 2019 році у світі приріст потужностей фотоелектричної сонячної енергетики був в 2,5 раів вищим, ніж у вугільних і газових теплових електростанцій разом узятих. На кінець 2019 року глобальна встановлена потужність сонячної енергетики перевищила 630 ГВт, для порівняння у 2016 році цей показник складав лише 300 ГВт.

Частка енергії сонця у виробленні світової електроенергії в 2021 році становили близько 3,3 %. Лідерами розвитку сонячної енергетики є Китай, Японія, США, а в Європі - Німеччина, Італія, Великобританія. Активно розвивається сонячна енергетика в Індії, Мексиці, Чилі, Австралії, Бразилії, Пакистані. Сумарна встановлена потужність сонячних електростанцій Китаю перевищує 100 ГВт. Навіть в умовах жорсткого ковідного локдауну у 2020 році кількість установок сонячної енергетики у Китаї збільшилася вдвічі. В Іспанії в 2020 році від сонячних електростанцій отримано електроенергії на 60% більше, ніж в 2019 році. Згідно прогнозів, в найближчі роки сектор сонячної енергетики в Іспанії буде зростати вдвічі швидше, ніж в Німеччині.

На сьогодні в Німеччині близько 90% всіх сонячних панелей (понад 1,5 млн) відносяться до класу приватних малопотужніх, які встановлені на елементах житлових будинків. Влада стимулює власників шляхом пільгового кредитування до 70% інвестицій в устаткування і монтаж сонячних панелей.

Показовим прикладом успішного застосування сонячних технологій є острів Тау (Американське Самоа), енергетична система якого раніше повністю залежала від постачання дизельного палива. Після розміщення сучасної сонячної електростанції цей острів став повністю енергонезалежним.

Для забезпечення енергонезалежності України і поліпшення екологічної ситуації ефективним шляхом також вбачається розвиток сонячної енергетики. Результати оцінки сонячного потенціалу України свідчать, що навіть північні області нашої держави мають значний потенціал для виробництва сонячної електроенергії, який не поступається більшості європейських регіонів. Розвитку сонячної енергетики України сприяло прийняття Закону України «Про альтернативні джерела енергії» №555-IV від 20.02.2003 року та ряд

додаткових положень, які сприяли залученню іноземних інвестицій та полегшенню імпорту матеріалів і устаткування для будівництва сонячних електростанцій. Так, до 2030 року в Україні встановлено «зелений тариф» на електроенергію, вироблену з використанням поновлюваних джерел енергії (малі гідроелектростанції з встановленою потужністю до 10 МВт, вітрові електростанції, сонячні електростанції, електростанції, що використовують біомасу як паливо) підприємствами та фізичними особами, яку держава закуповує у виробників за значно вищою ціною, ніж ціна електроенергії від традиційних електростанцій. Зелений тариф (в англійській мові зазвичай використовується термін Feed-in tariff) - економічний механізм, спрямований на заохочення генерації електроенергії поновлюваною енергетикою. Застосування зеленого тарифу зазвичай включає використання наступних інструментів:

- гарантований доступ для передачі надлишкової електроенергії до енергомережі;
- довгострокові контракти на придбання електроенергії;
- встановлення відносно високих закупівельних цін, які враховують затрати на створення поновлюваних джерел енергії.

Зелений тариф для електроенергії з використанням поновлюваних джерел енергії являє собою коефіцієнт на який множиться звичайний тариф для споживачів. У випадку використання енергії сонячного випромінювання коефіцієнт має три можливих значення:

- для наземних об’єктів електроенергетики - 4,8;
- для об’єктів електроенергетики, які встановлені на дахах будинків і споруд із величиною встановленої потужності понад 100 кВт - 4,6;
- для об’єктів електроенергетики, які встановлені на дахах будинків і споруд із величиною встановленої потужності меншою 100 кВт, а також встановлених на фасадах при будь-якій потужності - 4,4.

Фінансові умови зеленого тарифу дозволяють приватним домогосподарствам вигідно продавати вироблену сонячними електростанціями електричну енергію в електромережу загального призначення. Зелений тариф може застосовуватись виробником протягом 10 років з моменту встановлення енергетичної установки. Також існують податкові пільги на прибуток, який отримують при виробництві та продажу матеріалів і обладнання для виробництві енергії з поновлюваних джерел. Наявність законодавчих таких пільг сприяє створенню в Україні сотень невеликих компаній, які закуповують імпортні комплектуючі, проектують енергетичні

комплекси, консультують і встановлюють обладнання для сонячних електростанцій.

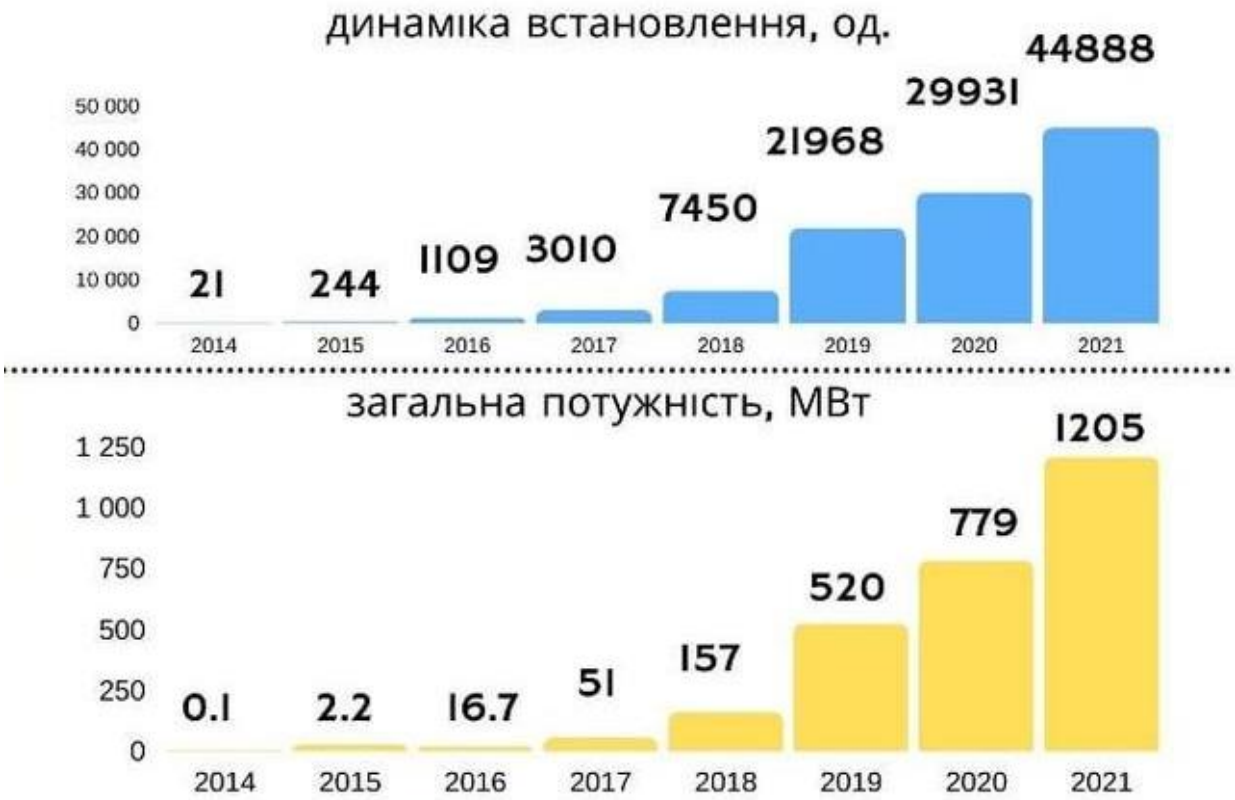


Рис.10. Статистика встановлення сонячних електростанцій у приватних домогосподарствах України.

У 2021 році близько 15 тис. українських сімей встановили сонячні електрогенеруючі установки. Загалом на кінець 2021 року в Україні налічувалося близько 45 тисяч домогосподарств, які використовують сонячні панелі та економлять на рахунках за електроенергію. Загальна потужність таких сонячних електростанцій перевищила 1,2 ГВт.

З’явилося багато великих сонячних електростанцій у степових районах України. До трійки регіонів-лідерів за кількістю встановлених сім'ями сонячних електростанцій увійшли такі області:

- Дніпропетровська – 6466 сонячних електростанцій загальною потужністю 183 МВт;
- Закарпатська – 3744 сонячних електростанцій загальною потужністю 109 МВт;
- Тернопільська – 3447 сонячних електростанцій загальною потужністю 98 МВт.

Використання сонячних панелей дозволяє домогосподарствам ставати більш енергоефективними та повністю забезпечувати свої

потреби в електроенергії. Термін окупності промислових сонячних електростанцій за рахунок падіння цін на обладнання знизився приблизно до 6 років, тоді як для малопотужніх сонячних батарей, які встановлюються в приватних домогосподарствах, цей показник складає до 10 років. Головним стимулом для встановлення малопотужних сонячних станцій є прогнози, що тарифи на електричну енергію в майбутньому будуть неухильно зростати.

Незважаючи на прийняті заходи стимулювання, темпи будівництва сонячних електростанцій в Україні на сьогодні все ж відстають від загальноєвропейських.

3.1.Генерація електричної енергії фотоелектричними перетворювачами

Фотоелектричний перетворювач являє собою електронний напівпровідниковий пристрій, в якому у результаті поглинання енергії падаючого на нього оптичного випромінювання виникає електрорушійна сила. На сьогоднішній день практичне використання знайшли три види фотоелектричних перетворювачів:

- монокристалічні кристалічні кремнієві перетворювачі (найбільш поширеними є конструкції на базі полікристалічних кремнієвих сонячних модулів);
- полікристалічні кремнієві перетворювачі;
- тонкоплівкові перетворювачі на основі аморфного кремнію чи сполук типу кадмій – телур (Cd-Te).

Дія фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії в електричну енергію базується на явищі фотоефекту, який виникає в неоднорідних напівпровідникових структурах під дією на їх поверхню сонячного випромінювання. Для виготовлення наземних фотоелектричних перетворювачів найбільш придатними визнані напівпровідникові матеріали на основі легованого кремнію. Вони являють собою кремнієві напівпровідникові діоди, у яких під дією падаючого випромінювання відбувається просторовий перерозподіл зарядів і виникає електрорушійна сила.

Електричний струм у фотоелектричних перетворювачах виникає під впливом світла на межі розділу двох напівпровідників з різними електричними провідностями: p – типу (дірочна провідність) та n-типу (електронна провідність). Перехідна зона між ділянками з протилежними типами провідності розташовується усередині

напівпровідникового матеріалу і називається електронно-дірковим p-n-переходом. Потрапивши у внутрішній шар такого матеріалу, фотон світла вибиває електрон із зовнішньої орбіти атомів напівпровідника, утворює вільні негативні заряди (n) і «дірки» (p). При цьому утворюється достатня кількість вільних електронів для генерації електричного струму. Носії заряду, які хаотично рухаються всередині шару фотоелектричного перетворювача, перерозподіляються по різні сторони перехідної зони, в результаті рівновага p-n-переходу порушується і біля цього переходу виникає різниця потенціалів, що, при підключенні зовнішнього навантаження, забезпечує виникнення електричного струму. Через зовнішнійо електричний ланцюг електрони з n-шару, виконавши роботу на навантаженні, повертаються в p-шар і там об'єднуються з «дірками».

Комірка одиничного кремнієвого фотоелектронного перетворювача під дією світла генерує електричний струм напругою до 0,6 В. В ясну погоду кремнієвий елемент виробляє постійний електричний струм силою до 25 мА при напрузі 0,5 В на 1 см^2 площі поверхні, що забезпечує потужність 12–13 мВт/см^2. Коефіцієнт корисної дії фотоелектричного перетворювача являє собою відношення виробленої електричної енергії до енергії сонячного випромінювання, що надійшла до його поверхні. Коефіцієнт корисної дії панелей на основі монокристалічного кремнію складає 16 - 19%.

Конструкція фотоелектричного перетворювача потребує розміщення p-n переходу поблизу його робочої поверхні. Кремнієві пластини товщиною близько 200 мкм мають провідність p-типу і виконують роль основи фотоелектричного перетворювача. Виробництво злитків – заготовок для монокристалічних кремнієвих фотоелементів відбувається із застосуванням методу Чхоральского. Для отримання кремнієвого монокристала, в розплав кремнію занурюють початковий кристал, який поступово обертають і піднімають над поверхнею розчину. При цьому за початковим кристалом витягується й кристалізується розчин. Для надання кремнію властивостей p-типу в процесі вирощування злитків розплав легують добавками бору. Кінцевий діаметр такого злитка може досягати 20 см, а довжина до 2 метрів. Від отриманої монокристалічної заготовки обрізають кромки для отримання заготовок з перерізами квадратної форми. Підготовлену заготовку розрізають на квадратні пластинки товщиною приблизно 0,3 мм.

Рис.11. Монокристалічний кремнієвий злиток, отриманий за методом Чхоральского, перед розрізанням на пластини

Вартість отримання монокристалічних злитків з чистого кремнію є досить великою, оскільки на отримання 1 кг злитка витрачається близько 250 кВт-годин електроенергії. Дороговартістною і складною також є порізка кремнієвих злитків на тонкі пластини. Однак слід враховувати, що термін служби кремнієвих фотоелектронних перетворювачів становить понад 30 років. За цей час елемент, на виготовлення якого пішов 1 кг кремнію, виробляє стільки ж електроенергії, скільки її може бути отримано при використанні 100 т нафти на тепловій електростанції або 1 кг збагаченого урану на атомній електростанції.

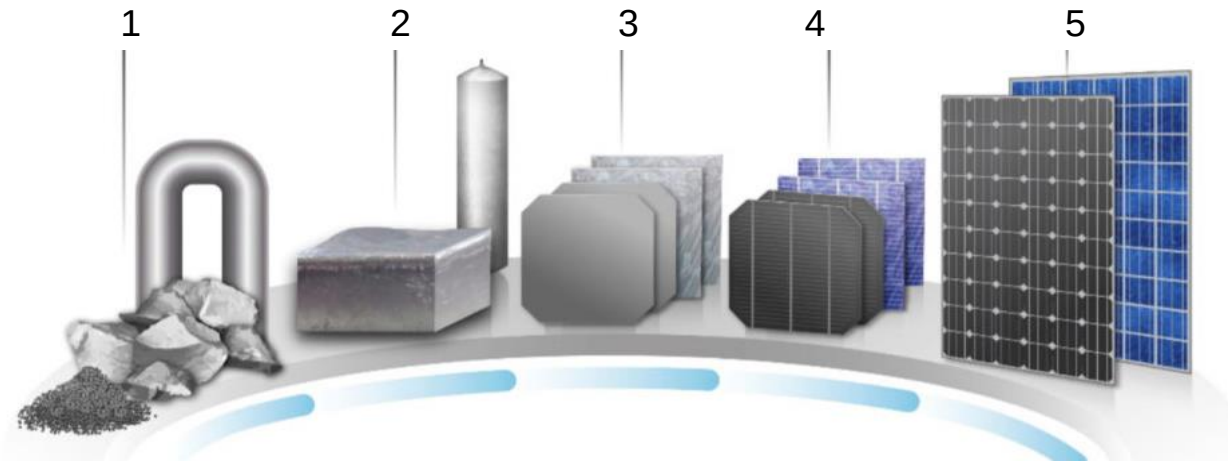


Рис.12.Стадії виготовлення модулів кремнієвих фотоелектричних перетворювачіа: 1-сировина з полікристалічного кремнію; 2 –злиток; 3 - порізані пластини; 4 – фотоелектричні комірки; 5 – модулі сонячних батарей.

При виробництві полікристалічних кремнієвих злитків операція витягування початкового кристалу з розплаву не проводиться. Такі злитки утворюються при повільному охолодженні і кристалізації кремнієвого розплаву з добавками бору. Процес отримання полікристалічних кремнієвих злитків є менш енергоємним, а отримані кремнієві пластини коштують дешевше. Отримана полікристалічна заготовка обробляється аналогічно монокристалічній заготовці. Наявність всередині полікристалічного злитка зерен кремнію розміром від кількох міліметрів до декількох сантиметрів, які розділені границями, веде до меншої ефективності фотоелектронних перетворювачів з такою основою. В средньому коефіцієнт корисної дії полікристалічної сонячної панелі знаходиться в межах 13-15%. Полікристалічні сонячні батареї мають яскраво синій колір та мають нижчу вартість за монокристалічні. Їхній максимальний термін служби складає до 25 років. Недоліком полікристалічних пластин є підвищена крихкість, що ускладнює їх обробку.

Створення n-шару проводять шляхом введення в поверхневі шари кремнієвих пластин фосфору. Насичення кремнію фосфором на глибину до 0,5 мкм здійснюється в термічних печах за рахунок дифузії при температурі близько 800^0С. Після легування фосфором поверхню кремнієвої пластини піддають хімічній обробці.

Завдяки дифузійному формуванню тонкого n-шару, p-n перехід розміщується біля лицьової поверхні фотоелементу. У результаті протікання дифузії фосфору на поверхні кремнієвої пластини формується шар n-типу за рахунок того, що у кремнію на зовнішньому електронному шарі розміщуються чотири електрона, а у фосфору - п'ять. При легуванні, чотири електрони закріплюються у структурі, а п'ятий утворює негативне напівпровідникове поле n-типу, що виступає катодом фотоелементу. В той же час, у бору на зовнішньому електронному шарі лише три електрона, і тому в структурі легованого кремнію залишається одне пусте місце, так звана «дірка». Такий шар є анодом фотоелектричного перетворювача.

і отримують готовий до використання монокристалічний фотоелемент.

Для збору і відведення електричного потенціалу на лицьовій поверхні фотоелектричного перетворювача над p-n переходом розміщується сітчаста контактна система. Її наносять методом трафаретного друку у вигляді тонких срібних струмознімальних електропровідних контактів у формі грат, які не перешкоджають проникненню до поверхні пластини падаючих сонячних променів.

Контактна система на тильній стороні кремнієвої пластини (анод) виконується у формі суцільного металевого шару.

Для зменшення втрат від відзеркалення сонячних променів на поверхню фотоеичного перетворювача наносять антівідбиваюче покриття у вигляді тонкого шару нітриду кремнію. Нітрид кремнію зазвичай наноситься у трубчастих термічних печах методом плазмо - хімічного напилювання з газової фази.

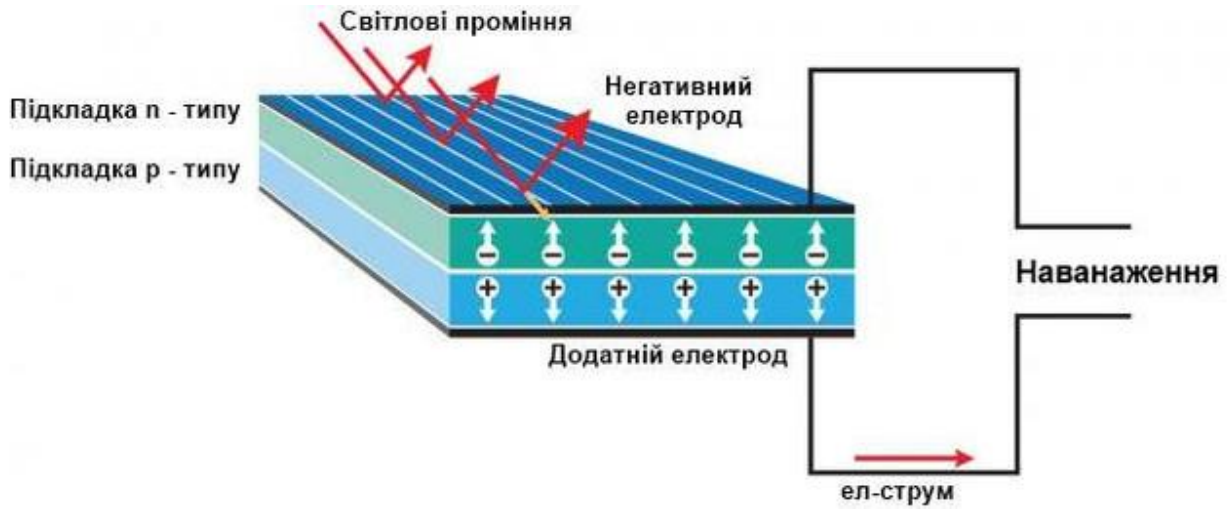


Рис. 13. Будова кремнієвого фотоелектричного перетворювача

Поверхню фотоелектричних перетворювачів додатково покривають прозорим захистним зовнішнім шаром для захисту від вологи і механічних пошкоджень від падіння граду. З цією метою переважно застосовують ударостійке скло з низьким вмістом заліза.

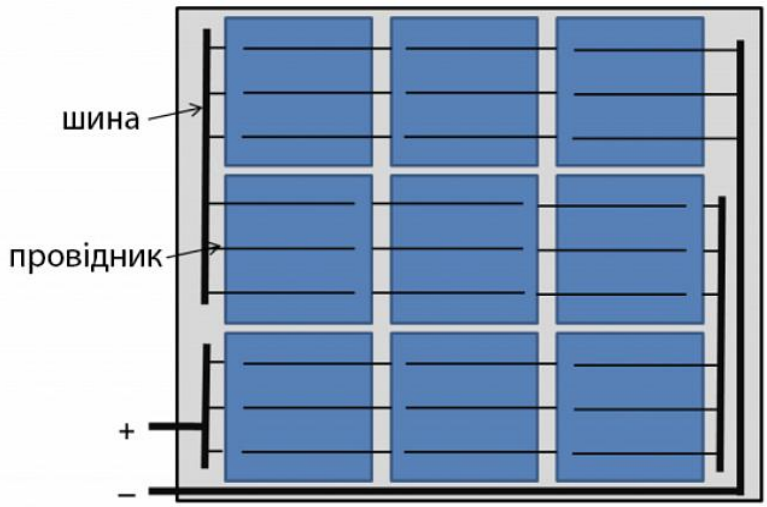


Рисунок 14. Розміщення струмознімних контактів на поверхні кремнієвого фотоелектричного перетворювача

Напруга холостого ходу, що генерується одним фотоелектричним перетворювачем, не залежить від розмірів кремнієвої пластини. В той же час сила електричного струму, який виробляє сонячна батарея, визначається площею перетворювача. Потужність фотоелектричного елемента розміром 100 х 100 мм в 100 разів перевершує потужність елемента розміром 10 х 10 мм і, отже, він при тій же освітленості буде генерувати електричний струм в 100 разів більшої сили.,. Параметри фотоелектричного елемента визначаються інтенсивностю сонячного освітлення, кутом падіння променів на його поверхню. Максимальна потужність генерованого електричного струму досягається при ясному небі, температурі повітря 15 - 25°С та орієнтації панелей безпосередньо на Сонце. Знизити потужність фотоелектронного перетворювача на 70% може навіть невелика хмарність, а в разі сильної хмарності його потужність знижується на 90%.

Рис.15. Зовнішній вигляд монокристалічної та полікристалічної сонячних батарей

Для отримання необхідної потужності використання одиничної фотоелектрчної комірки є недостатнім. При послідовному з’єднанні комірок збільшується вихідна напруга, при паралельному – вихідний струм. Послідовно з’єднуючи множину одиничних комірок фотоелектричних елементів отримують сонячний модуль, який виробляє електричний струм заданої напруги. Як правило, стандартні модулі складаються з 30 – 36 комірок. Паралельно з’єднуючи модулі створюють сонячну (фотоелектричну) батарею заданої потужності. Величина максимальної сили струму, що генеруються сонячною

батареєю, пропорційна кількості з'єднаних паралельно комірок. Комірки з'єднанують методом паяння у батареї з розмірами панелей: 1640 х 990 х 40 мм або 2000 х 990 х 40 мм. Потужність сонячних батарей, що серійно випускаються промисловістю, складає 50–200 Вт. Вага однієї панелі становить 18 – 22 кг. Батареї з множини одиничних комірок фотоелектричних елементів розміщують у міцному склопластиковому корпусі.

Показники роботи фотоелектричних перетворювачів визначаються температурою навколишнього середовища. У кремнієвих фотоелектричних перетворювачах максимальна потужність досягається при температурі повітря 25^0С. При нагріванні елемента на один градус вище 25^0С відбувається зниження напруги на 0,002 В.

Рис. 16. Підготовка до збирання сонячної батареї з окремих фотоелектричних перетворювачів

Важливим складником системи з сонячних батарей є кріплення, яке має витримувати вагу сонячних батарей, а також вітрові та снігові навантаження. Для виготовлення кріплень переважно використовують алюмінієві профілі та комплектуючі з оцинкованої або нержавіючої сталі.

З кожним роком експлуатації ефективність фотоелектричних елементів під дією сонячного випромінювання знижується. Крім того поверхню сонячних батарей необхідно періодично очищати від пилу і інших забруднень. Найбільшою проблемою для стабільної роботи

сонячних панелей у зимовий період є налипання на їх поверхні шару снігу, який служить перешкодою для надходження сонячної радіації. Крім того, великі маси снігу створюють додаткове навантаження на несучі конструкції сонячних батарей. З метою зменшення снігового навантаження сонячні батареї встановлюють під більшим за оптимальні значення кутом. З іншої сторони, таючи, сніг очищає поверхню батареї і, таким чином, за зимовий період поверхня батарей істотно очищається від частини осілих на них пилу і бруду.

а)

б)

Рисунок 17. Очищення сонячної батареї: а) від снігу; б) від пилових забруднень

Технологія виробництва тонкоплівкових сонячних панелей з нанесеним шаром аморфного кремнію принципово відрізняється від виготовлення кристалічних фотоелектричних елементів. Виготовлення таких фотоелектричних перетворювачів не потребує використання дороговартістних пластин з кремнію. Формування тонкоплівкових сонячних елементів відбувається при температурах, що не перевищують 300°С. Для порівняння, температура плавки кремнію, при отриманні зливка надчистого кремнію, становить вище 1000°С. З цієї причини показник EROI тонкоплівкових фотоелектричних перетворювачів є значно вищим, ніж для перетворювачів на основі моно- або полікристалічного кремнію. Шар аморфного кремнію товщиною близько 2 мкм створюють в плазмомовому реакторі з газової фази гідриду кремнію SiH_4 на поверхні плівкових полімерних матеріалів чи скла. Шар аморфного кремнію у таких фотоелектричних перетворювачах має безладну неоднорідну структуру. Легування

кремнію проводиться шляхом змішуванням газів, що містять легуючий компонент – гідрид бору B_2H_6 для утворення шару з p-провідностю і гідрид фосфору PH_3 для шару n-провідності. Електричні контактні провідники в комірках фотоелектричного перетворювача наносять із використанням трафаретного друку. Поверхня тонкої плівки кремнію додатково захищається прозорим полімерним покриттям.

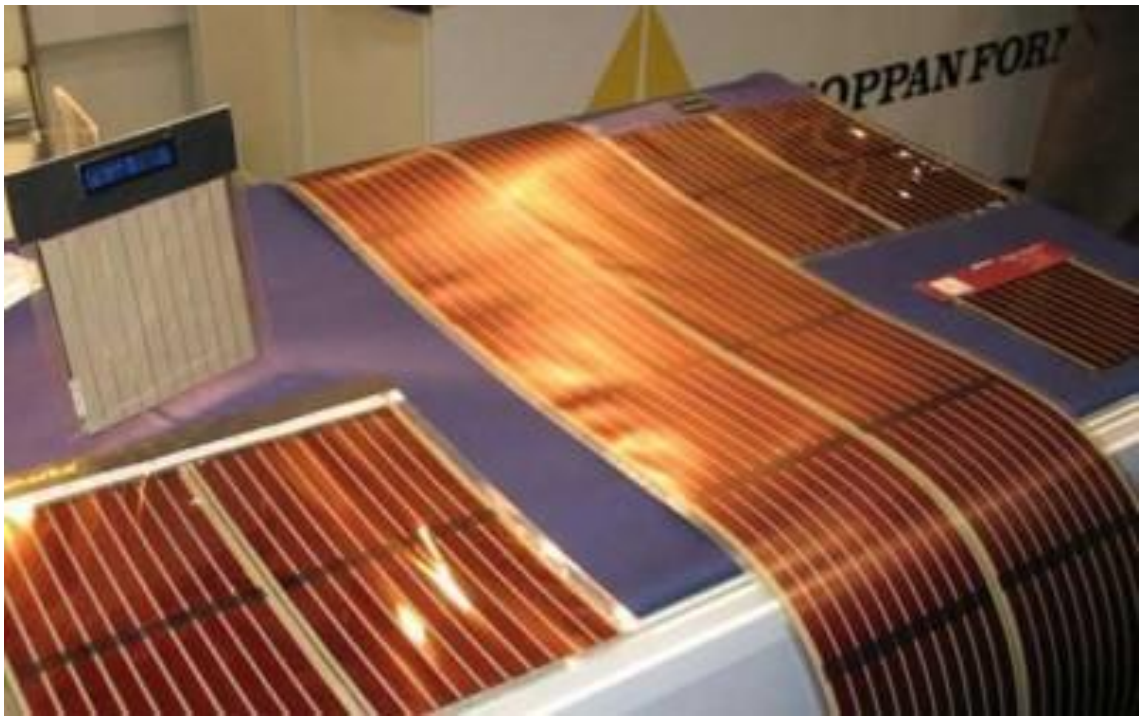


Рис.18. Зразки тонкоплінкових сонячних панелей

Аморфний кремній має гірші напівпровідникові властивості, тому такі фотопанелі мають знижений коефіцієнт корисної дії. Сонячні установки з тонкоплівковими фотоелементами при однаковій потужності потребують більшої в 2,5 рази площі, ніж для перетворювачів на основі полікристалічного кремнію. Застосування у якості напівпровідникового матеріалу селеніду міді та телуриду кадмію дозволили створити гнучкі сонячні батареї з коефіцієнтом корисної дії дещо вищим ніж з аморфного кремнію (до 10%). В той же час, неоднорідна фізико-хімічна структура аморфного кремнію дозволяє краще поглинати фотони слабкого розсіяного світла і генерувати енергію при підвищеній хмарності зі зниженням потужності всього на 10 - 15%. Гарантійний термін сучасних тонкоплівкових фотоелементів з аморфного кремнію через руйнівну дію сонячного світла не

перевищує 3 років і в значній мірі залежить від погодних умов експлуатації.

Сонячні кремнієві фотоелектричні перетворювачі на сьогодні практично досягли межі ефективності. Теоретична ефективність кремнієвих фотоелементів складає до 28%, практична – знаходиться в межах від 14 до 20%, тонкоплівкові перетворювачі мають ефективність 8-12%. Вчені ведуть активний пошук більш ефективних варіантів фотоелектричних перетворювачів. Претендентом на роль більш єфективної альтернативи кремнію вважають мінерал перовськіт (титанат кальцію $CaTiO_3$). Сонячний елемент на основі перовськіту являє собою пристрій, що виготовлений на основі нанотехнологій і складається з декількох шарів. Перовськітні сонячні елементи являють собою тонкий шар товщиною менше двох мікрометрів, який нанесено на носій, наприклад, на скло. Шар перовськіту, що поглинає світло, розміщується між шарами напівпровідників, що служать для транспортування носіїв заряду. Такі шари, товщиною від десятків до кількох сотень нанометрів напівпровідників n-типу, відводять з перовськітного шару носії зарядів, що утворюються під дією світла. Перовскітні сонячні елементи досягають 25% ефективності, що близько до максимальних показників кристалічних кремнієвих фотоелектричних перетворювачів.

Нанесення шарів перовськіту на поверхню кремнієвих панелей також використовують для поглинання додаткових частот світлового потоку. При цьому частина сонячного спектру буде поглинена шаром перовськіту, що знаходиться зверху сонячного елемента, а частина, що залишилася, буде поглинена кремнієвим фотоелектричним перетворювачем, що розміщується нижче. Коефіцієнт корисної дії такої сумарної шаруватої структури на 30% перевищує показники ефективності окремо у кремнієвого, і у перовськітного сонячного перетворювача.

Батареї на основі перовськіту дешевші за кремнієві, в їх виробництві не використовують токсичні компоненти, вони характеризуються гнучкістю, що дозволяє їх розміщувати на поверхнях будь-якої кривизни. Широкому застосуванню перовськітних сонячних батарей перешкоджає їх недовговічність під дією вологи та кисню повітря. Зазвичай вони служать трохи більше трьох місяців, тоді як традиційні кремнієві батареї служать близько 25 років. Перовськітові сонячні панелі краще підходять для побутових цілей, ніж кремнієві, за рахунок того, що вони напівпрозорі через малу товщину.

За можливістю стеження за сонцем фотоелектричні системи поділяються на:

- стаціонарні сонячні електростанції з розташуванням сонячних батарей на фіксованих опорних конструкціях (рис.20);
- рухомі сонячні електростанції, що змонтовані на сонячних трекерах з автоматичним керуванням кутом нахилу по відношенню до поверхні землі та азимут сонячних фотомодулів протягом світлового дня.

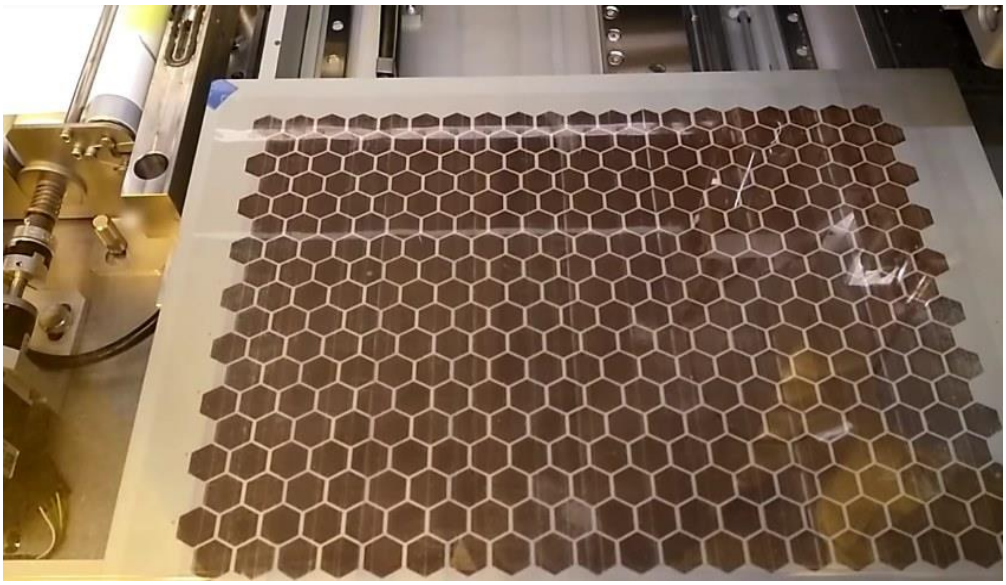


Рис. 19. Тонкоплівкова фотопанель з перовськіту

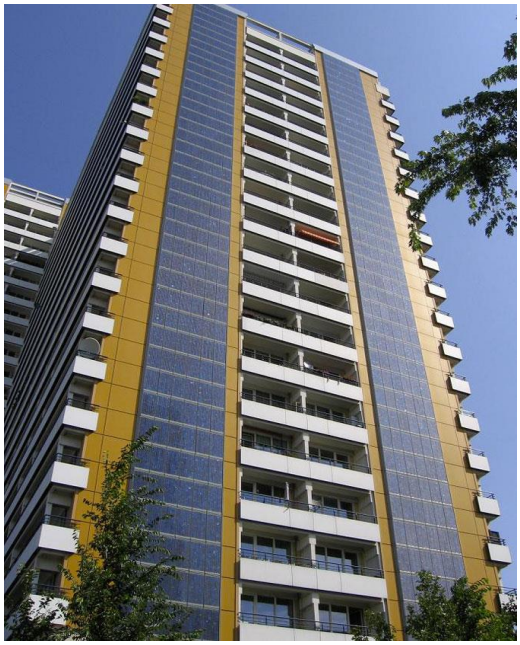


Рис. 20. Розміщення сонячних батарей на південному фасаді багатоповерхової будівлі

Сонячний трекер є рухомою кріпильною системою для фотоелектричних панелей. Пристрій відноситься до двовісного типу динамічних конструкцій. Це дозволяє використовувати світлову енергію максимально ефективно та забезпечувати на 30-40% більше генерування електричної енергії.

Рис.21. Трекер сонячної електростанції з частково встановленими сонячними панелями

Комплекс трекерів у складі сонячної електростанції обладнується датчиками, оброблений сигнал від яких орієнтує сонячні панелі на максимальний рівень попадаючої сонячної енергії, враховує напрямок та швидкість вітру, наявність снігу на поверхні панелі. Трекер виконує наступні функції:

- керування орієнтацією трекерів в напрямку найбільш інтенсивного сонячного випромінення;
- забезпечення захисту трекерів від снігового навантаження;
- забезпечення захисту трекерів від вітрового навантаження;
- моніторинг стану та робочих параметрів трекерів.

Двохосева система стеження за Сонцем складається з:

- опорної конструкції у вигляді одиночної колони;
- рухомої частини, на якій закріплюються фотоелектричні модулі;
- системи орієнтації, що складаються із електромеханічних приводів;
- системи керування, що дозволяє спостерігати за роботою трекера дистанційно.

Трекер встановлюється на бетонному фундаменті.

Незважаючи на те, що рухомі сонячні електростанції мають вищу ефективність вироблення електроенергії, складність їх конструкції та дороговартістність стримує їх широке розповсюдження.

За місцем і спосолбом розміщення фотоелектричні системи з сонячних батарей поділяються на наступні типи:

- наземні сонячні електростанції;
- дахові сонячні електростанції (розташовуються на пласких, скатних і інших типах дахів);
- фасадні сонячні електростанції;
- світлопрозорі сонячні електростанції;
- плавучі сонячні електростанції;
- мобільні (переносні) сонячні електростанції.

Через відносно невелику величину потоку сонячного випромінювання сонячні електростанції займають великі території. Встановлення на потужних сонячних електростанціях фотоелектричних елементів на висоті більшій 2 метрів дозволяє використовувати такі території для сільськогосподарських потреб, наприклад, для випасу худоби. Існують плани плани перетворення зони відчуження Чорнобильської АЕС в потужний центр сонячної енергетики в Україні.

Прагнучи скоротити витрати на отримання чистої електроенергії, енергетичні компанії у всьому світі збільшують розміри сонячних парків. У південному Єгипті за 3 роки побудовано одну з найбільших у світі сонячну електростанцію, яка займає площу 37 квадратних кілометрів у пустелі Сахара і має понад 6 мільйонів фотоелектричних панелей. Їхня загальна потужність становить 1,5 ГВт. Сонячний парк Benban вартістю 4 мільярди доларів на околицях Асуана вироблятиме до 1,8 гігават електроенергії (рис.22).. Це приблизно відповідає двом атомним електростанціям.

Наявність всередині полікристалічного злитка розділених границями зерен кремнію веде до меншої ефективності фотоелектричних перетворювачів. Такі перетворювачі застосовують для освітлення парків, дворів, вулиць, шосе, для електропостачання приватних будинків і дач, лікарень, шкіл, кафе, засобів зв'язку, обладнання для електропостачання нафтопроводів і газопроводів, для зарядки акумуляторів побутової техніки (мобільних телефонів, ноутбуків тощо).

Згідно прогнозів у ЄС розподілені сонячні фотоелектричні системи, які розміщені на будинках, комерційних будівлях та промислових

об‘єктах, матимуть прискорене зростання встановленої потужності. Прогнозується зростання потужності розподілених сонячних електростанцій у середньостроковій перспективі на 320 ГВт. До 2050 року сонячні фотоелектричні модулі мають бути встановлені на кожному підходящому даху, щоб усі громадяни стали активними виробниками і споживачами саме електроенергії, яка виробляється сонячними батареями. Необхідна площа покрівлі для отримання 1 кВт потужності потужності складає близько 7 м^2.

Рис. 22. Сонячний парк Benban (Єгипет)

Прикладом електростанції із стаціонарно встановлених світлопрозорих сонячних панелей може бути побудована у 2016 році Копенгагенська міжнародна школа (рис.23). Фасад із спеціальних фотоелектричних скляних панелей зеленого кольору займає площу 6000 м^2. Окрім відмінного естетичного рішення, якісної температурної герметизації примішень, виробництво електричної енергії світлопрозорими сонячними панелями покриває до 50% загального річного обсягу споживання електроенергії у цій школі.

Компанія Tesla організувала масове виробництво черепиці Solar Roof, покрівельні плитки якої являють собою елементи сонячних фотоелектричних перетворювачів (рис.24). Облаштування покрівлі з покрівельних плиток Solar Roof має нижчу вартість порівняно з комбінацією традиційної криші і додатково встановлених традиційних

сонячних панелей. Витрати на покрівельний матеріал з плиток Solar Roof для облаштування даху площею 120 м^2 становлять близько 30 000 $. При цьому такі сонячні батареї забезпечують потужність 9,8 кВт, що є достатньою для забезпечення будинку електроенергією та для зарядки електромобіля.

Рис.23. Будівля Копенгагенської міжнародної школи із стаціонарно встановленими світлопрозорими сонячними панелями

Рис.24. Покрівля котеджу черепицею Solar Roof

У Європі знаходить розповсюдження розміщення сонячних електростанцій на дахах автомобільних заправочних станцій (рис.25). Мережі автозаправок намагаються використовувати якомога ефективніше наявні у них площі. Дахи автозаправних станцій є ідеальним місцем для розміщення сонячних панелей, оскільки вони переважно знаходяться на відкритій місцевості вдалині від високих споруд та дерев. Це дозволяє отримувати дохід від реалізації електроенергії в мережу.

Рис. 25. Розмішення сонячних панелей на даху автозаправної станції

Експерти пророкують значне зростання протягом наступних десятиліть плавучих сонячних електростанцій, які дозволяють не втрачати значні площі родючих грунтів. Плаваюча сонячна електростанція є дешевшою в експлуатації за польовий аналог, який завжди є дорожчим через високу вартість землі. Розміщені на плаваючих платформах панелі сонячних елементів запобігають росту синьо – зелених водоростей і перешкоджають інтенсивному випаровуванню води в умовах жаркого клімату. Фотоелектричні панелі встановлюються на великих водоймах з питною водою, на затоплених кар'єрах, озерах, іригаційних каналах, рибних фермах, очисних спорудах.

Зазвичай сонячні панелі з фіксованим нахилом кріпляться до плаваючої платформи, яка прикріплена до дна водоймища. Система плавучої електростанції легко масштабується, налаштовується під будь-яку конфігурацію мережі, не вимагає особливого обслуговування.

Наявність під сонячною батареєю води сприяє підтриманню оптимальної робочої температури фотоелектричних перетворювачів, що забезпечує більш високий коефіцієнт корисної дії. Недоліком такого розміщення є необхідність використання водостійкого електроустаткування.

Рису. 26. Перша плавуча сонячна електростанція у Європі OMEGA1 (Франція)

Однією з перших країн, що розпочали розвиток технологій плавучої сонячної генерації, стала Японія. Перший проект плавучої сонячної електростанції було реалізовано у 2013 році на водосховищі для збору дощової води Окегава: на водній гладі за допомогою понтонів встановили 4536 сонячних модулів сумарної потужністю 1,18 МВт. У Європі також реалізовано низку аналогічних проектів, найбільший – сонячна електростанція Queen Elizabeth II у Великій Британії (потужність 6,43 МВт).

3.2.Особливості облаштування сонячних електростанцій

До складу сонячних електростанцій у якості комплектуючих входить ряд стандартних елементів.

Для накопичення отриманої від сонячних батарей надлишкової електроенергії, яка виробляється протягом світлового дня, використовують акумулятори. Сонячні батареї виробляють постійний

струм з напругою 12 В або 24 В, який частково витрачається на зарядку акумуляторів. Акумуляторні батареї постійно працюють у режимі розряд - підзаряд. Акумулятор в темний час доби і в похмуру погоду віддає в мережу накопичену електроенергією, коли не вистачає енергії від фотоелектричних перетворювачів для забезпечення споживачів електричним струмом.

При яскравому сонячному світлі здійснюється ефективна паредача електричної енергії для заряду акумуляторних батарей. Забезпечення умов оптимального режиму заряду акумуляторної батареї по напрузі та силі струму забезпечує електронний пристрій – контролер заряду. Цей пристрій захищає акумуляторні батареї від перезарядження і забезпечує підтримку оптимального режиму їх роботи. При гарній освітленості акумуляторна батарея швидко заряджається до 90% своєї номінальної ємності, а потім швидкість заряду контролером автоматично сповільнюється до заряджання до повної ємності.

Для перетворення постійного струму напругою 12 вольт, який надходить від сонячних батарей, у необхідний для живлення побутових приладів змінний струм застосовують електронний пристрій - інвертор. Інвертори забезпечують якісне електроживлення різної апаратури та приладів в умовах відсутності або низької якості електромережі змінного струму. Інвертори на виході формують стабілізовану напругу синусоїдальної форми, яка придатна для використання для електроживлення обладнання та приладів промисловою частотою 50 Гц напругою 220 вольт.

Для під’єднання сонячної електростанції до мережі загального призначення використовують мережеві інвертори, які перетворюють постійний струм від сонячних батарей у змінний 3-х фазний струм з заданими значеннями частоти і фази. Потужність мережевих інверторів може складати декілька сотень кіловат. Для забезпечення підтримання оптимальних показників напруги електричного струму перед передачею в мережу загального призначення додатково застосовують електронний пристрій - стабілізатор напруги.

Всі електронні прилади, що входять до складу фотоелектричної системи, мають захист від короткого замикання, перегріву і перевантаження.

Обовязковим елементом сонячної електростанції є автоматизована система комерційного обліку електроенергії, яка забезпечує вимірювання кількості спожитої і відпущеної електричної енергії при взаєморозрахунках між виробником і покупцем. Автоматизована

система включає в себе збір, зберігання, обробку та передачу даних, отриманих з індивідуальних і колективних приладів обліку.

Сонячні фотоелектричні станції мають конфігурацію трьох основних типів.

Автономні сонячні електростанції, які працюють без підключення до стаціонарної мережі, і генерують електроенергію для живлення об'єктів, які розташовані на значній відстані від центральних мереж (дачні масиви, польові стани, віддалені будинки, освітлення важливих ділянок доріг тощо). Передача електроенергії в центральну мережу в таких системах не передбачається. Для сонячних установок автономного типу обов'язковим є застосування акумуляторних батарей, в яких накопичується надлишок згенерованої електроенергії для витрачання на потреби споживача.

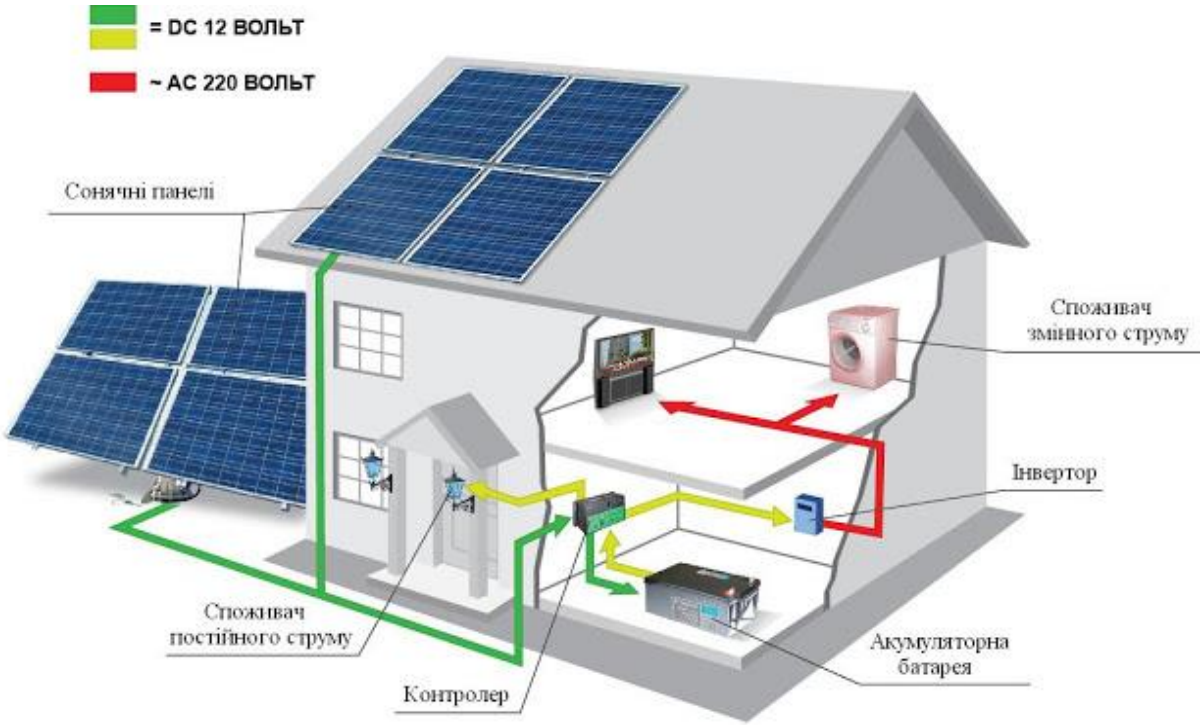


Рис. 27. Автономна фотоелектрична станція

До недоліків систем автономного типу відноситься висока вартість літієвих акумуляторних батарей високої ємності, які в основному використовуються на даних типах станцій. Стрімкий розвиток сучасних технологій накопичення електричної енергії дозволив фірмі Tesla у штаті Каліфорнія (США) побудувати станцію для акумулювання електричної енергії ємністю 20 МВт. Це сховище електрики при повній

зарядці зможе забезпечити електроенергією близько 2 500 будинків протягом дня або зарядку акумуляторів близько 1 000 електромобілів.

Порівняно з іншими видами сонячних електростанцій, такі автономні електростанції залишаються дорожчими. Енергопостачання віддалених автономних споживачів від джерел на основі відновлюваних енергоресурсів у багатьох випадках економічно доцільніше, ніж завезення мінерального палива або будівництво ліній електропередач від великих енергосистем. Для цілорічного енергозабезпечення таких споживачів рекомендується поєднувати автономні сонячні електростанції з дублюючими джерелами (бензиновий генератор, вітрогенератор тощо).

На сьогодні автономні електростанції широко використовуються як джерела живлення для систем навігації та зв'язку, систем телекомунікацій. Низкоякісну електроенергію від автономних сонячних електричних станцій також раціонально використовувати для опалення в житлових будинках.

Мережеві сонячні електростанції. У випадку, коли електроенергія, що генерується сонячною електростанцією, перевищує потреби власного споживання виникає можливість передачі надлишку в електромережу загального користування і отримання оплати за «зеленим тарифом». В цьому випадку сонячні батареї підключаються до мережевого інвертора, який перетворює постійний струм в змінний струм для передачі електричної енергії в мережу. При цьому вироблена електрична енергія повністю продається компанії-власнику розподільних мереж за узгодженим тарифом. Підключення інвертора до загальної мережі виконується через трансформатор та пристрій обліку електричної енергії.

Мережеві сонячні електростанції є найбільш поширеним видом сонячних станцій, вони найпростіші за будовою, найдешевші та з мають найкоротший термін окупності. До їх переваг відноситься відсутність потреби у встановленні вартістних акумуляторних батарей великої ємності. Як правило, взимку прибутки від роботи мережевої електростанції є незначними, але значне літнє виробництво електричної енергії енергії компенсує виробнику витрати на закупівлю електричної енергії взимку.

Гібридні сонячні електростанції, на відміну від інших типів сонячних електростанцій, мають можливість одночасно як виробляти електричну енергію для власного споживання, так і у разі нестачі енергії отримувати електроенергію від мережі центрального

постачання. Робота таких систем дозволяє автоматично включати в роботу резервну систему у випадку, якщо знеструмлюється централізована мережа.

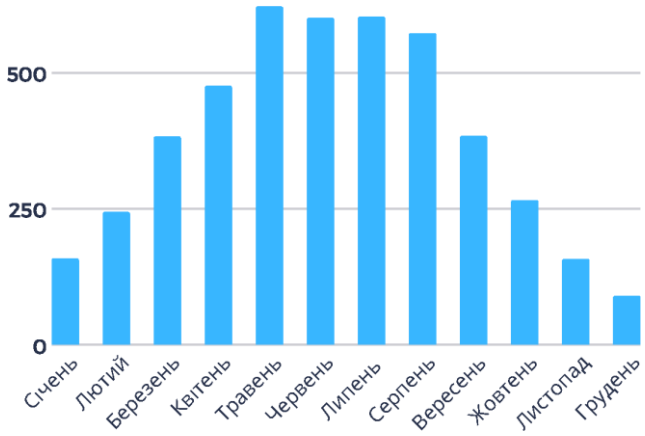


Рис. 28. Рівень генерації протягом року (кВт·год) сонячної електростанції потужністю 5 кВт (дані ТОВ "РБП ГРУП КАЙРОС")

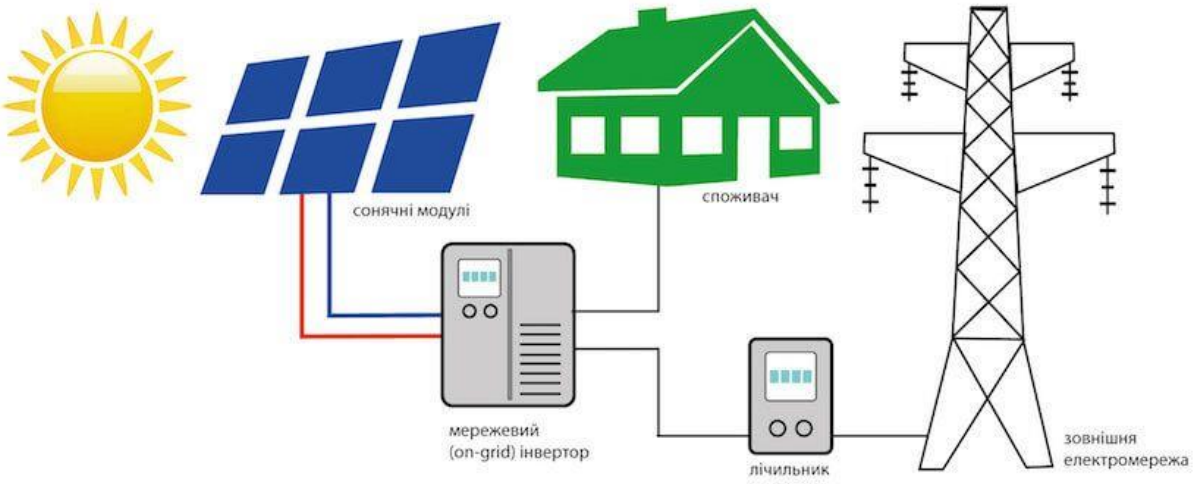


Рис. 29. Схема підключення мережевої сонячної електростанції до електромережі загального призначення

Такий тип сонячних електростанцій використовують у місцях, де можливі періодичні перебої у подачі електричної енергії. Гібридні системи доцільно встановлювати на постійно функціонуючих об'єктах, таких як банківські сервери, охоронні системи, аеропорти, військові об'єкти, опалювальні пристрої тощо. До споживачів надходить електроенергія, яка згенерована сонячними батареями і накопичена в акумуляторних батареях значної ємності. Після відновлення централізованого електропостачання, сонячні батареї будуть поповнювати витрачену енергію в акумуляторних батареях.

Порівняно з автономною сонячною фотоелектричною системою, гібридні системи характеризуються більшою ефективністю роботи і коротшим термін окупності, оскільки така система може бути приєднуватися до мережі по «зеленому» тарифу.

Серед переваг будівництва та використання електростанцій на основі фотоелектричних перетворювачів можна відзначити:

- невичерпний ресурс виробництва альтернативної електроенергії;
- сонячні електростанції мають можливість виробляти електроенергію в будь-якому місці розміщення;
- робота сонячних електростанцій не створює шкідливого впливу на навколишнє середовище та не викликає забруднення довкілля, використання сонячної енергії не впливає на екологічний баланс планети та не створює викидів парникових газів;
- устаткування сонячної електростанції станції є досить надійним і довговічним, оскільки практично не містить рухомих частин і механізмів;
- робота сонячних електростанцій відрізняється безшумністю, що дозволяє здійснювати їх монтаж на дахах та на стінах житлових будинків;
- робота сонячних електростанцій здійснюється в автоматичному режимі, існує можливість забезпечення автономного електропостачання об'єктів;
- мінімальна потреба в обслуговуючому персоналі;
-великий гарантійний термін експлуатаціїх сонячних електростанцій.

Одночасно для сонячної енергетики характерні наступні недоліки:

- продуктивність сонячних батарей залежить від часу доби і погоди;
- висока вартість створення сонячних електростанцій;
- необхідність періодичного технічного обслуговування (періодичне очищення поверхні сонячних панелей від пилу і бруду, а зимою від снігу);
- установка сонячних батарей вимагає виділення великих площ, кожен 1 МВт потужності сонячної електростанції потребує відведення щонайменше 1,5 га землі;
- залишається не вирішеним питання утилізації відпрацьованих сонячних батарей.

Типова сонячна батарея складається на 65-75% зі скла, на 10-15% - з алюмінію, на 10% - з пластику і всього на 3-5% - з кремнію.На теперішній час старі або зіпсовані сонячні батареї утилізуються в установках для вторинної переробки скла, де утилізується лише їх

скляна основа та алюмінієві рами. У 2018 році компанія Veolia відкрила в місті Руссе (Франція) перший у Європі завод з ефективної утилізації старих сонячних панелей. Технологічні процеси на заводі Veolia включають відновлення скла, пластику, кремнію, срібла та міді, які формуються у гранули, які можуть бути сировиною для подальшого виготовлення нових сонячних панелей.

3.3. Сонячні колектори

Сонячна енергія широко використовується для теплопостачання, включаючи гаряче водопостачання і опалення, а також для охолодження і кондиціювання повітря, проведення операцій сушіння у ряді технологічних процесів. Використання сонячної енергії в системах нагрівання води і опалювання дозволяють досягати помітної економії традиційних енергоресурсів. Це є особливо актуальним в умовах підвищення тарифів на паливно - енергетичні ресурси.

Системи сонячного теплопостачання класифікують за наступними ознаками:

- за призначенням (системи водопостачання, опалення, комбіновані системи для цілей теплопостачання, попередній підігрів води для посудомийних та пральних машин тощо);
- за видом використовуємого теплоносія (рідинні - вода, антифриз та повітряні);
- за тривалістю роботи (цілорічні, сезонні).

Базовим елементом системи сонячного теплопостачання є сонячний колектор - пристрій в якому відбувається поглинання сонячного випромінення та передача енергії теплоносію. Колектор ефективно поглинає сонячне випромінювання і має порівняно низькі теплові втрати. На відміну від сонячних батарей, що виробляють електричну енергію, сонячний колектор здійснює нагрівання безпосередньо матеріалу-теплоносія, що подається до теплових технологічних або енергетичних установок. Типова конструкція побутової сонячної системи опалення складається з сонячного колектору з теплообмінною рідиною, що циркулює через його канали. Зібрана теплова енергія транспортується теплоносієм для корисного застосування. Примітивним сонячним колекторам можна вважати металеву ємність вуличного душу, яка пофарбована в чорний колір. За рахунок використання сонячних колекторів досягається зниження до 70% споживання природного газу або електричної енергії. Це дозволяє на

50-80% скоротити витрати на опалення і нагрівання води. Найбільш ефективно сонячні колектори використовуються влітку (для підігріву води), а також навесні і восени (в режимі опалення).

При використанні колекторів економія забезпечується також за рахунок збільшення ресурсу котельного обладнання. У літній період котельні агрегати працюють у режимі неповного навантаження, що знижує їх коефіцієнт корисної дії та призводить до прискореного зносу. Використання сонячних колекторів для нагрівання води дозволяє відмовитися від використання котельного обладнання в літній період. Крім того попередній підігрів води шляхом використання сонячної енергії дозволяє знизити витрати електричної енергії, яка споживається електричними бойлерами. Використання сонячних колекторів для нагрівання води в готелях замість традиційних електричних бойлерів, дозволяє використовувати електричні мережі вдвічі меншої потужності.

До переваг використання сонячних колекторів для соціальних об'єктів відноситься:

- економія енергоресурсів;
- зменшення тепловтрат в трубопроводах, оскільки сонячні колектори розміщують в безпосередній близькості від джерела споживання тепла;
- у літній і міжсезонний час система на основі сонячних колекторів може повністю покрити потребу в гарячому гарячому водопостачанні і може захистити споживачів від форс-мажорних обставин при виникненніі поломок в системі центрального теплопостачання;
- незначні витрати на обслуговування, оскільки сонячні колектори не мають рухомих частин і не вимагають постійного контролю.

Температура нагрітого теплоносія визначається тепловим балансом колектора. Прибуткову частину балансу становить тепловий потік сонячного випромінювання з урахуванням оптичного коефіцієнту корисної дії колектора, а витратна частина визначається відібраним корисним теплом, сумарними тепловими втратами та різницею між робочою температурою і температурою навколишнього середовища. Для України в літній сонячний день продуктивність плоских колекторів може досягати 50 л води, яка нагрівається на площі 1 м^2 за день до 50 – 60^{0}С.

Розрізняють наступні типи колекторів сонячної енергії:

- пласкі колектори;
- трубчасті вакуумовані колектори;

- фокусуючі колектори;
- сонячні ставки (комбінація колекторів сонячної енергії і акумуляторів теплоти).

На практиці в комунальному господарстві переважне використання знайшли пласкі та вакуумні колектори.

У фокусуючих колекторах на основі дзеркал або лінз Френеля здійснюється концентрування сонячного випромінювання на меншу абсорбуючу площу теплообмінника. За рахунок цього досягається отримання більш високих температур теплоносія і досягнення більшої ефективності. Однак, для ефективної роботи таких колекторів необхідне додаткове обладнання з поворотним механізмом, за допомогою якого здійснюється зміна положення дзеркал відповідно до положення Сонця. Фокусуючі колектори зазвичай застосовуються при необхідності досягнення високих температур теплоносія (сонячні електростанції, печі тощо). У системах теплопостачання використання таких колекторів є недоцільним.

Стаціонарні сонячні колектори встановлюються з постійною орієнтацією на південну сторону. Робочим органом колектора є абсорбер – конструктивний елемент, який здійснює перетворення сонячної енергії в теплову енергію та передає відібране тепло теплоносію. До сонячного колектору підводяться трубопроводи по яких подається теплоносій, який поглинає теплову енергію сонячного випромінювання і забезпечує передачу теплової енергії від колектора до системи накопичення теплової енергії. У якості теплоносія знаходять використання:

- вода та водні розчини антифризів (етиленгліколь і пропіленгліколь);
- мінеральні олії (наприклад, силіконове масло);
- соляні розчини;
- повітря.

Сезонні сонячні системи гарячого водопостачання зазвичай одноконтурні і функціонують в періоди для яких характерні позитивні значення температури зовнішнього повітря (літні і перехідні місяці). Вода та її розчини в таких системах є розповсюдженим теплоємним теплоносієм. При температурах нижче 0°С до води необхідно додавати в певній пропорції незамерзаючі рідини (антифризи). Для систем опалення і гарячого водопостачання житлового будинку, що працюють безперервно цілий рік, в якості теплоносія використовують незамерзаючі рідини - антифриз або мінеральне масло. Сезонні сонячні системи гарячого водопостачання можуть мати додаткове

джерело тепла, або обходитися без нього, в залежності від призначення обслуговуємого об'єкта і умов експлуатації.

Повітря є незамерзаючим теплоносієм у всьому діапазоні робочих температур. Циркуляцію повітря в таких колекторах забезпечують вентилятори. При застосуванні повітря в якості теплоносія можливе суміщення систем опалення з системою вентиляції. Оскільки повітря має нижчий коефіцієнт тепловіддачі, поглинач передає йому меншу кількість тепла, порівняно з рідким теплоносієм.

Сонячні колектори можуть бути активного або пасивного типів. В системах активного типу для переміщення теплоносія через колектор використовується електричний насос. В системах пасивного типу насос не використовують і їх робота базується на принципі природної циркуляції теплоносія. Рух робочої рідини в системі пасивного типу відбувається завдяки різниці щільності охолодженої і нагрітої рідин. Холодна вода, яка має підвищену щільність, підводиться у нижню частину колектора, там вона нагрівається, що супроводжується зниженням її щільності. За рахунок цього теплоносій переміщується вгору та надходить у бак-акумулятор теплової енергії.

Найбільш поширеним типом сонячних колекторів для нагрівання теплоносія до 80°С є пласкі сонячні колектори. Плоскі сонячні колектори складаються із:

- корпуса, який по периметру виготовлено зі сталевого профілю;
- загартованого скла на передній поверхні;
- абсорбера, який утворений з мідних або алюмінієвих трубок, що приварені до металевого листа;
- тильної сторони колектора у вигляді теплоізолюючого шару з мінеральної вати та підкладкового листа (пластик або метал).

Плаский колектор являє собою теплоізольовану засклену панель, всередині якої розміщено абсорбер - площинний поглинач, площею 1-2 м$^{2.}$. Адсорбер укладають у теплоізольовану рамну конструкцію. В адсорбері розміщено канали для проходження рідкого теплоносія, який відбирає теплову енергію. За рахунок заміни матеріалу для виготовлення теплосприймаючих панелей адсорбера з міді на алюміній, ціна сучасних колекторів знижується. Для ефективного поглинання сонячного випромінювання на поверхню листового абсорбера наносять спеціальне поглинаюче селективне покриття. Це покриття забезпечує максимально можливе поглинання розсіяного сонячного випромінювання, яке потрапляє на абсорбер, а також перешкоджає зворотному тепловому випромінюванню. До основних

способів нанесення теплопоглинаючого покриття на поверхню абсорбера звернену до Сонця з коефіцієнтом поглинання сонячного випромінювання до 90% відноситься:
- метод напилення (назва «синій шар»);
- метод гальванізації (назва «чорний хром»).

Рис. 30. Зовнішній вигляд плаского сонячного колектора

Основна інтенсивність сонячного випромінювання біля поверхні Землі знаходиться в спектральному інтервалі довжини хвиль 0,4 - 1,8 мкм. Від покриваючого скла залежить поглинання сонячної радіації, яке має бути якомога більшим, незалежно від кута падіння сонячних променів. Для прозорого шару передньої поверхні колектора використовується листове скло з низьким вмістом оксидів заліза, що забезпечує низьку поглинальну здатність сонячного випромінювання. Скляне покриття колектора виконує подвійну функцію – створює ефект парника, знижуючи теплові втрати, а також захищає абсорбер від впливу зовнішнього середовища. Скло має підвищену міцність, що дозволяє йому витримувати удари граду.

Теплова ізоляція корпусу колектора забезпечує теплову ефективність сонячного колектора.

Рис.31. Схема плаского сонячного колектора

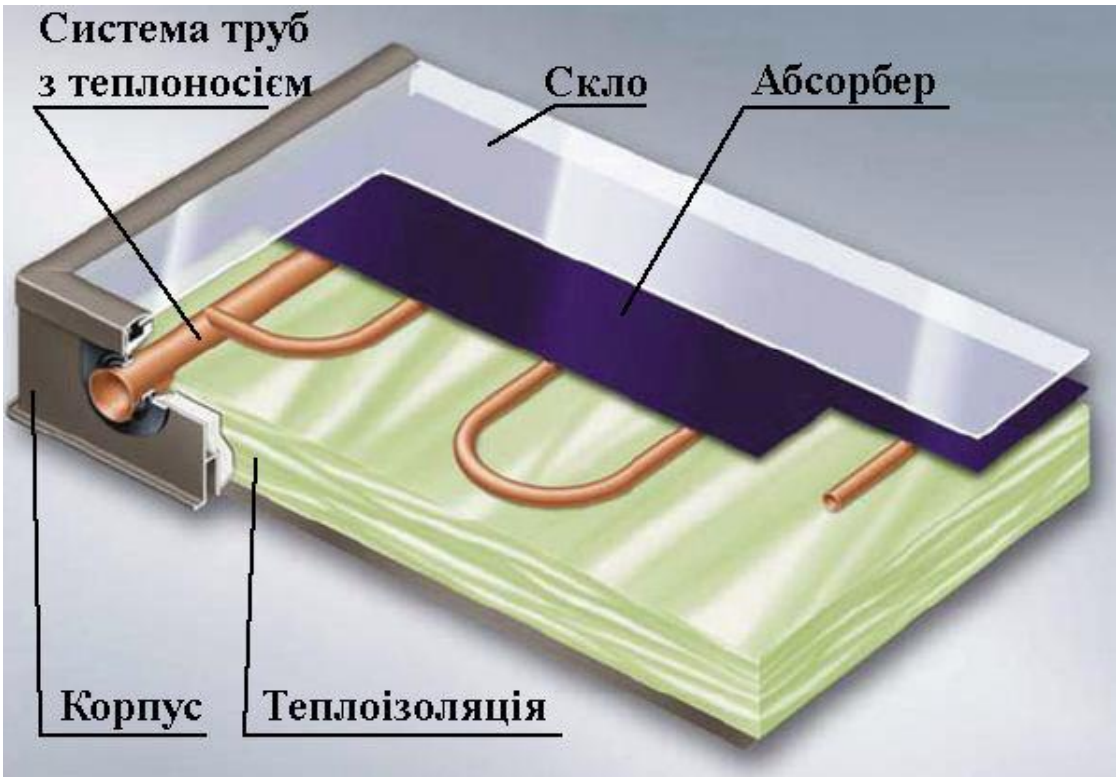


Рис.32. Розміщення абсорбера всередині плаского колектора

Значно вищу ефективність мають вакуумні пласкі колектори, у яких теплоізоляція абсорбера забезпечується за рахунок створення всередині корпуса вакууму, що скорочує тепловтрати. Такі колектори мають максимальною високий коефицієнт корисної дії серед пласких

колекторів, однак, є більш складними в монтажі та експлуатації, і суттєво дорожчими.

До числа переваг плаского колектора в порівнянні з колекторами інших типів відносяться його здатність вловлювати як пряму, так і розсіяну енергію і, як наслідок, такі пристрої ефективно працюють при стаціонарній установці без необхідності стеження за положенням Сонця. Пласкі колектори високу надійність та тривалий термін експлуатації (до 50 років).

Недоліки пласких сонячних колекторів:

- невисокий коефіцієнт корисної дії в періоди з низьким рівнем сонячного випромінювання і в холодну частину року;
- плоский колектор є цільною нерозбірними конструкцією, яку ускладнено транспортувати і встановлювати на даху.

Схожі за конструкцією до пласких колекторів є дистиляційні опріснювачі води. Цей пристрій складається з заповненого водою басейну з чорними стінками та дном, який накритий похило розміщеною скляною кришкою. Під час роботи опріснювача потік сонячної енергії проходить через кришку, нагріває воду. Утворена водяна пара внаслідок теплової конвекції піднімається вгору і конденсується на холодній кришці, краплі конденсату стікають по кришці у приймальний жолоб. Продуктивність такого опріснювача при потоці випромінювання 0,5 кВт/м^2 становить до 8 літрів з 1 м^2 площі кришки за день.

Плоскі колектори мають велику площу поглинання сонячної енергії і теплових втрат. Тому нагрівання теплоносія у таких теплотехнічних пристроях до високих робочих температур не досягається. Для отримання більш високих температур нагріву теплоносія застосовують вакуумні трубчасті колектори.

Вакуумний трубчастий сонячний колектор складається з двох коаксіальних спаяних скляних труб (трубка в трубці) з вакуумом між стінками. Коаксіальна трубка являє собою подвійну скляну колбу і фактично є аналогом термоса. Зовнішню трубку виготовляють з прозорого боросилікатного скла підвищеної міцності, яке характеризується високою світлопропускною здатністю та витримує удари частинок граду діаметром до 25 мм. У просторі між променепоглинаючою поверхнею абсорбера і прозорою оболонкою підтримується вакуум нижче 1,33 Па, що сприяє майже повному виключенню теплових втрат шляхом теплопровідності і конвекції. Така конструкція сприяє стабілізації теплової потужності колектора як

протягом дня, так і протягом всього року, що є істотною перевагою цього типу колекторів. Інфрачервоне випромінювання, яке проходить крізь хмари, також поглинається вакуумним колектором і перетвориться в тепло. На зовнішню та на внутрішню поверхню внутрішньої трубки колби колектора наносяться шляхом напилення селективні для інфрачервоного діапазону спектра антивідбиваючі покриття. Як результат, коефіцієнт корисної дії сонячного вакуумного колектора є на 30% вищим, ніж у звичайних плоских колекторів. Це забезпечує досягнення нагрівання теплоносія до 120 -150°С.

Сонячні вакуумні трубчасті колектори класифікують за конструктивними особливостями скляних трубок і теплового каналу, який використовується у якості абсорбера сонячного колектора.

У коаксіальних вакуумованих трубках прямого нагріву теплоносій, переважно вода, безпосередньо нагрівається всередині теплового каналу коаксіальної трубки. Сонячний вакуумований трубчастий колектор, як правило, комплектується з кількох десятків скляних вакуумних трубок. Колектори прямого нагріву теплоносія з трубками коаксіального типу прості та дешеві, однак мають ряд недоліків:

- безпосередній контакт теплоносія з внутрішньою трубкою не дозволяє колектору працювати під підвищеним тиском;
- колектори з водяним теплоносієм можуть працювати лише в теплу пору року при позитивних температурах.

Найбільш поширеним високотехнологічним типом є вакуумовані трубчасті колектори з непрямим нагрівом, які за будовою поділяються на два основних типи:

- колектори проточного типу з абсорбером у вигляді «U» - подібної мідної трубки (U-type);
- колектори замкнутого випарно-конденсаційного циклу (теплова трубка Super Heat Pipe).

Всередині колби колекторів проточного типу сонячна теплова енергія надходить до мідних петлеподібних (U-подібних) трубок з теплопоглинаючим покриттям. Система трубопроводів в такому колекторі забезпечує нагрівання сонячними променями теплоносія при його пропусканні через U-подібні трубки. Прямий контакт скляних трубок з рідинним теплоносієм при такій конструкції колектора відсутній. У порівнянні з коаксіальними вакуумними трубками прямого нагріву, колектори з непрямим нагрівом з тепловими U-подібними трубками мають підвищений гідравлічний опір для руху теплоносія,

пред'являють підвищені вимоги до якості теплоносія і мають значно вищу вартість..

U – подібні трубки складають цілісну конструкцію з колектором і герметично вмонтовуються у систему тепловідбору. Основним недоліком U-подібних трубок є необхідність їх впаювання в мережу теплообмінника. При цьому, така конструкція виключає заміну одиночних трубок при виході їх з ладу. Якщо одна з трубок руйнується, пристрій демонтують і на його місце встановлюють повністю новий колектор.

Рис. 33. Схема вакуумного трубчатого колектора з U-подібною трубкою

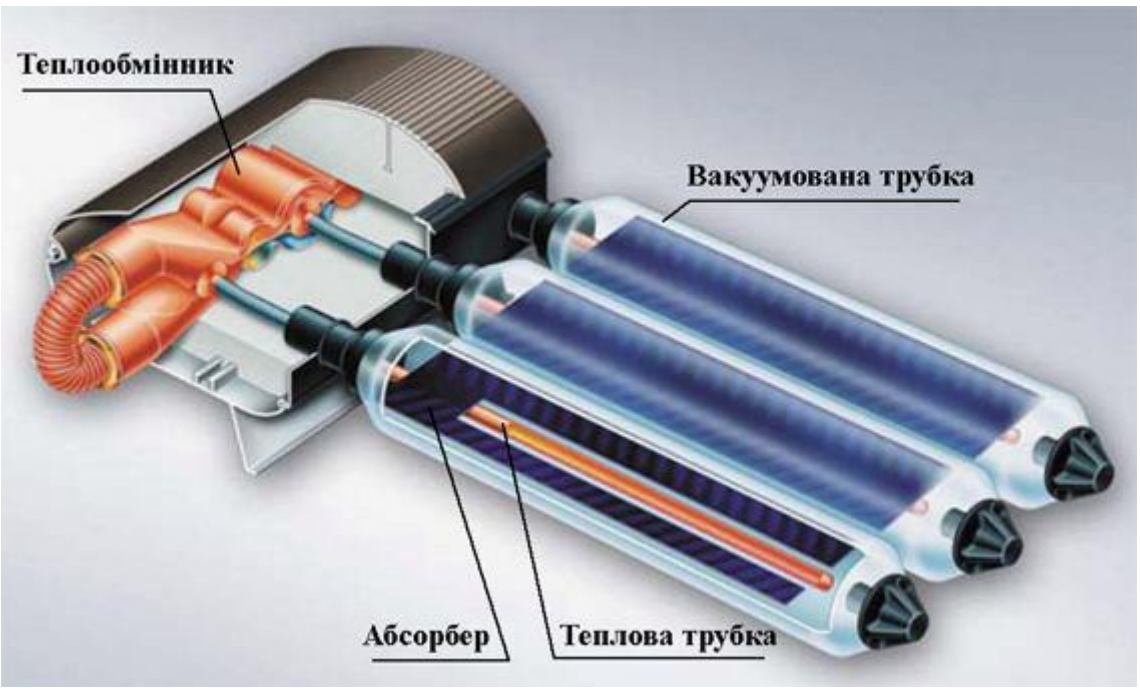
Різновидністю вакуумного колектора є прозора вакуумована трубка всередині якою для підвищення тепловіддачі встановлено пласку поглинаючу пластину (абсорбер), яка з'єднана з U – подібною тепловою трубкою. Така трубка має більший діаметр (70 мм) і, відповідно, більшу площу поглинаючої поверхні.

В колекторах замкнутого випарно-конденсаційного циклу по центральній осі скляної колби теплової трубки замкнутого випарно-конденсаційного циклу у просторі з вакуумом розміщують адсорбер - стержневу герметичну мідну трубку. Ця теплова трубка заповнена

невеликою кількістю легкокиплячої рідини (спирт, ефір). Температура кипіння цієї рідини складає близько 30°С. Під дією сонячних променів поверхня абсорберу прогрівається і легкокипляча рідина починає випаровуватися, що приводить до значного поглинаня теплової енергії. Завдяки використанню для передачі теплового потоку прихованої теплоти пароутворення ефективна теплопровідність таких теплових трубок може бути в сотні разів більшою, ніж теплопровідність міді. Термічний цикл роботи теплової трубки замкнутого випарно-конденсаційного циклу послідовно включає наступні етапи:

- сонячна енергія передається робочій рідині, що знаходиться всередині теплової труби;
- робоча рідина підігрівається, закипає та випаровується, поглинаючи теплову енергію;
- пар переміщається уздовж порожнини мідної трубки вверх до наконечника конденсатора з більш низькою температурою, яка близька до температури теплоносія, що знаходиться в системі теплобмінника сонячного колектора;
- пар охолоджується і конденсується, віддаючи наконечнику абсорбера перенесену теплову енергію;
- тепло від наконечника абсорбера передається теплоносію, який рухається по теплозбираючим трубкам;
- робоча рідина стікає стікає в нижню частину теплової трубки, де знову починає нагріватися від сонячних променів і робочий цикл безперервно повторюється.

Теплозбирач (теплообмінник) є важливим робочим елементом вакуумного колектора. За допомогою цього вузла здійснюється передача накопиченого тепла від теплових трубок до теплоносія. Теплозбирач розташовують у верхній частині теплової трубки. Верхній кінець теплової трубки є частиною теплообмінника, в якому він омивається циркулюючим теплоносієм контуру сонячного колектора. Верхній мідний наконечник трубки (наконечник абсорбера) до упору встановлюють в латунне гніздо. Теплоносій відбирає тепло від мідних наконечників, а потім гаряча рідина прокачується через змійовик бака-акумулятора і нагріває воду в баку.



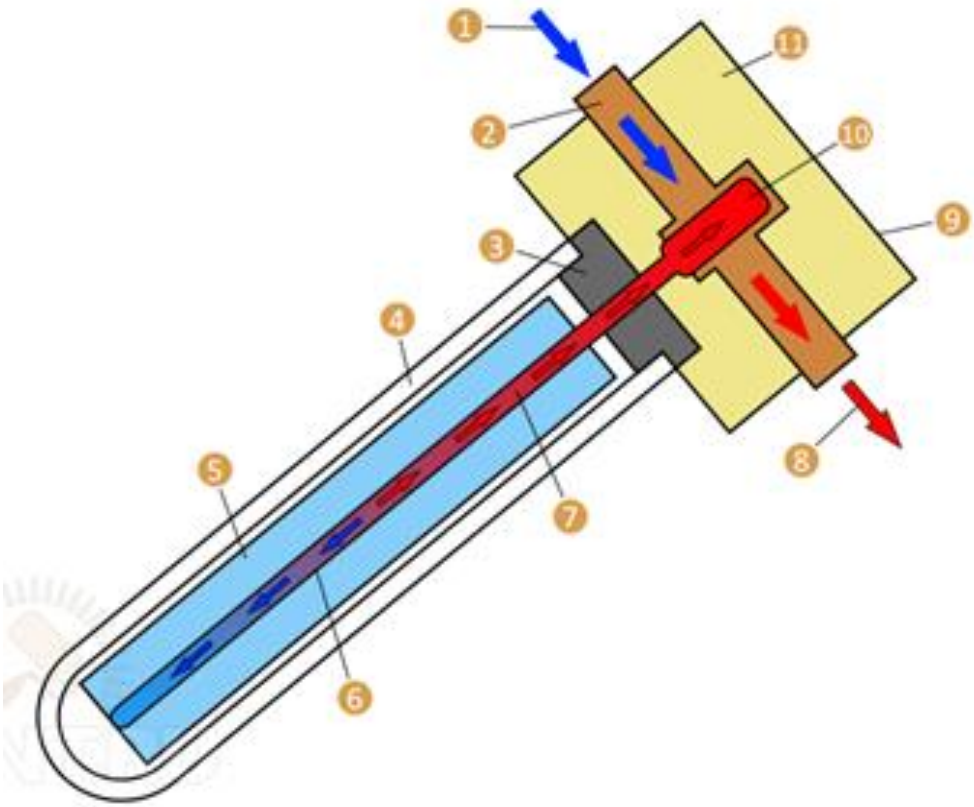


Рис. 34. Конструкція вакуумного колектора з непрямою теплопередачею: 1 - вхід охолодженого теплоносія; 2 - теплообмінник (колектор); 3 - герметична пробка; 4 - вакуумна трубка; 5 - алюмінієва пластина (абсорбер); 6 - теплова трубка; 7 - робоча рідина; 8 - вихід нагрітого теплоносія; 9 - корпус теплознімача; 10 - конденсатор теплової трубки; 11 –теплоізоляція теплообмінника

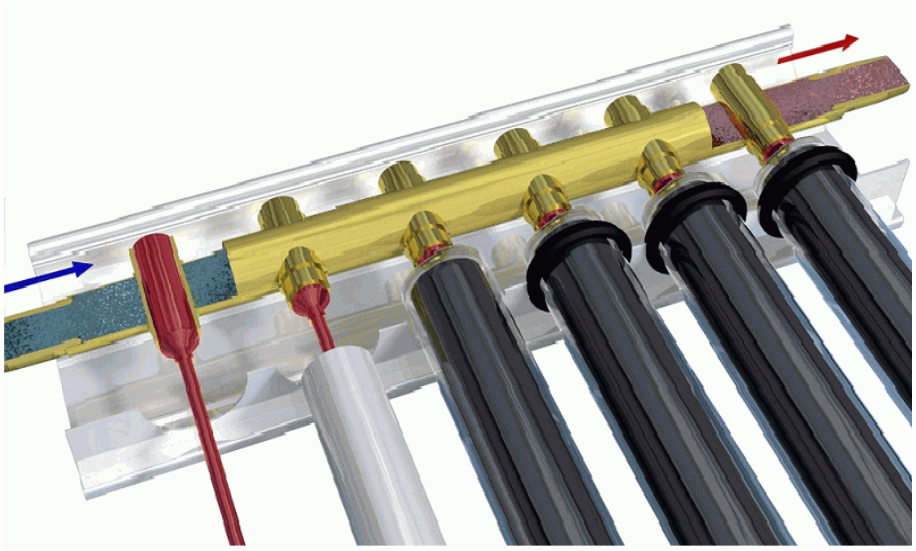


Рис. 35. Встановлення теплових трубок Super Heat Pipe у вакуумний сонячний колектор

Трубчастий колектор складається з рами або кріплень, корпуса-теплообмінника і скляних вакуумних трубок. Монтаж трубчастого колектора здійснюється в кілька етапів: спочатку встановлюють раму, на рамі закріплюють корпус-теплообмінника, після чого по почергово вставляють в корпус-теплообмінника вакуумні трубки. Основною перевагою використання теплових трубок замкнутого випарно-конденсаційного циклу (теплові трубки Super Heat Pipe) є те, що кожна трубка працює незалежно одна від одної, що забезпечує високу надійність роботи. Оскільки теплоносій відсутній всередині такої теплової трубки, а знаходиться лише у теплообміннику, то в разі фізичного пошкодження окремої трубки колектор продовжує працювати. У сонячному колекторі з тепловими трубками кожна скляна вакуумована трубка може бути легко від'єднана і, при необхідності, замінена на нову.

До переваг всіх типів всіх типів вакуумованих трубчастих сонячних колекторів відноситься:

- високе поглинання теплової енергії, за рахунок мінімальних тепловтрат. Коефіцієнт корисної дії в зимовий період і похмурі дні на 20% вищий, в порівнянні з плоскими колекторам;
- всесезонність завдяки використання у якості теплоносія антифризу-суміші поліпропеленгліколя з водою, ефективність роботи при низьких температурних показниках (до -30 ° С);
- низька парусність, обумовлена конструктивними особливостями

трубчастих систем, здатних пропускати крізь себе повітряні маси;
- гарантійний термін експлуатації до 25 років.

Недоліки вакуумних колекторів:
- ільш висока вартість в порівнянні з пласкими колекторами;
- більша вага і габаритні розміри в порівнянні з іншими типами колекторів;
- зниження ефективності роботи в зимовий період в кліматичних умовах України внаслідок можливого утворення інею і покриття снігом;
- висока схильність розбиванню трубок градом, можливість поступового зниження вакууму в деяких з трубок.

Використання вакуумних трубчастих колекторів є найбільш ефективним для круглорічного підігріву води в системах опалення та гарячого водопостачання.

При установці бака-акумулятора вище колектора система з сонячним колектором може працювати на природній циркуляції (термосифонний принцип). В системах з примусовою циркуляцією транспортування сонячної енергії від колектора до бака-акумулятора відбувається за допомогою циркуляційного насосу. Циркуляційні геліосистеми відрізняються вищими показниками продуктивності, на відміну від термосифонних.

Рисунок 36. Термосифонні колектори

Для забезпечення високої продуктивності і стабільної роботи протягом доби сонячні водонагрівальні установки, крім сонячних колекторів, додатково містять системи акумулювання тепла. Теплоносій нагрівається в сонячному колекторі енергією сонця і

передає теплову енергію воді через теплообмінник, вмонтований в баку-акумуляторі. Використання у якості теплоносія антифризу вимагає застосування додаткового теплообмінника, що дозволяє відділити систему колектора від системи опалення. Бак - акумулятор являє собою теплоізольований резервуар з мідним спіральним теплообмінником в баку для передачі теплоносієм теплової енергії воді. У баку-акумуляторі зберігається гаряча вода до моменту її використання для гарячого водопостачання.

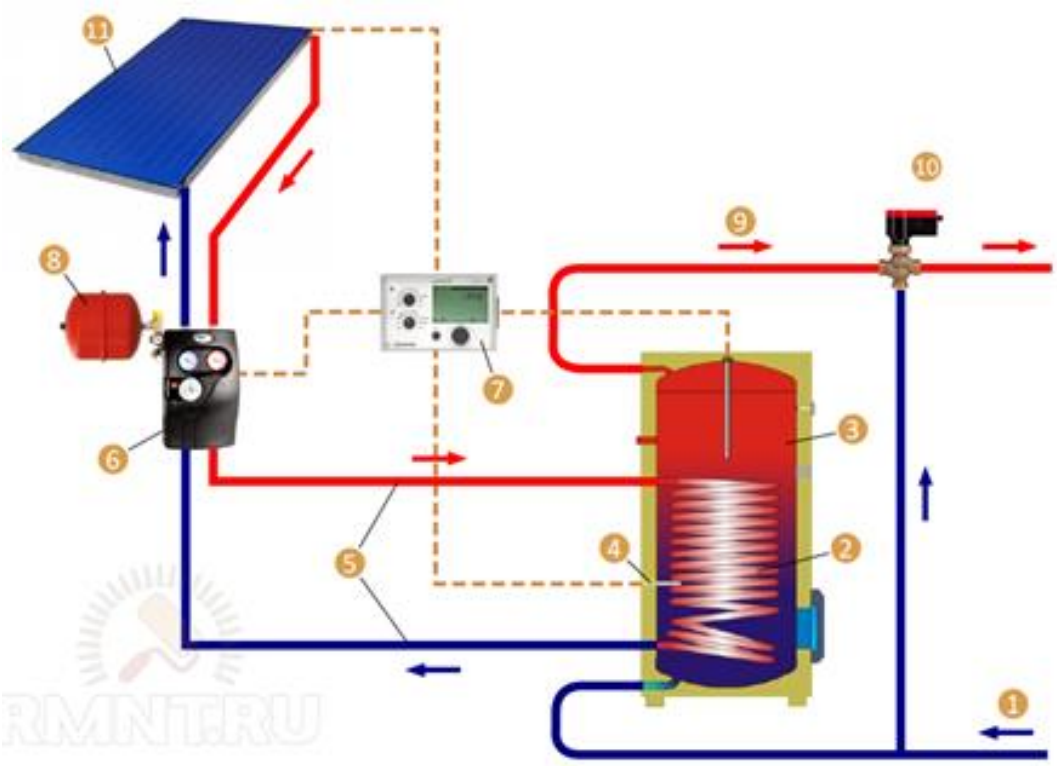


Рис. 37. Схема опалення будинку сонячними колекторами: 1 - подача холодної води; 2 - теплообмінник; 3 - теплоакумулятор; 4 - датчик температури; 5 - контур теплоносія; 6 - насосна станція; 7 - контролер; 8 - розширювальний бак; 9 - гаряча вода; 10 - триходовий кран; 11 - сонячний колектор

В умовах клімату України колектори не можуть бути основною системою опалення, тому що не забезпечуються незмінні теплові параметри, як протягом доби, так і при зміні сезонів року. Однак система може бути інтегрована в існуючу систему опалення та вентиляції. У зв'язку з цим у системі передбачають підключення основного джерела нагрівання води (газовий, електричний або твердопаливний котел, тепловий насос тощо) до другого контуру теплообміну накопичувальної ємності теплового колектора. При цьому,

резервуар-теплообмінник являє собою автоматизовану систему перетворення, підтримки і збереження тепла, отриманого як від енергії сонця, так від інших джерел енергії (наприклад, традиційний водонагрівач, що працює на електричній енергії або природному газі), які за потреби додатково віддають тепло опалювальній системі. При зниженні температури в баку-акумуляторі нижче встановленої (тривала похмура погода чи мала кількість годин сонячного сяйва взимку) нагрівач-дублер автоматично вмикається і догріває воду до заданої температури.

3.4. Концентратори сонячного випромінювання

Сонячна енергія, яка доходить до поверхні Землі характеризується значним розсіянням по поверхні, що вимагає значних площ для отримання необхідної потужності сонячних енергетичних станцій. Ряд технологій у сонячній енергетиці вимагає отримання від сонячного випромінювання досить високих температур (до 500 – 2000˚С). Якщо для опалення і водопостачання достатньо підігріти теплоносій до 100°С, то для роботи парових турбін потрібно утворення перегрітого пару з значно вищою температурою. При термодинамічному методі електричну енергію отримують при використанні теплових установках, в яких теплота від згоряння палива замінюється потоком концентрованого сонячного випромінювання .

Важливим напрямком підвищення енергоефективності сонячних електростанцій є застосування концентраторів сонячного випромінювання і систем їх орієнтації на Сонце. Сонячний концентратор - це обладнання призначене для перетворення сфокусованої сонячної енергії у високотемпературне тепло та виконання функції нагрівання матеріалу-теплоносія (води, мінерального масла, солі, легкоплавкого металу тощо).

Принцип дії більшості сонячних концентраторів полягає у фокусуванні променів Сонця на ємності з теплоносієм, в яких відбувається поглинанання сонячної енергії. Досягнення високих температур за допомогою концентраторів забезпечується шляхом перенаправлення випромінювання Сонця від поверхні з великою площею на поверхню приймача з меншою площею. Основна функція сонячного концентратора – фокусування сонячного випромінювання на приймачі випромінювача, що розташовується на фокальній лінії або в фокальній точці колектора сонячної енергії. Прикладом роботи

концентратора може бути відомий дослід з курсу шкільної фізики, коли за допомогою збиральної лінзи здійснюють концентрацію сонячного світла, достатню для запалювання паперу. Коефіцієнт концентрації таких пристроїв визначається як відношення середньої щільності сконцентрованого випромінювання на приймачі до щільності променевого потоку, який падає на поверхню відбивача за умови точної орієнтації на Сонце.

Концентрацію сонячної енергії також використовують в деяких типах сонячних фотоелектричних установок, ефективність яких залежить від інтенсивності сонячного випромінювання, що припадає на приймальну ділянку з фотоелементами. Застосування концентраторів дозволяє підняти енергетичну ефективність сонячних фотоелектричних установок, поліпшити їх енергетичні, експлуатаційні та економічні показники.

Для концентрації сонячних променів на електростанціях, які працюють за термодинамічним принципом, використовують поле дзеркал, яке концентровано спрямовує промені на ємність з теплоносієм, яка встановлена на вежі. Рідина-теплоносій, що проходить через приймач, поглинає тепло. Під дією променів рідина - теплоносій нагрівається і з неї утворюється пар для приведення у дію турбіни і вироблення електроенергії.

Сонячні концентратори також можуть використовуватися для теплопостачання (опалення приміщень, підігрів води в басейнах). Концентратор площею 4,6 м^2 здатен за рахунок сонячної енергії нагріти 500 літрів води на добу до температури +55 - 60^{0}С. При використанні концентраторів сонячної енергії користувач має можливість збільшити термін служби опалювального обладнання, знизивши теплові навантаження в цих приладах. Концентратори можуть використовуватися також для опріснення води, а, в перспективі, і для виробництва водню.

Конструкція сонячного концентратора включає наступні елементи:

– лінзи або відбивачі, що застосовуються в якості концентраторів сонячних променів;

– металоконструкція, на якій встановлюють лінзи або відбивачі;

– теплосприймаючий елемент, в якості якого часто виступає ємність з теплоносієм (сонячний колектор);

– трубопроводи, що підводять і відводять теплоносій.

Залежно від використовуваного методу концентрації енергії сонця можуть застосовуватися:

- параболоциліндричні концентратори;
- концентратори баштового типу;
- концентратори з лінзами Френеля;
- концентратори тарілчастого типу;

Механізм стеження (трекер) включає наступні елементи:

- сенсор напрямку орієнтації на Сонце;
- електронний блок перетворення сигналів;
- електродвигун з редуктором, що повертає конструкцію сонячного концентратора.

Максимально ефективне використання енергії сонячного випромінювання забезпечується орієнтацією сонячних концентраторів строго в напрямку Сонця. З цією метою концентратори оснащуються системою стеження. Вона встановлює систему відбивачів в напрямку до Сонця. Одноосні системи стеження виконують поворот системи зі сходу на захід протягом світового дня. Двоосні системи додатково орієнтують відбивачі з урахуванням кута нахилу положення Сонця відносно лінії горизонту.

Системи концентрації сонячної енергії повинні мати конфігурацію, близьку до форми поверхонь обертання другого порядку - параболоїда, еліпсоїда, гіперболоїда або півсфери.

В параболоциліндричних концентраторах дзеркало являє собою виготовлений з полірованого алюмінію вигнутий лоток параболічної форми довжиною до 50 метрів, які зорієнтовано на південь. Параболічне дзеркало відслідковує сонячне випромінення лише по координаті куту нахилу та фокусує сонячне випромінювання на приймачі випромінювання – скляній трубці (адсорбері), яка розміщується у вакуумованій прозорій оболонці, по якій прокачується теплоносій. Трубчастий скляний адсорбер, проходить вздовж жолобу і збирає тепло від сфокусованого у лінію сонячного випромінення (рис.38). Параболічна форма концентратора забезпечує понад стократну концентрацію сонячної енергії, в результаті чого досягається нагрів рідини до 200 - 1000°С. Дзеркала розташовують рядами на відстані кілька метрів одне від одного. Концентратори параболічного типу знаходять широке використовуються завдяки простій системі орієнтування на Сонце при невисокій металоємності.

У центрі установки баштового типу з сонячними концентраторами розміщується башта висотою від 18 до 24 метрів з центральним колектором - приймачем сонячної енергії. Для концентрації сонячної радіації навколо башти неї по колу розташовуються геліостати –

дзеркала площею в кілька квадратних метрів, які закріплені на опорах і підключені до загальної системи стеження за положенням Сонця. Геліостат являє собою дзеркальний елемент оптичної концентруючої системи, що має індивідуальний пристрій орієнтації для спрямування відбитої енергії сонячного випромінювання на приймач сонячного випромінювання. Геліостат забезпечують системою стеження, що включає датчик напрямку на Сонце, електронний блок перетворення сигналів, електродвигун з редуктором для повороту конструкції геліостата у двох площинах. Залежно від положення Сонця, дзеркала геліостата змінюють свою орієнтацію в просторі, таким чином, щоб в будь-який момент часу всі відбиті промені від них потрапили на приймач з теплоносієм.

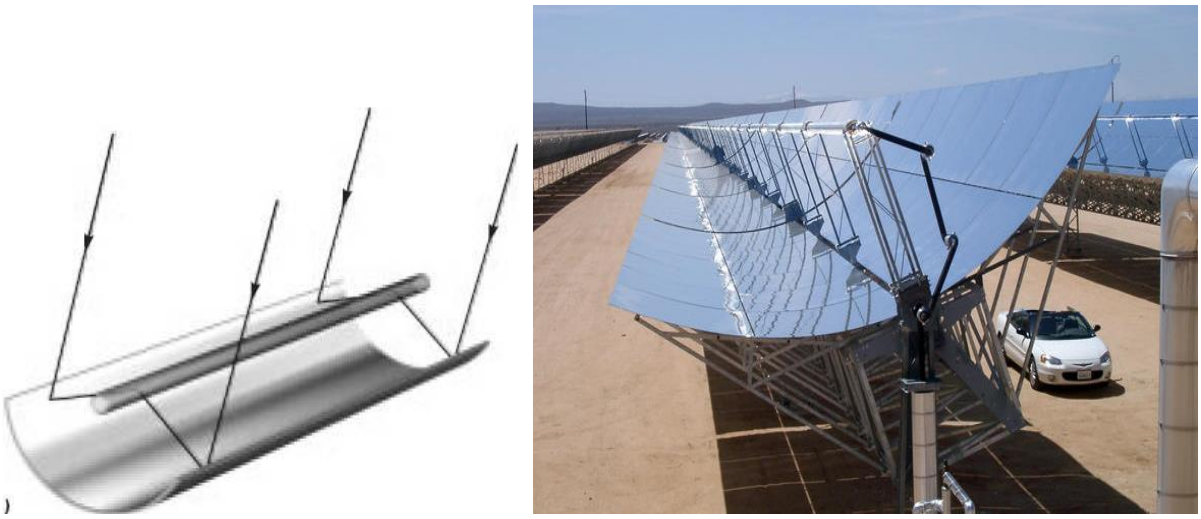


Рис. 38. Дзеркало концентратора параболоциліндричного типу

Рис. 39. Геліостати

За принципом дії приймач є термодинамічним перетворювачем, аналогічним паровим котлам для турбогенераторів з робочою температурою до 500°С і тиском до 15 МПа. Для забезпечення таких параметрів, з урахуванням втрат тепла, коефіцієнт концентрація сонячної енергії має складати близько 1000.

Термодинамічний перетворювач сонячної енергії містить:

- систему уловлювання сонячної радіації, яка призначена для компенсації низької щільності сонячного випромінювання;
- приймальну систему, яка перетворює сонячну енергію в енергію теплоносія;
- систему перекачування теплоносія від приймача до акумулятора або до теплообмінника;
- тепловий акумулятор, який забезпечує зниження залежності накопичення теплової енергії від добової мінливості і погодних умов;
- теплообмінники, що утворюють нагрівальний і охолоджувальний контури теплової машини.

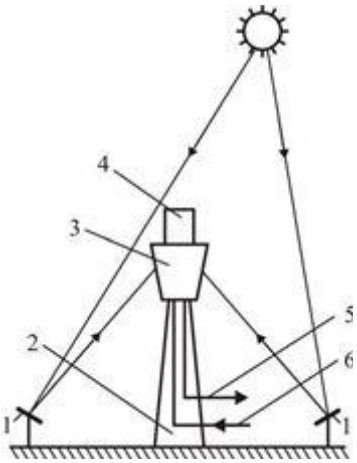


Рис.40. Схема термодинамічної сонячної енергетичної станції баштового типу: 1 – геліостати; 2 – башта; 3 – центральний колектор (приймач); 4 – теплоакумулятор; 5 – трубопровід перегрітої пари; 6 – трубопровід живильної води

Практика експлуатації сонячних енергетичних станцій баштового типу показала їх працездатність. Такі станції на сьогодні ще переважно виконують роль експериментальних полігонів по впровадженню сонячних технологій. Цей тип станцій добре себе зарекомендував в ролі великих мережевих електростанцій потужністю 30–200 МВт. Лідирують по використанню таких електростанцій Іспанія (2,3 ГВт) та США (1,8 ГВт). Прикладом може бути сонячна електростанція баштового типу в районі Санлукар-ла-Майор (район Севілья, Іспанія),

пуск якої відбувся у 2007 році. Ця сонячна електростанція забезпечує перегрітою парою паротурбінну установку потужністю 11 МВт. До її складу входить 624 дзеркал геліостатів площею 120 м^2 кожне та бетонна башта висотою 115 м.

Рис. 41. Розмішення 1926 геліостатів загальною площею 83000 м^2 відносно сонячної башти на сонячній термодинамічній електростанції «Solar Two» в пустелі Мохаве (Каліфорнія, США)

Рис. 42. Сонячна башта в районі Санлукар-ла-Майор (район Севілья, Іспанія)

Сонячних енергетичних станцій баштового типу мають наступні недоліки:

-висока вартість конструкції та значна площа, яку вони займають;

-необхідність регулярного очищення відбиваючих поверхонь від піску та пилу;
-збір теплової енергії тільки в світлий час доби та потреба в акумуляторах великої ємності для стабільної цілодобової роботи.

Цей тип установок ідеально підходить для пустель з високим рівнем сонячної радіації (до 2800 кВт·год/м^2 на рік) і малою хмарністю. Коефіцієнт корисної дії сонячних енергетичних електростанцій може досягати 20%. Найбільш привабливими для таких електростанцій є США, Північна Африка, країни Середземномор'я та деякі інші регіони. Найбільша на сьогоднішній день термодинамічна сонячна електростанція потужністю 300 МВт побудована в Іспанії (провінція Андалузія). Пустеля Сахара реально може стати найбільшим постачальником енергії для всієї Північної Африки та країн за її межами. Зважаючи на те, що пустеля займає близько 9 млн км^2, її теоретичний енергетичний потенціал становить 22 мільярди ГВт·год на рік.

У концентраторному колекторі з лінзами Френеля застосовують ряд орієнтованих в заданому напрямку, рухомих, смужкових лінз, які здійснюють заломлення сонячних променів, спрямовуючи їх на стаціонарний центральний колектор. Кожен елемент лінзи Френеля забезпечує таке саме пропускання з заломленням світла, як і аналогічна частина звичайної оптичної лінзи.

Рис.43. Колектор з лінзами Френеля

Для забезпечення енергією локальних обєктів доцільно застосовувати сонячні енергетичні станції тарілчастого типу, які складаються з окремих модулів. Окремий модуль включає

дзеркальний відбивач і закріпленний у фокусі цього дзеркала приймач - колектор з рідким теплоносієм. Максимальний діаметр тарілчастих дзеркал не перевищує 20 м, що забезпечує досягнення теплової потужності до 75 кВт. Питома вартість сонячної енергетичної станції тарілчастого типу є меншою, ніж енергетичних станцій баштового і параболічного типів. Встановлюватися модулі тарілчастого типу можуть як на спеціально виділених територіях, так і на покрівлі і фасадах будівель.

Рис.44. Сонячна енергетична станція тарілчатого типу

Ефективність концентраторів сонячної енергії помітно знижується в хмарну погоду, оскільки фокусуванню піддається лише пряме сонячне випромінювання. Тому доцільно щоб система містила акумулятори енергії. Застосовування у якості теплоносія розплавлених солей при температурі понад 600°С дозволяє тривалий час зберігати тепло та віддавати теплову енергію після заходу Сонця. Сіль має високу теплоємність і може зберігати тепло у теплоізольованих ємностях протягом декількох місяців, яке при потребі використовується для перетворення води в пару. Розплавлена сіль у якості теплоносія працює при значно меншому тиску, ніж водяна пара, і не розкладається на складові при температурах понад 400 °С, що відбувається при використанні органічних олій. Теплоакумулююча здатність розплавлених солей є значно вищою накопичувальної здатності систем акумуляторних батарей, які традиційно встановлють для зберігання поновлюваної енергії. Найкраші результати досягнуті

при використанні суміші 60% натрієвої та 40% калійної селітри. Ця речовина є ідеальною для робочих температур від 200 до 580°С.

Для більшої ефективності концентратори часто використовуються в гібридних системах, коли крім сонячної енергії використовується енергія викопного палива.

3.5. Накопичення та зберігання електричної енергії

Виробництво електроенергії від поновлюваних джерел у надлишкових обсягах має сенс лише при наявності можливості їх тимчасового зберігання у накопичувачах енергії та можливість за необхідності її відбору. Даний підхід дозволяє покривати пікові навантаження в електромережі. Максимальна величина електричної енергії виробляється сонячною батареєю відбувається в денний час. Проте найбільше її споживання здійснюється з настанням темряви, коли використовується масове освітлення та працюють побутові прилади. На сьогодні сукупна потужність різноманітних систем зберігання енергії у світі сягає 150 ГВт.

Для потужних сонячних електростанцій найбільш ефективним вважається використання гідроакумулюючих систем, які здатні нівелювати добові коливання генерації та споживання електроенергії. Гідроакумулююча станція (ГАЕС) – це електростанція, що використовує у своїй роботі оборотні гідроелектроагрегати, що можуть працювати як у режимі генератора, так і в режимі насоса. Під час вироблення у денний час сонячними електростанціями надлишкової електричної енергії гідроакумулююча електростанція отримує з мережі дешеву електроенергію та використовує її в насосному режимі для закачування води у верхній басейн. В години пік для погашення дефіциту електричної енергії ГАЕС працює у турбінному режимі і використовує воду, яка накопична у верхньому басейні, для вироблення і передачі електроенергії в мережу. Вода надходить назад у нижній басейн через гідравлічну турбіну, яка виробляє електричну енергію. При виборі місця розміщення гідроакумулюючої електростанції враховують топографічні та гідрологічні умови місцевості для облаштування верхнього і нижнього водосховищ.

Комбінована сонячно - гідроенергетична станція забезпечує оптимальне поєднання переваг цих поновлювальних енергоресурсів. На гідроакумулюючі електростанції припадає переважна частка (97%) систем накопичення електричної енергії. Країнами - лідерами за

встановленою потужністю ГАЕС є Китай (31 999 МВт з 34 ГАЭС) та США (22 561 МВт з 38 ГАЕС).

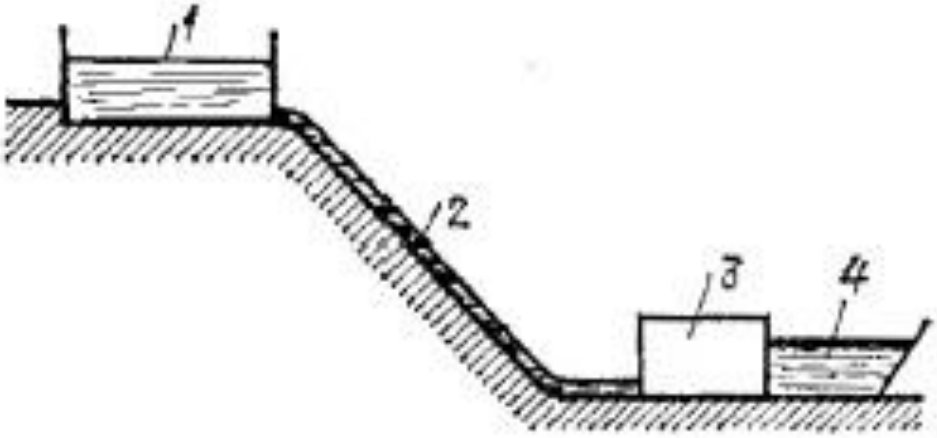


Рис. 45. Схема гідроакумулюючої електростанції: 1 - верхній басейн; 2 - водовід; 3 - будівля гідроакумулюючої станції; 4 - нижній басейн.

Рис. 46. Зовнішній вигляд гідроакумулюючої електростанції

Гідроакумулюючі електростанції є екологічно безпечними та мають високий коефіцієнт корисної дії (відношення енергії, виробленої станцією в генераторному режимі, до енергії, витраченої в насосному режимі) знаходиться в межах 65-75%. Оскільки такі станції споживають

енергії більше, ніж виробляють, економічність їх роботи значною мірою залежить від тарифу на електроенергію в години пік.

У сонячній енергетиці важливу роль відіграють акумуляторні батареї, яким відводиться роль посередника у передачі отриманих електричних потужностей кінцевим споживачам. Акумулятори дозволяють зберігати надлишки виробленої днем електроенергії для інтенсивного використання у вечірній та нічний час. Великі сховища електричної енергії мають забезпечити балансування мережі та гасіння піків споживання. В останні роки, завдяки стрімкому зменшенню вартості, значний розвиток отримали стаціонарні батарейні системи (електроакумулятори) різної потужності. Очікується, що світова потужність стаціонарних батарейних сховищ для індивідуального житла та для комунального сектора зросте від 2 ГВт у 2017 р. до 125 ГВт у 2030 р.

Електричні акумулятори являють собою джерела постійного струму з можливістю проведення багаторазових циклів їх заряду. На сьогодні найдешевшими є свинцево-кислотні акумуляторні батареї, однак вони є екологічно небезпечними та мають невисокий ресурс циклів заряд/розряд. Літій-іонні акумулятори є новим типом накопичувачів електричної енергії, які успішно конкурують зі свинцево-кислотними та лужними батареями як у плані масогабаритних характеристик, так і зручності експлуатації. Перші літій-іонні акумулятори компанія Sony випустила в 1991 році. З того часу їх питома ємність зросла з 110 Вт·год/кг до 200 Вт·год /кг. Через десять років експлуатації ємність і коефіцієнт корисної дії літієвих акумуляторів знижується до 50 – 70% від заявленого показника для нових акумуляторів.

Лідером у виробництві сховищ для накопичення електричої енергії на основі літієвих акумуляторів є фірма Tesla. Нею розроблена система модульних батарей Megapack, розмір яких не перевищує розмір транспортного контейнера. Батареї можуть підключатися безпосередньо до сонячних панелей. Батареї Megapack є повністю готовими до експлуатації, оснащені додатковим обладнанням, необхідним не тільки для зберігання, але і для перерозподілу електричної енергії між споживачами. Монтаж і підключення такої системи займає менше трьох місяців. Потужність кожної батареї Megapack становить 3 МВт·год. Прораховано, що накопиченої енергії в об'ємі 1 ГВт·год достатньо, щоб забезпечувати електричною енергією всю комунальну сферу м. Сан-Франциско (США) протягом шести годин.

Рис. 47. Модульна батарея Megapack потужністю 3 МВт·год

Основними недоліками систем зберігання на основі акумуляторів електричної енергії, на відміну від постійного виробництва енергії, є додаткові витрати на придбання токого дороговартістного обладнання, вимоги до наявності площ для їх розміщення, збільшення обсягу робіт з обслуговування і контролю, а також обмежений термін служби акумуляторів.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ТА КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Опишіть основні типи кремнієвих фотоелектричних перетворювачів.
2. Поясніть, у чому полягає фотоелектричний метод отримання електрики?
3. Принцип побудови кремнієвого фотоелектричного перетворювача?
4. Який термін експлуатації фотоелектричних перетворювачів?
5. Вкажіть переваги і недоліки сонячної енергетики.
6. На чому базуються перспективи сонячної енергетики в Україні?
5. Як влаштовані і які мають переваги сонячні елементи з аморфного кремнію?. Наведіть властивості плівкових полімерних сонячних панелей.
6.Назвіть типи сонячних колекторів, опишіть принцип їх роботи.
5. Вкажіть причину більшого сумарного ККД вакуумних колекторів у порівнянні з пласкими колекторами.
7. Назвіть причину доцільності використання у системах опалення на основі сонячного колектора додаткового нагрівача.
8.Опишіть принцип роботи сонячних енергетичних станцій баштового типу.

4.ВІТРОВА ЕНЕРГЕТИКА

В розпорядженні людства є ряд технологій використання кінетичної енергії повітряних мас для отримання електричної або механічної енергії. Енергія вітру характеризується нульовим рівнем утворення викидів парникових газів і відносяться до екологічно чистої енергії.

Джерелом утворення вітрових потоків є сонячне випромінення. Виникнення вітру пов'язане з нерівномірним прогріванням сонячною радіацією поверхні землі та океану. Над суходолом шар повітря прогрівається більш інтенсивно, ніж над водною поверхнею. Протягом дня над морською акваторією повітря залишається холоднішим, оскільки значна частина енергії сонячного випромінювання витрачається на випаровування води та поглинається її глибинними шарами. Над суходолом повітря прогрівається швидше, розширюється, знижує свою щільність і спрямовується потоком у верхні шари земної атмосфери. Нагріте повітря заміщають холодніші, більш щільні повітряні маси, що переносяться до водних просторів. Це призводить до виникнення вітру як спрямованого переміщення великих мас повітря. Місцеві вітри, що утворюються в прибережних зонах, носять назву бризи.

Атмосфера Землі через неоднорідності поверхні, зміни «день – ніч» та різний кут падіння сонячних променів в різних широтах також нерівномірно поглинає сонячну радіацію. Зміни у прогріванні атмосфери приводять до виникнення різниці атмосферного тиску, що змушує повітря переміщуватися від зони високого тиску до зони низького тиску зі швидкістю від 12 до 65 км/год. Загальні запаси енергії вітру у світі значно перевищують річну енергетичну потребу людства.

Найбільш ефективним можуть бути наступні варіанти використання вітрової енергії:

- виробництво електричної енергії шляхом використання вітрогенераторів;
- виробництво механічної енергії шляхом використання вітряків;
- забезпечення руху вітрильних кораблів за рахунок кінетичної енергії вітру.

Людство використовує енергію вітру вже більше 5000 років. Протягом тривалого часу вітряки, поряд з водяними млинами, були єдиними машинами, які полегшували життя людству. Вітрові борошномельні млини почали використовувати в Китаї понад 2 тисячі років тому. На Середньому Сході, у Персії, близько 200 р. до н. е.

почали застосовувати вітряні млини з вертикальною віссю для перемелювання зерна, лопаті яких виготовляли з полотна або в'язанок очерету, прикріплених до дерев'яних рамок. В Європу технологію корисного використання вітрової енергії було завезено хрестоносцями в XIII столітті.

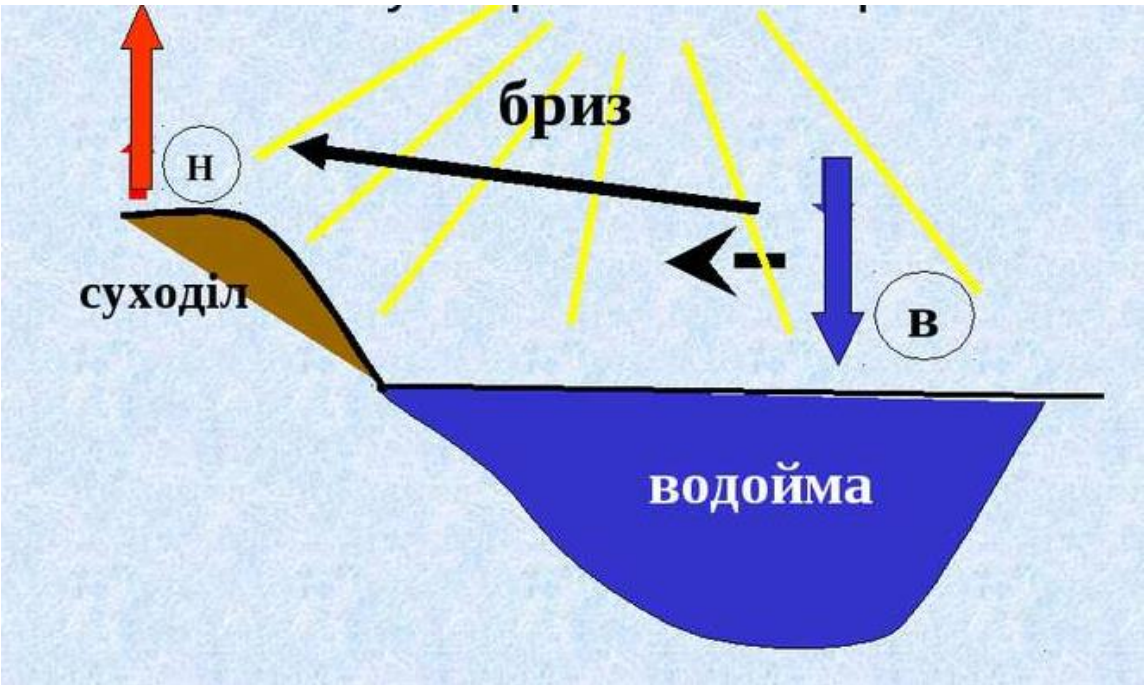


Рис. 48. Схема утворення вітрових потоків

Найбільш широко вітрові установки використовувалися в Голландії, де люди боролися з морем за кожен клаптик придатної для сільського господарства землі. Завдяки роботі сотень вітряків, голландці відкачували воду з відвойованих у моря територій. У 1582 році у Голландії була побудована перша маслобійня, яка використовувала енергію вітру. Наприкінці XVI століття також з'явилися лісопильні заводи, механізми яких приводилися в дію енергією вітру. Лише у XVIII столітті вітряні приводи млинів почали широко замінювати на парові двигуни, які мали вищу продуктивність і працювали на дешевому викопному паливі.

На сьогодні найбільше поширення знаходить вітроенергетика - галузь альтернативної енергетики, яка спеціалізується на перетворенні кінетичної енергії рухомих повітряних мас (вітру) в електричну енергію.

Вже у середині XIX століття у США використовувалося більше 6 млн вітродвигунів з одиничною потужністю до 0,75 кВт, які виробляли

електроенергію, викачували із свердловин воду та виконували інші трудоміскі роботи. Перша вітрова електростанція промислового типу була побудована у США у м. Клівленд (штат Огайо) в кінці XIX століття. Це була установка потужністю 12 кВт з лопатями діаметром 17 метрів. У Данії у 1908 році налічувалося понад 72 вітрогенераторів, потужністю від 5 до 25 кВт.

Активний розвиток вітроенергетики у світі відновився у 70-тих роках минулого століття. Передумовами до нього стало загострення екологічних проблем (забруднення атмосфери викидами теплових електростанцій, кислотні дощі тощо) у поєднанні зі зростанням цін на нафту і бажанням послабити залежність західних країн від поставок вуглеводнів з СРСР і країн третього світу. Нафтова криза 1973 - 1974 років дала додатковий стимул вітроенергетики і питання про її розвиток було віднесено до пріоритетів розвинутих країн світу.

Вітроенергетика на сьогоднішній день є різновидом джерел поновлюваної енергетики та важливим напрямком в енергозбереженні, який динамічно розвивається. Технічний прогрес в галузі виробництва вітрових генераторів за рахунок застосування нових матеріалів, вдосконалених конструкцій електрогенераторів, систем передачі обертального моменту, оптимізації аеродинаміки лопатей дозволили за останні два десятиліття на 80 % знизити собівартість електроенергії, яку одержують на вітрових електростанціях.

У глобальному вимірі виробництво електроенергії вітровими генераторами зросло у п'ять раз за період від 2000 до 2007 року. Нині вітроенергетичні установки працюють приблизно у 96 країнах світу. Встановлена потужність вітрових електростанцій у світі на початок 2021 року склала 774 ГВт, що дозволяє виробляти близько 7% електричної енергії від її загального світового виробництва. Лідируючі позиції у вітроенергетиці посідають Китай, США, Німеччина, Індія, Іспанія, Франція, Бразилія, Великобританія та Канада. При цьому в зазначених країнах для наземних вітрогенераторів було досягнуто ціновий паритет з традиційними джерелами енергії. Встановлена потужність вітрової енергетики у 2020 році досягла 220 ГВт (195 ГВт наземних та 25 ГВт офшорних вітрових електростанцій). Генерація вітропарків покрила 16,4% споживання електроенергії в Європі (країни ЄС та Великобританія). В цей період найбільшим європейським ринком стали Нідерланди, де було побудовано вітрових станцій загальною потужністю 2 ГВт, 75% з яких мали офшорне розміщення. Нині на території Нідерландів, країни у якої відсутні власні запаси

вугілля, нафти й газу, діють близько тисячі вітрових генераторів електричної енергії.

Україна має значний природний потенціал для реалізації вітроенергетичних проектів. Степові простори України надають великі можливості для розвитку вітрових електростанцій. Найбільш привабливими регіонами для використання енергії вітру є приморські території Одеської, Херсонської та Миколаївської областей, територія Карпатських гір. Однак, у решті регіонів України швидкість вітру недостатня для ефективного перетворення його енергії на вітрових електростанціях в електричну енергію в кількостях, достатніх для забезпечення зростаючого споживання в населених пунктів та промислових об‘єктів.

3.1. Конструктивні особливості вітрових генераторів

Вітровий агрегат - система, що складається з вітротурбіни, системи передачі потужності та електромашинного вітрогенератора. Спочатку енергія вітру за допомогою вітрової турбіни перетворюється в обертальний рух ротора, а потім механічна енергія цього руху перетворюється на електричну енергію. Вітрогенератор - це пристрій, в основу функціонування якого покладена трансформація механічної енергії ротора в електричну енергію.

Вітрогенератори за призначенням поділяють на промислові, комерційні та побутові.

Промислові вітрові генератори мають потужність понад 500 кВт. Вони встановлюються великими енергетичними компаніями або державою для забезпечення електричною енергією промислових об'єктів. Вітрові генератори потужністю в десятки мегават, зазвичай, розміщуються на ділянках зі стабільно високою силою вітру (відкритих височинах, морських узбережжях). Як правило, їх об'єднують у мережу потужністю понад 50 МВт утворюючи енергетичні комплекси - вітрові електростанції.

Вітрова електрична станція – електростанція, що складається з двох і більше вітроагрегатів, яка призначена для перетворення енергії вітру на електричну енергію та передачу її споживачеві. Вітропарк - це комплекс вітроелектричних станцій. При розробці проекту будівництва вітрових електричних станцій враховують наявність доріг для доступу до агрегатів, підстанції та моніторингової та контрольної систем.

Комерційні вітрові генератори використовуються для отримання електроенергії на продаж або для забезпечення електричною енергією виробництв в регіонах з малопотужною електромережею. Комерційні вітроелектростанції складаються з кількох вітрогенераторів, які можуть мати різну потужність. Електрична енергія комерційних установок може надходити безпосередньо в електричні комунікації або використовуватися для зарядки акумуляторних батарей, де вона накопичується для послідуючої подачі в енергосистему.

Побутові вітрові генератори потужністю від 1 до 10 кВт застосовуються для використання приватних господарствах. Побутові вітрові електрогенератори малої та середньої потужності можуть служити джерелом електричної енергії для котеджів, дач, заміських будинків, а також для господарських цілей фермерських господарств. Малі вітрові генератори здатні працювати при середній швидкості вітру від 4 м/с. Як правило, для енергозабезпечення невеликого котеджу достатньо при швидкості вітру 9 м/с установки номінальною потужністю 1 кВт. Якщо в місцевості вітри на мають постійного характеру, то вітрові установки раціонально доповнювати сонячними батареями. Згідно з європейською практикою вітрові генератори з щоглами висотою менше 25 метрів можуть встановлюватися господарями ділянок без узгодження з владою, а для більш високих щогл необхідне отримання спеціального дозволу.

Рис. 49. Побутове використання вітрогенератора.

За конструктивними особливостями (напрям розміщення осі вітрової турбіни) вітрогенератори поділяють на два основних типи: горизонтальні та вертикальні.

Горизонтальні вітрогенератори (пропелерні або крильчасті) зазвичай мають 3 лопаті, встановлені на горизонтально розміщеному валі, який орієнтується паралельно до вектора швидкості вітру. При взаємодії лопатей з вітром виникає підйомна сила, що спрямована тангенціально, і створює крутний момент. Лопаті мають аеродинамічний профіль – одна сторона лопаті має закруглену форму, а друга є відносно рівною. При омиванні повітряним потоком закругленої сторони лопаті, утворюється ділянка розрідження. Це створює крутний момент, який забезпечує прокручування лопаті.

Внаслідок наявності аеродинамічних втрат вітрове колесо використовує лише частину потужності вітрового потоку. Обертаючись з високою швидкістю, такі робочі органи дозволяють отримати максимальну кількість енергії з коефіцієнтом використання енергії вітру до 0,4.

Кількість виробленої електроенергії помітно зростає зі збільшенням висоти розміщення вітрової турбіни. Зі збільшенням висоти щогли вітрогенератора на 10 метрів швидкість вітрового потоку зростає на 1 м/с.

Робочим елементом вертикальних вітрових турбін є вітрове колесо, яке обертається навколо перпендикулярної до напряму повітряного потоку вертикальної осі. Такі установки мають кілька вертикальних лопатей, розміщених по колу і механічно з'єднаних з вертикальним валом, що обертається у центрі кола. Робота вертикальних вітрогенераторів не залежить від напрямку вітру і не потребує оснащення системами орієнтації за напрямом вітру. В той час, як горизонтальні турбіни дають високі показники на рівнинних місцях, де багато потужніх вітрів, вертикальні вітрові турбіни краще працюють в регіонах з турбулентними потоками, що утворюються безпосередньо над поверхнею землі. Незважаючи на низький коефіцієнт використання енергії вітру (0,1 - 0,2), вертикальні вітрові турбіни знаходять достатньо широке застосування в районах, де рідко дмуть сильні вітри.

Прикладом вертикального вітрогенератора є турбіна Дар'є. Його ротор являє собою симетричну конструкцію, що складається з двох і більше аеродинамічних крил, закріплених на радіальних балках. На кожне з крил діє підйомна сила, величина якої залежить від значення

кута між вектором швидкості вітрового потоку і миттєвої швидкості крила. Вектор миттєвої швидкості крила циклічно змінюється в процесі обертання ротора, тому момент сили, який створюється ротором, є пульсуючим.

Перевагою вертикальних вітрових турбін є відсутність потреби в орієнтуванні на напрям вітрового потоку та відсутність потреби у встановленні на високій щоглі, що спрощує розміщення елекричного генератора. До їх недоліків відноситься нижчий коефіцієнт корисної дії, створення шуму при роботі та необхідність для запуску початкової розкрутки ротора від зовнішнього джерела.

Завдяки вищій ефективності вітрових генераторів з горизонтальною віссю обертання таку конструкцію мають близько 95% вітрових турбін.

Рис.50. Вертикальні вітрові турбіни

Потужність вітрового генератора залежить від інтенсивності повітряного потоку, що визначається швидкістю вітру V і площею вітрового колеса S, що ним обдувається:

$$N=\frac{p\cdot S\cdot V^3}{2},$$

P – коефіцієнт пропорційності.

Кубічна залежність потужності від швидкості вітру означає, що збільшення швидкості вітрового потоку вдвічі, забезпечує зростання потужності вітрового генератора у вісім разів.

В більшості конструкцій вітроенергетичних установок лопаті вітрогенератора починають обертатися і перетворювати кінетичну

енергію вітру в механичну енергію при швидкості вітрового потоку 1,5 м/с. Ефективна генерація електричної енергії починається при значеннях швидкості вітру не нижче за 4-5 м/с. Більшість вітрових електростанцій розраховані на досягнення номінальної потужності при швидкості вітру близько 7-10 м/с. За оцінками фахівців, площа, де середня швидкість вітру на висоті 8-10 м перевищує 5,1 м/с, охоплює 25 % поверхні земного суходолу.

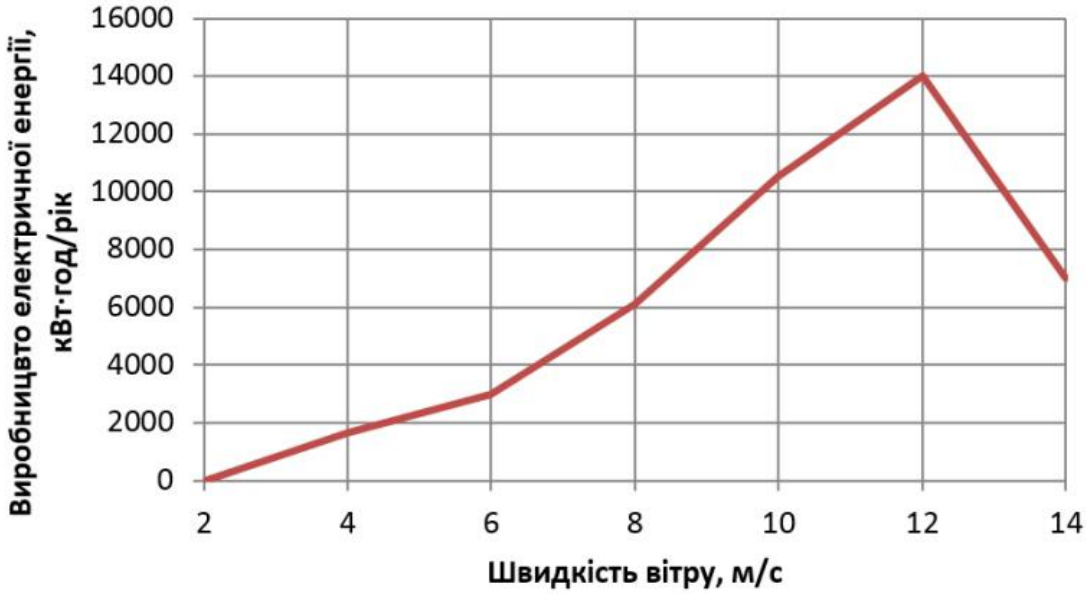


Рис.51. Виробництво електроенергії вітрогенератором номінальною потужністю 1 кВт, в залежності від середньорічної швидкості вітру

Вітрове колесо перетворює кінетичну енергію потоку повітря у механічну енергію. Більшість сучасних вітрових енергетичних установок оснащують трилопатевими вітровими колесами, оскільки аеродинамічні втрати за умови їх використанні менші на 10 %, ніж у дволопатевих вітроколіс.

Потужність вітрогенератора в значній мірі визначається розмірами його лопатей. Зростання розмірів та потужності вітрових турбін є одним із ключових технологічних напрямків розвитку вітроенергетики, що сприяє зниженню питомих витрат та вартості одиниці виробленої енергії. Діаметр вітрового колеса для великих вітрових енергетичних установок може досягати 100 м. У турбіни вітрогенератора потужністю 8,8 мегават, яка встановлена біля берегів Шотландії, діаметр обертання лопатей становить 164 метри при висоті щогли вітрогенератора – 191 метр.

У 2021 році фірма Siemens Gamesa представила найпотужнішу у світі вітряну турбіну потужністю 14 МВт, введення в експлуатацію якої заплановано на 2024 рік.

Розмір монолітної лопаті вітрового колеса обмежує потужність вітрогенераторів, оскільки кожен елемент вітрової турбіни необхідно доставити на місце збирання. З кожним додатковим метром довжини лопаті їх транспортування сушею ускладнюється. Для зменшення транспортних витрат виробники планують розпочати практику 3D-друку запасних лопатей за місцем розміщення вітрових установок.

Однією з проблем для великих вітрових енергетичних установок є захист від швидкостей вітру, що перевищують розрахункові значення (25 м/с). .Стабілізація постійної робочої швидкості обертання ротора на рівні 15-20 об/хв в горизонтально-осьових вітрових установках в умовах, коли напрям і швидкість вітру постійно змінюється, а також його гальмування, коли швидкість вітру перевищує максимальної робочої швидкості, забезпечується поворотом лопатей. Аеродинамічне регулювання швидкості обертання ротора вітрогенератора проводиться шляхом автоматично керованої зміни кута повороту лопаті навколо її осі. На потужніх промислових вітрових генераторах лопаті повертаються за допомогою електричних приводів, встановлених на кожній лопаті.

Для попередження руйнування вітрових установок при ураганних швидкостях вітру також використовують аеродинамічні обмежувачі, електромагнітні та механічні гальма. Дія аеродинамічного обмежувача заснована на принципі, що при збільшенні швидкості обертання лопаті кут атаки лопаті росте, і коли він перевищить значення 11-12° відбувається зрив потоку і різке зменшення підйомної сили.

Електромагнітне гальмування здійснюється електричним генератором. В робочому режимі потужні магніти, які закріплені в роторі генератора, індукують струм в обмотках. При гальмуванні сила електромагнітної індукції, що створюється в обмотках, діє сповільнююче на обертання ротора.

Гондола вітрогенератора являє собою корпус, який встановлений на верхній частині вітрової установки. Гондола є основною частиною всієї установки, до її валу кріпляться лопаті, також в ній знаходяться редуктор та генератор. Основний вал вітрового колеса з'єднується з редуктором, який забезпечує передачу обертальний момент при швидкості понад 1500 об./хв на електричний генератор. Використання в конструкції вітрової установки редуктора, який прискорює обертання

вала, забезпечує збільшення ефективності роботи генератора, дозволяє зменшити його розміри та знижує вартість установки. Обертаючись ротор генератора створює трифазний змінний електричний струм, який передається в мережу через інвертори. Інвертор містить випрямляч, який перетворює змінний струм на постійний і повторно перетворює його в змінний струм з стабільною частотою 50 гц так, щоб частота струму, який передається в мережу не залежала від швидкості вітру та частоти, з якою обертається це вітрове колесо. Електричний струм від генератора також подається на контролер – електронний прилад, що керує поворотом лопатей, зарядом акумуляторів, захисними функціями тощо. У гондолі розміщуються шафа управління з контролером, шафа інверторів, регулятор збудження обмоток електричного генератора, випрямляючий блок, пристрій контролю сили струму.

Висока ефективність вітрових установок досягається лише при прямому попаданні вітру на вітрове колесо горизонтально-осьової вітрової турбіни. Гондола повинна мати можливість обертатися на 360^0. З метою підвищення ефективності роботи вітрогенератори оснащуються спеціальними пристроями орієнтації за напрямом вітру. В малих вітрових установках, як правило, використовують звичайні флюгери. Орієнтація за напрямом вітру у великих вітрових установках вимагає використання механізованих систем повороту. Для орієнтування на вітровий потік у конструкції вітрової установки встановлюють систему датчиків стеження за напрямом вітру, корегуючого повороту вітрового колеса та його утримання у такому положенні. За результатами обробки мікропроцесором отриманих даних гондола вітрогенератора встановлюється в оптимальному положенні шляхом обертання навколо навколо вертикальної осі за допомогою електродвигуна та зубчастої передачі, що розміщуються у верхній частині щогли.

Вихідна потужність вітрової енергетичної установки**,** визначається потужністю інвертора, а також ємністю встановлених акумуляторних батарей. Ця величина визначає гарантований час автономної роботи енергосистеми в безвітряні періоди або періоди, коли споживання енергії від акумуляторів буде перевищувати швидкість зарядки акумуляторних батарей електричною енергією від генератор.

ри паралельній роботі з мережею електрична енергія, яку виробляє вітрова електрична станція, має відповідати вимогам якості електричної енергії у мережі. Мережа, у свою чергу, повинна мати

можливість прийняти потужність від вітрової електричної станції (пропускна здатність лінії електропередачі, наявність відповідних лічильників електроенергії тощо) та вчасно реагувати на зміну її кількості.

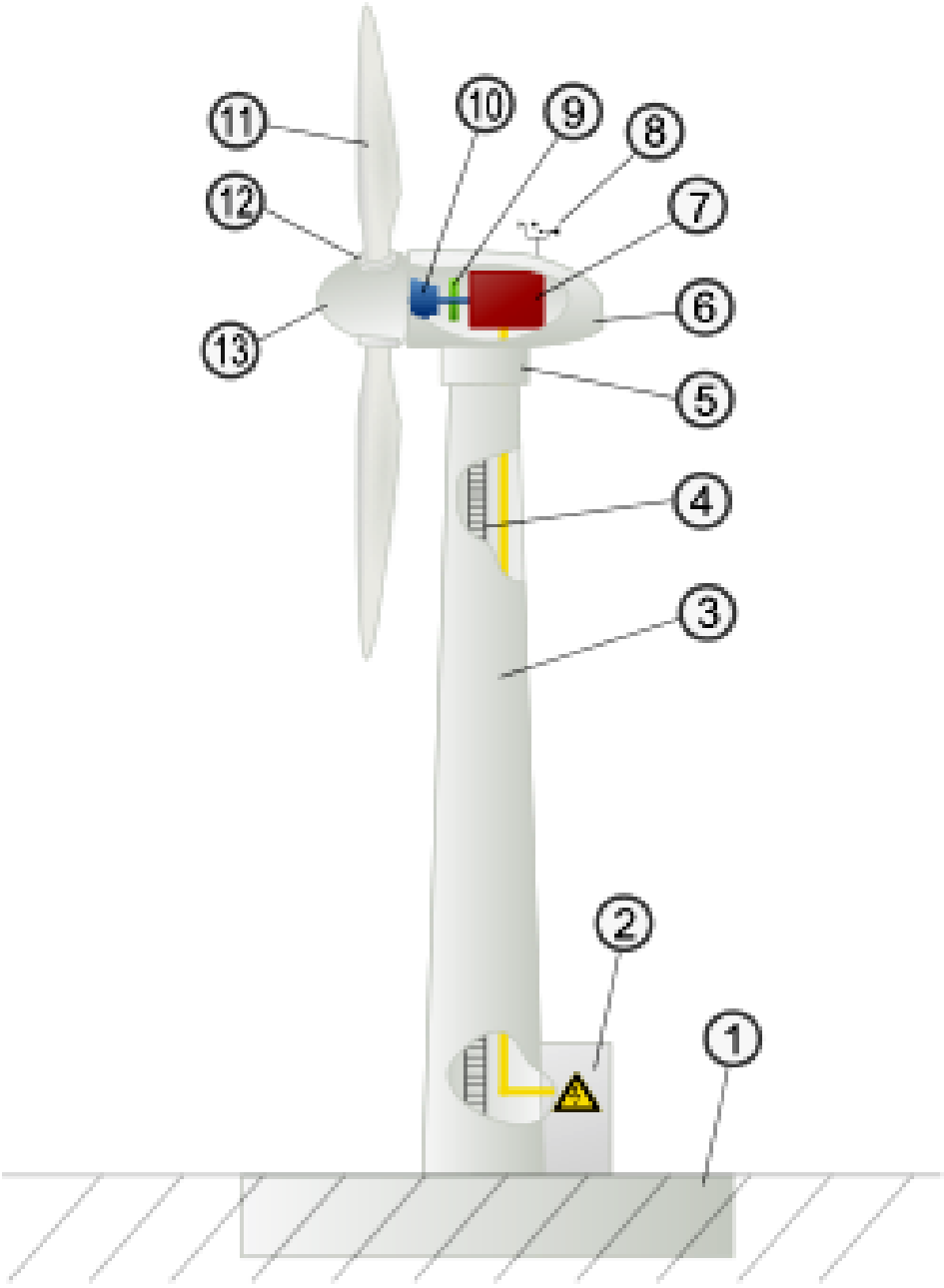


Рис. 52. Будова промислової вітрової установки: 1-фундамент; 2-силова шафа, що включає силові контактори й ланцюги управління; 3-щогла; 4-сходи; 5-поворотний механізм; 6-гондола; 7-електричний генератор; 8-система слідкування за напрямком і швидкістю вітру (анемометр); 9-гальмівна система; 10-трансмісія; 11-лопаті; 12-система зміни кута атаки лопаті; 13 -ковпак ротора.

Особливістю конструкції деяких вітрових турбін є розміщення поверх гондоли платформи для посадки гвинтокрилів, яка використовується для транспортування обслуговуючого персоналу, запасних частин та інструментів. Вітрогенератор додатково може містити систему пожежегасіння, телекомунікаційну систему для передачі даних про результати роботи, а також систему захисту від блискавки.

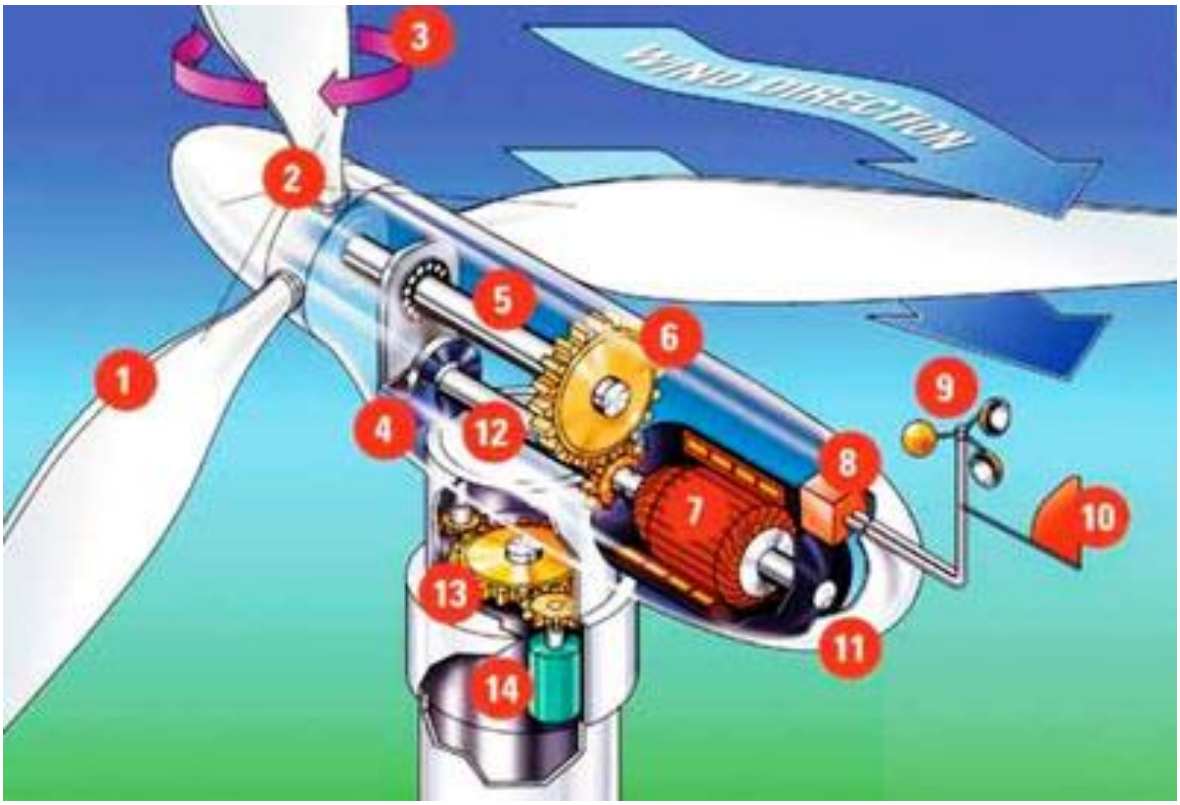


Рис. 53. Будова гондоли вітрогенератора: 1-лопаті вітрового колеса; 2-вал вітрового колеса; 3-напрямок обертання лопатей для регулювання обертального моменту; 4-гальмівний пристрій; 5 – первинний вал вітрового генератора; 6-редуктор; 7- трифазний електрогенератор; 8-система азимутального приводу; 9- система слідкування за напрямком і швидкістю вітру (анемометр); 10-хвостовик анемометра; 11 – гондола; 12-вісь електрогенератора; 13 -механізм повороту гондоли; 14 - двигун механізму повороту гондоли.

Основний модуль управління вітрової турбіною розташований у нижній частині щогли вітрової турбіни. Модуль включає шафу дистанційного управління розподільними пристроями, пристрій безперебійного електроживлення, силові шафи, датчики обледеніння лопатей, шафа системи зв'язку, контролер напруги, акумулятори тощо.

Розташування механізмів та обладнання на висоті ускладнює експлуатацію та передачу вироблюваної електричної енергії з гондоли, що обертається, на нерухому опорну щоглу.

Рис. 54. Зовнішній вигляд гондоли вітрогенератора моделі SWT-7.0-154 (виробник - компанія Siemens) потужністю 7 МВт, діаметр ротора з лопастями 154 м.

Вага конструкції вітрогенератора складає сотні тонн. В даний час за рахунок використання при виробництві вітрових енергетичних установок сучасних композиційних матеріалів, досягається збільшення одиничної потужності агрегатів, знижується їх матеріаломісткість і вартість. Це веде до скорочення витрат по виробництву вітрових енергетичних установок та вартості виробленої електроенергії на них, і в кінцевому результаті, до підвищення конкурентоспроможності вітрової енергетики в порівнянні з іншими технологіями виробництва електроенергії.

Основа опорної щогли закріплюється на залізобетонному фундаменті, вага якого близька до ваги самої конструкції вітрового генератора. Опорна щогла виготовляється методом зварювання з товстолистового стального прокату, а в фундамент вкладаються прутки стальної арматури діаметром до 32 мм. На виготовлення фундамента витрачається від 60 до 130 тонн стальної арматури.

При монтажі конструкції вітроустановки, після встановлення щогли турбіни, на верхній частині до гондоли прикріплюють монтажне гніздо, яке є серцевиною вітрового колеса. Лопаті збираються на землі і потім за допомогою підйомного крана піднімаються нагору і кріпляться до монтажного гнізда за допомогою болтів.

Рис. 55. Встановлення лопатей на вітрогенератор

Взимку може відбуватися обмерзання лопатей вітрогенератора. При обертанні ротора відбувається розлітання шматків льоду, що може призвести до небезпеки вражання предметів або живих істот, що знаходяться неподалік. Для запобігання розльоту шматків льоду проводять гальмування вітрового колеса та проводять їх обробку спеціальними розчинами для зниження обледеніння. В січні – лютому 2021 року у Німеччині практично відразу 30 тисяч вітрових турбін перестали виробляти електроенергію із-за сильних морозів та обледеніння.

Рис. 56. Обробка з гвинтокрила лопатей лопатей вітрогенератора проти обледеніння

4.2.Особливості облаштування вітрових електростанцій

Залежно від умов роботи, вітроелектричні установки можуть бути трьох типів:

1. Автономні вітрові енергетичні установки. Працюють на забезпечення електричною енергією окремих об’єктів. Світові тенденції розвитку енергетики спрямовані на все ширше використання розподіленої генерації, що базується на принципі виробництва електричної енергії у місці її споживання. Промислові моделі вітрових генераторів різної потужності застосовуються нафтогазовими, телекомунікаційними компаніями, буровими і геолого-розвідувальними станціями тощо. Застосування вітрових генераторів може виступати

альтернативою дорогим дизельним генераторам, додатково знижуючи витрати на транспортування і зберігання пального до 80%.

2. Локальні системи з вітровими енергетичними установками. Працюють на забезпечення потреб невеликих населених пунктів чи частини великого міста.

3. Вітрові енергетичні установки, що працюють у складі великої енергосистеми.

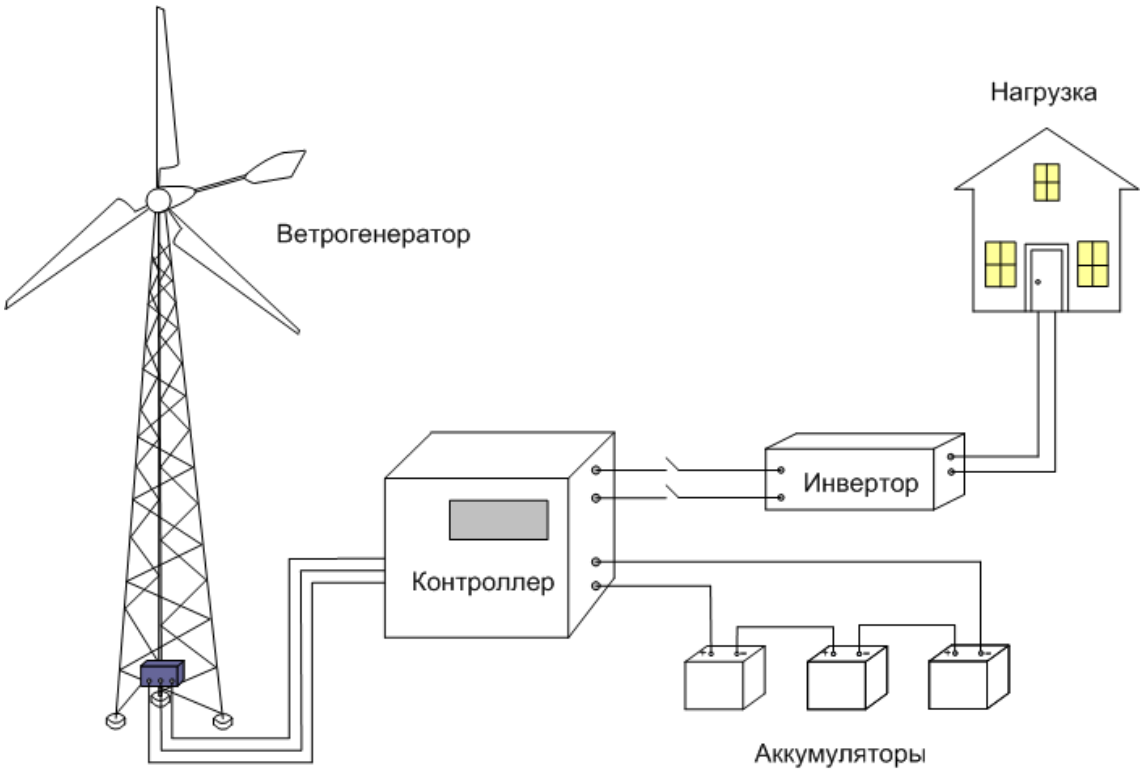
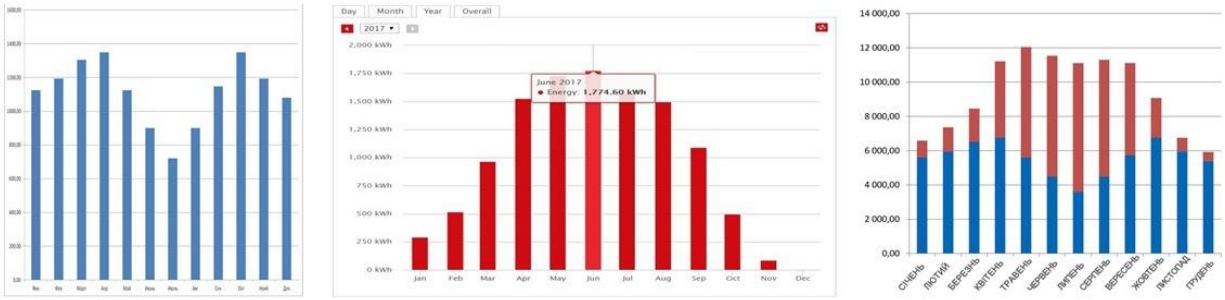


Рис. 57. Автономна вітрова енергетична установка

Для віддалених місць встановлення автономних вітрових електрогенераторів може бути найефективнішим рішенням. В періоди, коли вітер відсутній, потреба забезпечення електричною енергією електроприладів та освітлення покривається за рахунок акумуляторів. При цьому перетворення постійного електричного струму у змінний струм проводиться за допомогою інвертора. Для розміщення акумуляторних батарей поряд з вітрогенератором необхідно розміщувати опалюване вентильоване приміщення площею кілька квадратних метрів з температурою вище 0°С. Використання акумуляторів значно збільшує загальну вартість системи. Тому для прийняття остаточного рішення щодо комплектації вітроенергетичної установки проводяться детальні техніко-економічні розрахунки.

Встановлення автономної вітрової електричної станції доцільно здійснювати у поєднанні з фотоелектричним модулем або дизельним генератором, які можуть працювати паралельно з вітроустановкою при низькій швидкості вітру. За повної відсутності вітру у нічний час споживачі забезпечуються енергією, що виробляється виключно дизельною електростанцією. З метою поєднання різних джерел енергії використовують автоматичний перемикач джерела живлення, який забезпечує автоматичне перемикання між декількома джерелами електроживлення за проміжок в 0,5 секунди при зникненні основного джерела.

Найбільш ефективним рішенням для автономних станцій і малих мережевих станцій є поєднання роботи вітрових і сонячних установок. Про доцільність використання комбінованого варіанту “сонце + вітер” для забезпечення стабільного електропостачання свідчать результати порівняння річних генерацій вітровими енергетичними установками, сонячними електростанціями та комбініцією вітрових і сонячних установок свідчать дані, які наведено на рис.58.



а) б) в)

Рис. 58. Діаграми типової річної генерації: а – від вітрової енергії, б – від сонячної енергіїї та в - від комбінації використання сонячної і вітрової енергії (Джерело: “Греса Групп”)

Промислові вітрові електростанції потужністю понад 50 МВт, як розміщують в місцях, де середня швидкість вітру досягає 9 м/с, здатні виробляти електроенергію за ціною від 3 до 1 цента за 1 кВт/год. Основними факторами, які приводять до здорожчання електричної енергії, отриманої від вітрових генераторів, є:

– необхідність отримання електроенергії промислової якості ~ 220 В шляхом застосовання інверторів, що знижує коефіцієнт корисної дії енергетичної установки;

– необхідність автономної роботи протягом деякого часу шляхом застосування акумуляторів великої ємності.

– витрати дизельного палива для забезпечення тривалої безперебійної роботи споживачів шляхом підключення дизель-генератора.

Рис. 59. Поєднання роботи вітрових і сонячних установок

Одним із найбільш економічно доцільних варіантів використання вітрових генераторів є вироблення постійного або змінного електричного струму низької якості з подальшим перетворенням його за допомогою електронагрівачів у тепло для обігріву житла і отримання гарячої води. В цьому випадку нагріта вода стає акумулятором тепла. Таку схему доцільно використовувати для попереднього нагрівання води в системі гарячого водопостачання.

Одне з основних обмежень розвитку вітроенергетики полягає в необхідності виведення з експлуатації земель, які могли б бути використані під інші види господарської та природоохоронної діяльності. Вітрові електростанції, як правило, займають великий простір. Однак, витрати землі під розміщення вітрових електростанцій є набагато меншими, ніж для електростанцій традиційних типів.

При швидкостях вітру від 10 до 25 м/с сучасні вітроелектричні установки залишають за собою турбулентний потік повітря, що знижує аеродинамічний коефіцієнт корисної дії сусідніх вітрогенераторів. Відстань між вітровими турбінами має становити не менше 6-9 діаметрів вітроколеса. В вітропарках з діаметрами вітрових турбін від 60 до 120 метрів розташування вітрових агрегатів здійснюється на відстані до 600-1200 метрів один від одного.

Для будівництва вітрових електростанцій використовуються ділянки, які мало заселені і не залучені в економічну діяльність. Найбільш сприятливими регіонами для використання вітрової енергії є узбережжя морів і океанів, шельф, пустелі, гори, степи, тундра, гірські райони. Районування території за потенціалом вітрової енергії проводиться на основі аналізу комплексу наступних показників:

- середня річна швидкість вітру та її мінливість;
- питома потужність та сумарні потенційні вітроенергоресурси;
- тривалість енергоактивної швидкості вітру та енергетичного штилю;
- безперервна тривалість робочої швидкості як критерій стабільності функціонування вітроагрегатів.

За місцем розміщення вітрові електростанції класифікують наступним чином.

1)Прибережні електростанції будують на невеликій відстані від морської чи океанічної берегової лінії. З боку на узбережжя постійно спрямовані бризові вітри. Прибережні вітрові енергетичні установки характеризуються одними з найнижчих показників собівартості виробництва електроенергії серед альтернативних видів генерації.

Рис. 60. Вітропарк на узбережжі Північного моря у Німеччині

2)Наземні вітрові електростанції мають найбільше поширення. Будівництво таких вітрогенераторів на заздалегідь підготовлених майданчиках займає близько 2 тижнів. Як правило, значно більший

час, витрачається на узгодження будівництва з боку дозвільних органів. Будівництво наземних електростанцій у віддалених районах є ускладненим, оскільки для їх будівництва потрібно важка підйомна техніка та наявність під'їзних шляхів. До того ж, в таких умовах вітрову електростанцію ускладнено підключити до існуючих електричних мереж.

Рис. 61. Вітропарк Alta Wind в штаті Каліфорнія (США)

3)Гірські наземні вітрові електростанції використовують інтенсивні гірські вітрові потоки. На таких територіях простіше знаходити мало заселені і не залучені в економічну діяльність ділянки.

4)Офшорні (шельфові) вітрові електростанції будують на мілководді на відстані кількох десятків кілометрів від берега моря. Завдяки морському бризу такі вітрогенератори стабільно працюють понад 90% тривалості доби. Для будівництва вітрових електростанцій в цьому випадку не потрібно вилучати з обігу дороговартістну землю, і при належному плануванні можна домагатися високого коефіцієнта використання потужності (до 45%). Будівництво цього типу вітрових електростанцій коштує дорожче, ніж наземний варіант Для їх встановлення необхідно на глибині до 50 метрів будувати потужні фундаменти з бетонних паль, які забивають у морській грунт. Морська вода призводить до прискореної корозії металоконструкцій, тому необхідно застосовувати заходи захисту від корозії. Передачу

електроенергії в електромережі від офшорних вітрових електростанцій здійснюють через кабелі, які розміщені під водою.

Згідно сучасних інноваційних технологій, крім стандартних шельфових вітрогенераторів з жорсткими фундаментними основами, яка заглиблюють в морське дно, застосовують вітряні турбіни, які розміщують на прикріплених до дна якірними тросами плавучих платформах. Таке розміщення електростанцій на поверхні океану в значній мірі знімає територіально-географічні обмеження.

У 2020 році в Європі відбулося збільшення потужностей офшорних вітрових електростанцій на 2,9 ГВт, і на сьогодні встановлена потужність понад 5000 таких вітрогенераторів у 12 країнах ЄС становить понад 25 ГВт. Нідерландами у Північному морі було запущено шельфовий вітропарк «Gemini», що складається зі 150 вітрових генераторів загальною потужністю 600 МВт. Японія планує масштабне розширення шельфової вітроенергетики, яка призведе до створення приблизно 10 ГВт потужностей до 2030 року.

Рис. 62. Офшорний вітропарк

До основних переваг вітрової енергетики відноситься:

-зменшення залежності від викопного палива, скорочення рівня викидів парникових та інших шкідливих газів, що сприяє боротьбі зі зміною клімату. Вітрогенератор потужністю 1 МВт скорочує щорічні викиди в атмосферу на 1800 тонн CO_2, 9 тонн SO_2, 4 тонни оксидів азоту;

-енергія вітру доступна практично в будь-якій країні й не залежить від коливання цін на викопне паливо. На відміну від сонячних батарей вітрогенератори можуть ефективно виробляти електроенергію в північних широтах;
-вартість вітрових електроустановок та витрати на їх встановлення і обслуговування в останні роки значно знизилися. Значною перевагою вітрових електростанцій над тепловими і атомними електростанціями є швидка віддача капітальних вкладень в будівництво вітроустановки.

Термін служби сучасних вітрових генераторів в залежності від умов експлуатації становить від 15 до 25 років. Термін окупності вітроенергетичної установки становить 3 - 8 років і залежить від місцевості, забезпеченості комунікаціями, потужності установки тощо,. Питомі капітальні витрати для станцій малої потужності знаходяться у межах $800-1000 за 1 кВт встановленої потужності і зменшуються зі збільшенням потужності установки.

Водночас вітрова енергетика має ряд недоліків:
-коефіцієнт використання встановленої потужності вітроелектростанцій (20%) із-за непостійності сили вітру є значно нижчим від показників АЕС (84%) та ГЕС (42%). Тобто вітрові електростанції в 2 - 4 рази менш продуктивні, ніж електростанції традиційних типів, і для отримання аналогічної кількості електроенергії їх потужність повинна бути в 2-4 рази більшою;
- вартість будівництва вітрової електростанції складає близько 1500—2000 доларів на 1 кВт встановленої потужності, що є близьким до витрат на будівництво АЕС і в кілька разів перевищує інвестиційні витрати на будівництво теплової електростанції;
- потужні вітрогенератори при роботі створюють інфразвуковийо шум інтенсивністю до 40 дБА (для порівняння, шум міських доріг 70-80 дБА) з частотами нижче за 16 Гц, що може створювати дискомфорт для людей та розполохувати птахів і звірів, порушуючи їх природний спосіб життя. Крім того лопаті вітрогенераторів відкидають тіні, що постійно мигтять;

- вітрогенератори потребують відведення значно більших земельних площ на одиницю виробленої електроенергії, порівняно з тепловими електростанціями;
- вітрогенератори потребують значних витрат конструкційних матеріалів, металоємність сучасного вітрогенератора потужністю 3 МВт сягає 350 т, що значно більше ніж витрачається при будівництві сонячних електростанцій;

- для збереження надлишкової енергії від вітрогенераторів необхідно передбачити в конструкції використання дороговартістних акумуляторів;
- не прогнозовано нерівномірна робота вітрогенератора в різні періоди часу викликає потребу використання дублюючих джерел енергії;
- необхідність проведення регулярної профілактики та обслуговування вітрогенераторів, які працюють в умовах сильних вітрових навантажень, атмосферних опадів і морозів;
- вітрогенератори, які розроблялися на 20-річний термін експлуатації, вимагають ремонту після 6-8 років роботи. Витрати по ремонту вітрогенераторів мають значну вартість через потребу в запасних частинах, необхідності застосування підйомних кранів, втрат вироблення електроенергії з - за простою під час проведення ремонтних робіт;
- вітрогенератори можуть заважати прийому сигналів телепередач на відстані до 1,6 км, оскільки частота обертання лопатей синхронна з частотою передавання телесигналів;
- біля кінців лопатей потужного вітрогенератора утворюється область зниженого тиску, і птахи, які потрапили в неї, отримують баротравми і гинуть.

Проблемним є питання утилізації лопатей з композиційних матеріалів, які вичерпали свій ресурс. До 2023 року в Європі виведення з експлуатації потребуватимуть 14 тисяч лопатей вітроенергетичних установок. Основною технологією, що застосовується для утилізації лопатей, є їх попереднє подрібнення та послідуюча спільна переробка в цементних печах, в ході якої склопластик і мінеральна сировина переходить у склад цементу.

Сучасна вітроенергетика є однією з найбільш перспективних галузей поновлюваної енергетики. Наразі вітроенергетика розвивається у більш ніж 30 країнах. Великі вітроенергетичні проекти реалізовують у Китаї, Швеції, Ірландії, Новій Зеландії, Швейцарії, Канаді, Німеччині, США, Іспанії, Данії. За даними Європейської вітроенергетичної асоціації, у 2020 році в Європі введено в експлуатацію 14,7 ГВт нових вітроенергетичних потужностей, що дозволяє отримувати 16% виробництва електроенергії в загальній енергетичній системі ЄС. При цьому в окремих країнах ЄС та Сполученому Королівстві цей показник значно вищий: Данія – 48%, Ірландія – 38%, Німеччина та Сполучене Королівство – 27%, Португалія – 24%, Іспанія – 22%. Європейський

Союз поставив собі за мету будувати протягом наступних п'яти років щорічно мінімум 15 ГВт нових вітроенергетичних потужностей.

Інвестиції у вітрову енергетику світу у 2018 році зросли на 3% до 128,6 млрд $. Загалом загальна потужність вітроенергетики в 2019 році становила понад 651 ГВт, що на 17 відсотків більше, ніж у 2018 році. При цьому розвиток сегменту офшорної вітрової енергетики показав рекордні показники.

У 2019 році в Китаї потужність вітрових електростанцій складала близько 200 ГВт. Встановлена потужність вітроенергетики США досягла 100 ГВт (для порівняння: встановлена потужність усіх АЕС США становить 99,95 ГВт). За даними Міністерства енергетики США, середні ціни на вітрову електроенергію у 2018 році становили нижче за два центи за 1 кіловат-годину. Сьогодні американська вітроенергетика створює 114 тис робочих місць.

В січні 2018 року Німеччина кілька годин перебувала в ситуації, коли потреби країни в електричній енергії на 95% забезпечувалися поновлюваними джерелами. Це стало можливим завдяки співпаданню сильного вітру, сонячної погоди та низького попиту на електроенергію у святкові дні.

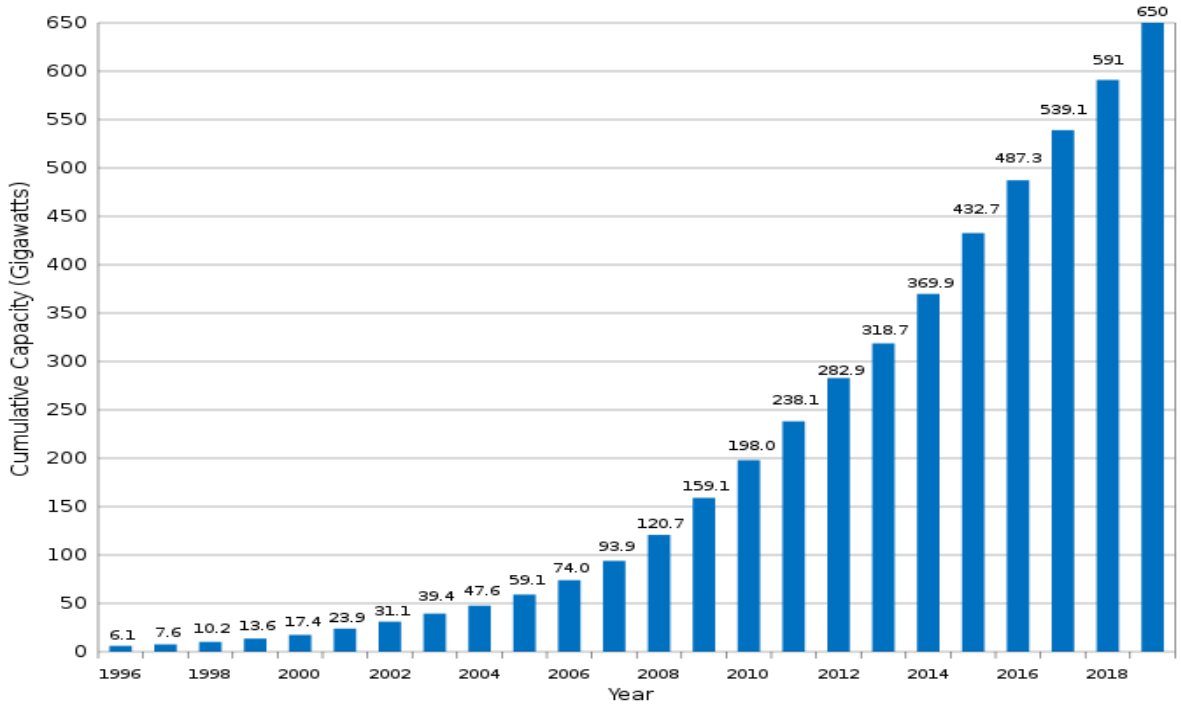


Рис.63. Динаміка розвитку світового виробництва електроенергії вітровими електростанціями

На даний момент найбільшими світовими постачальниками вітрової електроенергії є наступні вітропарки:

- вітропарк Alta Wind, Каліфорнія, США, виробничий 1,55 ГВт електроенергії. Комплекс продовжує розвиватися і вже до 2040 року планується вихід на потужність до 4,0 ГВт;
- вітроенергетичний комплекс Ganzu, розташований на заході Китаю, який складається з кількох гігантських вітропарків, сумарне виробництво електроенергії яких становить більше 5 ГВт. Відповідно до планів розвитку планується нарощування його потужностей до 20,0 ГВт;
- найбільший вітропарк Індії Джайсалмер, який генерує понад 1 ГВт електроенергії.

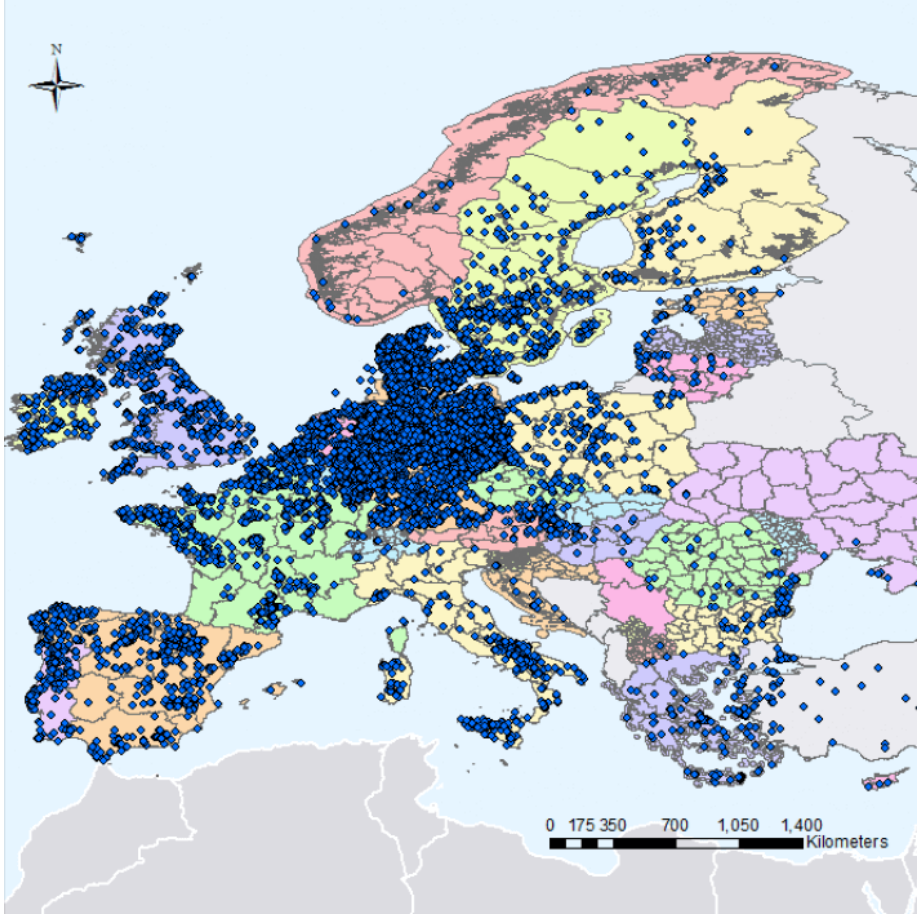


Рис. 64. Карта щільності розміщення вітрових генераторів у Європі

Розширення світового ринку вітроенергетики призвело до значного падіння цін на електричну енергію, що виробляється вітром. В Україні ціноутворення в електроенергетиці має значні відмінності від розвинутих країн. Відміна полягає в тому, що ціна основних фондів в тепловій електроенергетиці України спотворена через їх застарілість і

низьку залишкову вартість та не врахування їх екологічної шкоди. Як наслідок, ціна електричної енергії від теплових електростанцій України має нижчий рівень, які складаються для аналогічних електростанцій за кордоном. Через високу вартість імпортних вітрових енергетичних установок, ціна на вироблювану ними електроенергію в реаліях України є більш високою. Значне зростання будівництва вітроелектростанцій стало спостерігатися з 2009 року, після запровадження Урядом України «зеленого тарифу». Нині в Україні за "зеленим тарифом" працюють 16 вітроелектростанцій. Більшість з них розміщено у Запорізькій, Миколаївський, Херсонській областях. Галузь розвивається насамперед завдяки таким компаніям, як "Вітряні парки України", Konkord Group, Windkraft Ukraine, "ДТЕК Вінд Пауер".

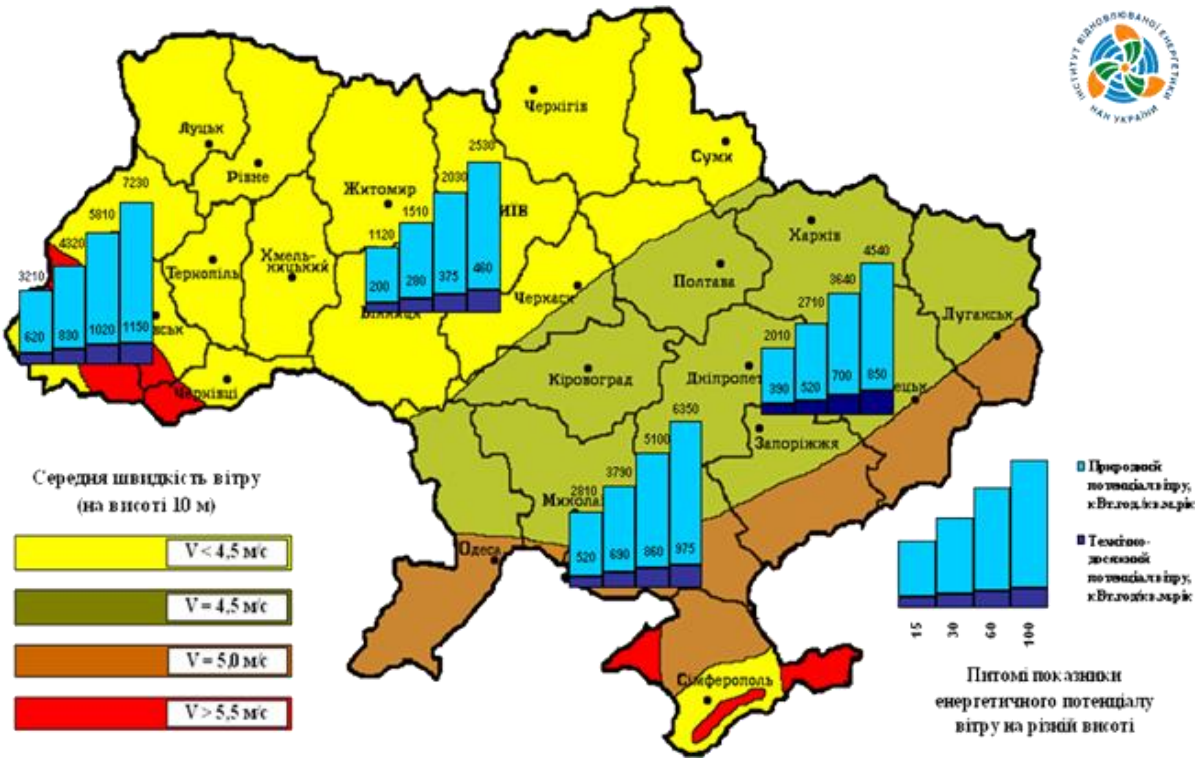


Рис.65. Мапа розподілу вітроенергетичного потенціалу України

Найбільш потужніми на Україні є наступні вітропарки:

- ДТЕК Ботієвська вітрова електростанція в Запорізькій області – введена в експлуатацію в 2012 - 2014 роках, має 65 вітротурбін Vestas, потужністю 3 МВт кожна. Потужність станції дозволяє забезпечити електроенергією південь Запорізької області;

- ДТЕК Приморська вітрова електростанція в Запоріжській області – введена в експлуатацію в 2019 році, має 52 вітротурбіни GE потужністю 3,8 МВт кожна;

- ДТЕК Орлівська вітрова електростанція в Приморському районі Запоріжської області – введена в експлуатацію в 2019 р, має 26 вітротурбін Vestas потужністю 3,8 МВт кожна.

Наразі компанія "ДТЕК Вінд Пауер" реалізує проєкту створення ДТЕК Тилігульська вітрова електростанція в Миколаївській області. Проєктна потужність вітроелектростанції складає 500 МВт. Введення вітропарку в експлуатацію планувалося до кінця 2022 року.

Близько 1,5 тисячі малих вітроагрегатів встановлені також у приватних господарствах України.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ТА КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. За яких умов будівництво вітрових енергетичних установок стає доцільним?
2. Опишіть характер залежності питомої потужності вітру від його швидкості.
3. Назвіть основні типи вітрових установок.
4. Назвіть основні переваги вітроустановок з вертикальною віссю обертання.
5. Особливості конструкції офшорних вітрових енергетичних установок.
6. Яким чином здійснюється регулювання потужності вітроколеса за умови зміни швидкості вітру?
7. Основні елементи вітроустановок з вертикальною віссю обертання, їх призначення.
8. Особливості будови автономної вітрової енергетичної установки.
9. В яких країнах світу найбільш розвита вітроенергетика?
10. Які перспективи розвитку вітроенергетики у світі?
11. Які вітропарки створено в Україні?
12. Які перспективи розвитку вітроенергетики в Україні?

5.ПЕРСПЕКТИВНІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

5.1. Воднева енергетика

Перспектива вичерпання викопних паливних ресурсів та завдання досягнення зниження викидів вуглекислого газу в атмосферу вбачають в активному розвитку водневої енергетики. Одним зі шляхів акумулювання електричної енергії, яка виробляється періодично генеруючими поновлюваними джерелами, є застосування технологій водневої енергетики.

Воднева енергетика - це напрям вироблення та споживання, який базується на використанні як засобу для акумулювання, транспортування та подальшого використання енергії населенням, транспортом та промисловістю.

Водень розглядається як заміна викопного палива, яке спалюється у двигунах внутрішнього згоряння і турбінах як основний метод перетворення хімічної енергії в кінетичну або електричну енергію. Виснажити запаси сировини для виробництва водню не можливо: на Землі він входить до складу води, якою покрито дві третини поверхні планети. Про доцільність використання водню у якості палива для транспортних засобів свідчить його висока енергомісткість: 1 кг водню при згоранні забезпечує виділення 33,5 кВт·год енергії, в той час як природний газ - 13,8 кВт·год. Температура горіння водню в кисневому середовищі перевищувати 2800°С, що на 1000°С вище, ніж температура горіння метану.

У природі відсутні родовища молекулярного водню. Сучасні технології дозволяють виробляти водень як з природного газу, так і з відновлюваних ресурсів (води). В залежності від рівня екологічності технології виробництва, яку застосовують при виробництві, водень поділяють на ряд сортів. Чим більше оксидів вуглецю виділяється при виробництві водню, тим менш екологічним вважається його сорт. Згідно існуючої класифікації кожному сорту водню, в залежності від екологічності виробництва, присвоєно для позначення відповідний умовний колір. На думку експертів, з точки зору економіки та енергетики, виробництво водню будь-якого кольору не має сенсу. Усі перетворення, які необхідно здійснити для його виробництва та використання, призводять до значних втрат енергії. Розширення

застосування водню повязують з рішенням проблеми мінливості генерації з поновлюваних джерел енергії.

Найбільш екологічним є велений водень, який отримують шляхом електролізного розкладання води. Суттєвим недоліком існуючих енергетичних установок, що використовують енергію від поновлюваних джерел, є нерівномірність їх роботи в умовах зміни погодних умов, змін пори року і часу доби. У випадку коли електрична енергія від поновлюваних джерел використовується безпосередньо для електролізу води, забезпечується періодичне утворення водню і його накопичення у сховищах. При цьому потреба у використанні вартісних акумуляторів та викиди вуглекислого газу в атмосферу взагалі відсутні. Водневі технології зберігання енергії наразі в рази програють в енергетичній та економічній ефективності системам на основі акумуляторних батарей та іншим доступним сьогодні технологіям. Мова йде як про їхню ефективність. Однак, вони мають свої переваги: можливість довготривалого зберігання енергії та високу енергоємність.

Застосування концентраторів теплової сонячної енергії також може забезпечити альтернативне виробництво зеленого водню шляхом розкладання води на кисень і водень за рахунок деструкції при високих температурах. При температурі вище 1730^0C відбувається розкладання води на водень і кисень. Базуючись на такому принципі, швейцарська компанія Clean Hydrogen Producers, розробила установку, яка впродовж світового дня спроможна виробляти до 10 кг водню.

Технологія виробництва жовтого водню базується на електролізному розкладанні води з використанням електричної енергії від атомних електростанцій. При використанні такої технології викиди вуглекислого газу відсутні, але метод отримання електроенергії не розглядається як достатньо екологічний.

Технологія виробництва бірюзового водню базується на розкладанні природного газу не водень і вуглець в процесі високотемпературного піролізу без утворення вуглекислого газу. Однак, така технологія базується на викорисанні викопного палива. Вуглець (сажа), який є побічним продуктом при виробництві бірюзового водню, може бути використаний у промисловості у якості технологічного палива.

Технологія виробництва сірого водню базується на взаємодії при високих температурах метану з водяною парою (паровий риформінг)

за реакцією $CH_4 + 2H_2O = CO_2 + 4H_2$. При цьому на 1 кг отриманого водню утворюється близько 9,3 кг вуглекислого газу. Фактично такий процес виробництва водню супроводжується викидами вуглекислого газу в тих же обсягах, що і при згорянні природного газу, і тому наносить значну шкоду довкіллю. В той же час, основна частина водню (близько 95 %) виробляється з природного газу і відноситься до сірого кольору. Розповсюдження процесу риформінгового виробництва сірого водню повязане з меншими у 4 - 5 разів затратами енергії, у порівнянні з виробництвом зеленого водню. Вартість водню, отриманого способом піролізу, знаходиться в межах 1,8-4,5 $/кг. Найближчим часом розраховувати на значне зниження вартості водню, отриманого з природного газу, з причини зростання ціни на сировину, не варто. Отриманий сірий водень переважно застосовують для виробництва аміаку (NH_3), який є сировиною для виробництва азотних мінеральних добрив. Також сірий водень використовується у технологічних процесах нафтопереробки та металургії.

Коричневий (чорний) водень виробляють з твердого викопного палива. Шляхом газифікації бурого вугілля утворюється синтез-газ, який являє собою суміш вуглекислого газу (CO_2), окису вуглецю (CO), водню, метану та етилену. Такий процес характеризується найбільш низькою екологічністю, порівняно з іншими методами виробництва водню.

На шляху розширення водневої енергетики залишаються не розв’язаними питання зниження собівартості виробництва водню, а також технологій його транспортування, зберігання і використання. Вартість сірого та жовтого водню в різних країнах коливається від 1 до 1,5 $ за 1 кг у США та на Середньому Сході, до 1,7 до 2,4 $ за 1 кг в країнах ЄС та Китаї. При цьому основну частину витрат складають витрати на природний газ, як сировину, що складає до 75% виробничих витрат, та на системи відділення з утвореної газової суміші вуглекислого газу. Вартість зеленого водню на сьогодні складає від 2,5 до 6 $ за 1 кілограм і визначається насамперед вартістю електроенергії, яка в різних країнах складає від 0,02 до 0,07 $ за кВт·год. Конкурентноздатним виробництво зеленого водню стає лише цінах на електроенергію від 0,03 – 0,045 $ за кВт·год.

Вважається, що виробництво «зеленого» водню в майбутньому стане найбільш ефективним видом палива, яке виробляється шляхом утилізації надлишкової електричної енергії від поновлюваних джерел.

Зелений водень планується широко використовувати як паливо для транспортних засобів, взамін викопного палива для металургійної промисловості, у якості сировини для хімічної промисловості, а також енергоносія для комунального господарства. В 2019 році світовий попит на водень склав близько 600 млрд $м^3$. До 2030 року за різними прогнозами слід очікувати зростання річного попиту до 100-114 млн т водню за собівартістю виробництва близько 2 $ за 1 кг.

У 2020 році Європейська Комісія оприлюднила стратегію досягнення екологічно чистого енергетичного майбутнього, покладаючи великі надії на збільшення використання водню в різних секторах економіки. Відповідно до національної програми водневої енергетики Німеччина до 2030 року планує побудовати електростанції потужністю в 20 ГВт, призначені для виробництва«зеленого» водню на базі електричної енергії від поновлюваних джерел Нарощування. виробництва зеленого водню в Європі планується за рахунок використання енергії вітру, жовтого водню від енергії наявного парку атомних електростанцій. Розширення виробництва водню в Україні вимагає значних капіталовкладень і може бути реалізованим лише за сприяння Світового банку.

Використання способу виробництва водню методом електролізу за рахунок використання надлишкової електроенергії від поновлюваних джерел енергії може допомогти уникнути перегріву атмосфери нашої планети. Для проведення процесу електролізу у якості сировини використовують воду а у якості обладнання - електролізер. В процесі електролізу внаслідок підведення через електроди постійного електричного струму, вода розкладається на кисень (O_2) і водень (H_2). Для одержання 1 кілограму водню методом електролізу необхідно витратити приблизно 50 кВт-годин електроенергії, що в енергетичному еквіваленті майже вдвічі більше ніж при добуванні водню методом піролізу природного газу.

Водень у газоподібному стані має низьку щільність енергії за об'ємом. Для використання водню у якості палива для транспортних засобів, водень повинен бути зрідженим або знаходитись під тиском. Процес зрідження є енергоємним, оскільки містить стадії охолодження та стискання. На виробництво та стиснення кілограму водню необхідно додатково витратити значну кількість енергії – до 60 кВт·год.

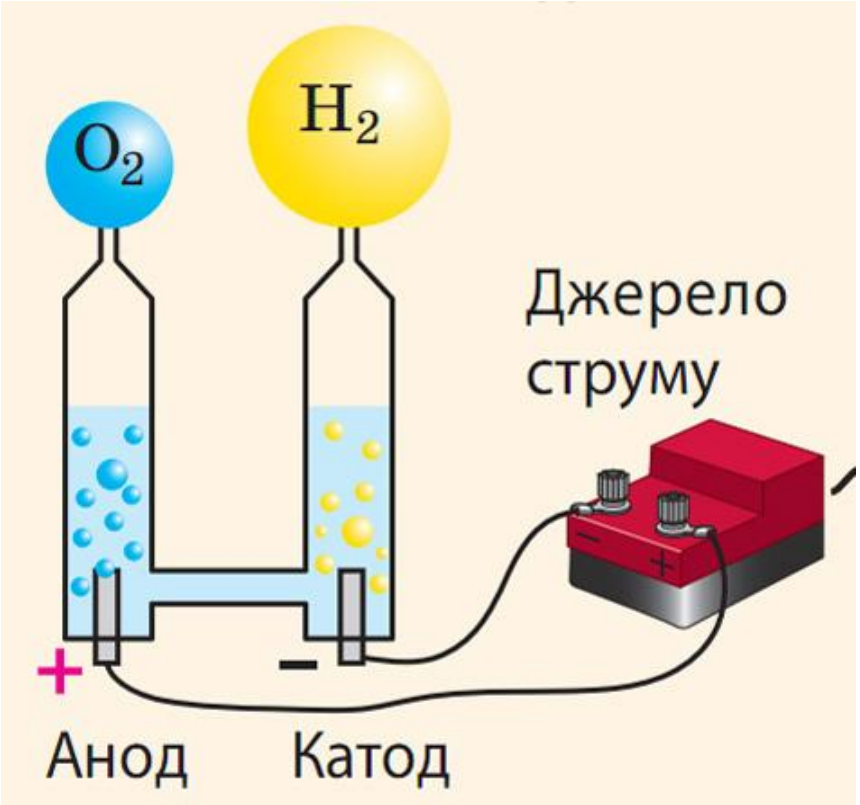


Рис. 66. Схема виробництва водню методом електролізу

Найбільш часто водень зберігають у вигляді стиснутого газу під тиском 35 та 70 МПа. Водень є найлегшим газом з найменшим розміром молекул, що викликає додаткові вимоги до щільності матеріалів резервуарів і трубопроводів, якими його транспортують. Через летючість і малу атомну масу він вислизає через найменші щілини та навіть дифундує крізь металеві стінки ємностей. Балони, які виготовлені з сучасних композитних матеріалів, дозволяють зберігати водень під тиском до 100 МПа.

Перспективним методом є кріогенне зберігання водню в рідкому стані. Щільність енергії зрідженого водню за об'ємом майже в чотири рази нижча, ніж щільність бензину. При криогенному зберіганні водень займає значно менший обєм, але зрідження вимагає великих витрат енергії для охолодження до температури -253^{0}С, що на 90^{0}С нижче, ніж необхідно охолоджувати для зрідження метан.

Інфраструктура водневої енергетики повинна включати промислову трубопровідну систему, призначену для транспортування водню, і водневих заправних станцій вздовж транспортних магістралей. Трубопровідний транспорт застосовується переважно для поставок водню на промислові потреби. На сьогоднішній день у світі

експлуатується більше 5 тис км трубопроводів, по яким постачається водень. Однак, при контакті з воднем відбувається окрихчення та втрата характеристик міцності сталевих труб. Це здійснює руйнівний вплив на матеріал труб, з'єднань та ємностей для зберігання. Транспортування водню вимагає використання дороговартістних труб з спеціальним покриттям на внутрішній поверхні.

Рис. 67. Станція по виробницву зеленого водню

Для споживачів, які розташовані на віддаленні від водневої трубопровідної системи, постачання водню здійснюється в спеціальних цистернах із стисненим або зрідженим воднем. Однак найбільш ефективним є організація виробництва водню безпосередньо біля місця використання.

За характеристиками вибухо- та пожежобезпеки водень погано задовольняє умови використання в наземному транспорті. У поєднанні з повітрям водень утворює вибухову суміш – гримучий газ. Температура воднево-кисневого полум'я складає до 2800^{0}С. При цьому температура спалаху водню нижча за природний газ (відповідно 530 та 650^{0}С).

Перспективним напрямком, що підвищує енергетичні та екологічні показники, при зберігання і транспортуванні є додавання водню до природного газу. Для побутових газових приладів (газових плит та колонок), з точки зору безпеки, максимально допустимою може бути частка водню в природному газі 30%. Зберігання суміші водню з

природним газом потребує меншої кількості дороговартістних матеріалів, порівняно з виготовленням сховищ на основі електричних акумуляторних батарей. Ряд країн планують використовувати існуючі газотранспортні мережі для транспортування не чистого водню, а сумішей природного газу з воднем.

У традиційних двигунах внутрішнього згорання використання водню у якості палива замість бензину чи природного газу є проблематичним. Використання у якості автомобільного палива балонного водню знижує ефективність двигуна внутрішнього згорання приблизно на 20 %. Водень є активним хімічним реагентом і вступає у хімічну реакцію з металом, з якого виготовлена камера згоряння і поршень, що приводить до швидкого охрупчування цих матеріалів. У випадку виникнення в паливній системі витоку водню, при його контакті з розпеченими деталями, відбудеться катастрофічний вибух газової суміші.

Рис. 68. Воднева автозаправочна станція

Сучасні автомобілі, які використовують водень у якості палива, будуються за схемою, яка є принципово відмінною від транспортних засобів з двигунами внутрішнього згорання. За своєю суттю водневі автомобілі є електромобілями, в яких електродвигун отримує енергію

не від акумулятора, а від електрогенеруючих установок, які виробляють з водню електричну енергію. Такі водневі електрохімічні генератори, які розміщуються безпосередньо на автомобілі, називаються паливними елементами. Паливний елемент (англ. fuel cell) - електрохімічне джерело струму, яке перетворює хімічну енергію палива на електричну енергію прямим методом. Електрорушійна сила виробляється в результаті електрохімічних процесів між воднем та киснем всередині паливних елементах. Під час таких реакцій частина енергії перетворюється на тепло, а потік електронів у зовнішньому ланцюгу створює постійний електричний струм, що використовується для виконання роботи електричним двигуном. Процеси, що відбуваються в паливних елементах, за своєю природою є зворотними до процесу електролізу води.

Паливна комірка являє собою елементарну камерупаливного елементу, в якій розміщено два електроди: катод і анод. Електроди виготовляють з вуглецевого волокна з високорозвиненою поверхнею, яка покрита тонким каталітичним шаром платини або паладію. Електроди в паливній комірці розділяються мембраною товщиною в кілька десятків мікрометрів з нафіону - сірковмісного полімеру. Мембрана відокремлює дві камери, в які роздільно подається водень з боку анода і кисень у складі повітря з боку катода. Перетворення хімічної енергії водню на електричну енергію відбувається завдяки особливості будови мембрани, яка є провідною для протонів і непровідною для електронів. При контакті з шаром каталізатора на аноді молекулярний водень дисоціює з втратою електронів:

$$2H_2 = 4H^+ + 4e^-.$$

Мембрана виконує роль електроліта і дозволяє проходити з анодної камери в катодну лише протонам, які утворюються в результаті розщеплення водню. При підключенні електродів паливного елемента до електричної мережі автомобіля забезпечується генерація електричного струму за рахунок руху електронів через ланцюг навантаження від анода до катода. Це створює умови для протікання хімічної реакції, в результаті якої відбувається з'єднання молекул кисню та іонів водню. У другій камері на каталізаторі катода молекула кисню з'єднується з електроном (який підводиться із зовнішніх комунікацій) і протоном, що прийшов через мембрану з утворенням молекули води:

$$O_2 + 4H^+ + 4e^- = 2H_2O.$$

Таким чином, при роботі паливного елемента в атмосферу у повітря виділяється лише водяна пара, яка не завдає шкоди навколишньому середовищу. В процесі роботи одиничний паливний елемент забезпечує створення електрорушійну силу близько 1 вольт. Для досягнення необхідної потужності паливні елементи з'єднуються в збірки, а потім в окремі функціональні модулі. Протікання електрохімічних реакцій в зоні мембрани супроводжується виділенням теплової енергії і підвищенням температури до 80°С. Для охолодження паливних елементів застосовують водяне охолодження по спеціальним каналам, а при невеликих потужностях здійснюють інтенсивний обдув повітрям.

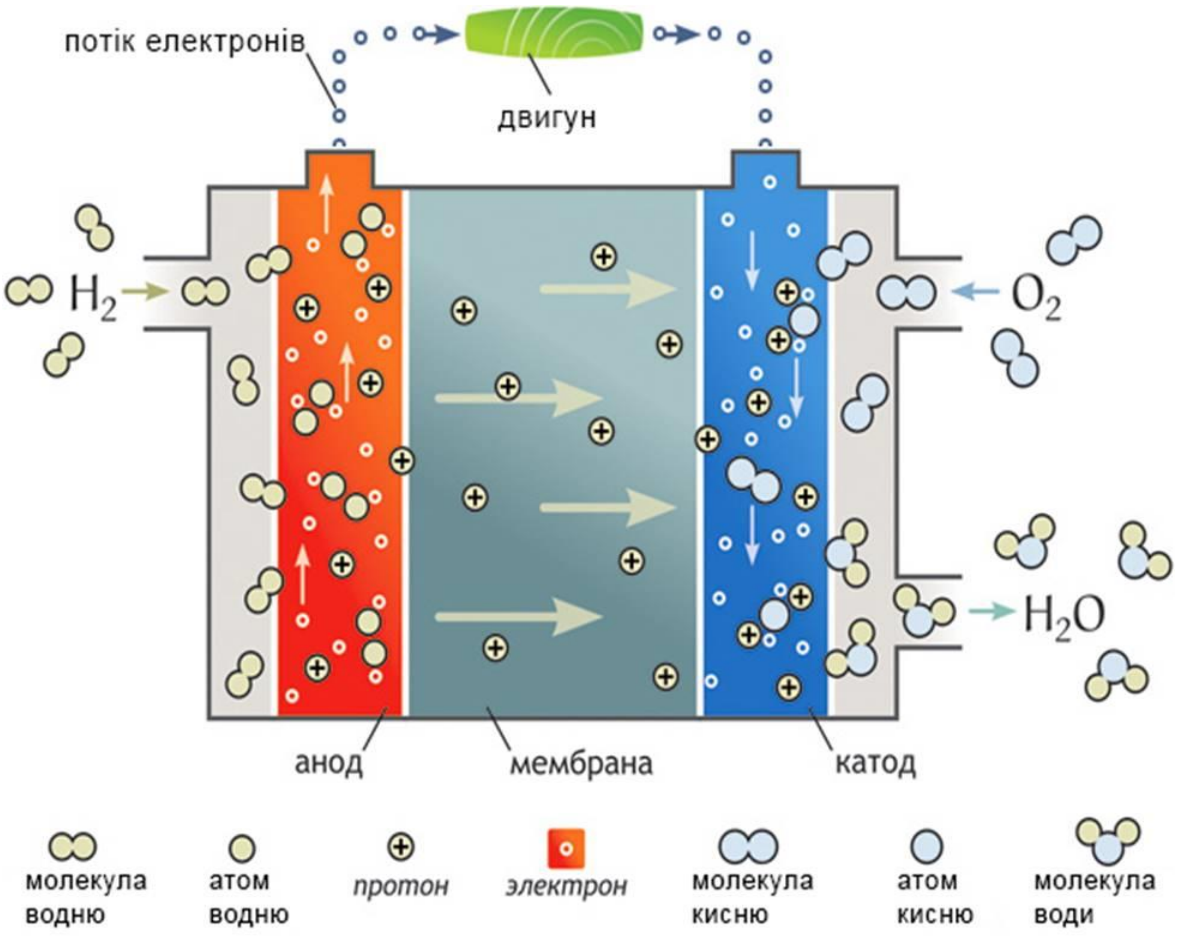


Рис.69 Схема роботи водневого паливного елемента

В ролі електроліта в паливних елементах можуть також використовуватися керамічні матеріали (наприклад, діоксид цирконію), які є проникними для іонів кисню. Такі паливні елементи можуть працювати при підвищених температурах (700 - 1000°С) і застосовуються в основному для стаціонарних установок потужністю

понад 1 кВт. Твердооксидні паливні елементи на відміну від паливних елементів з протонно-обмінної мембраною не потребують використання платини у якості каталізатора.

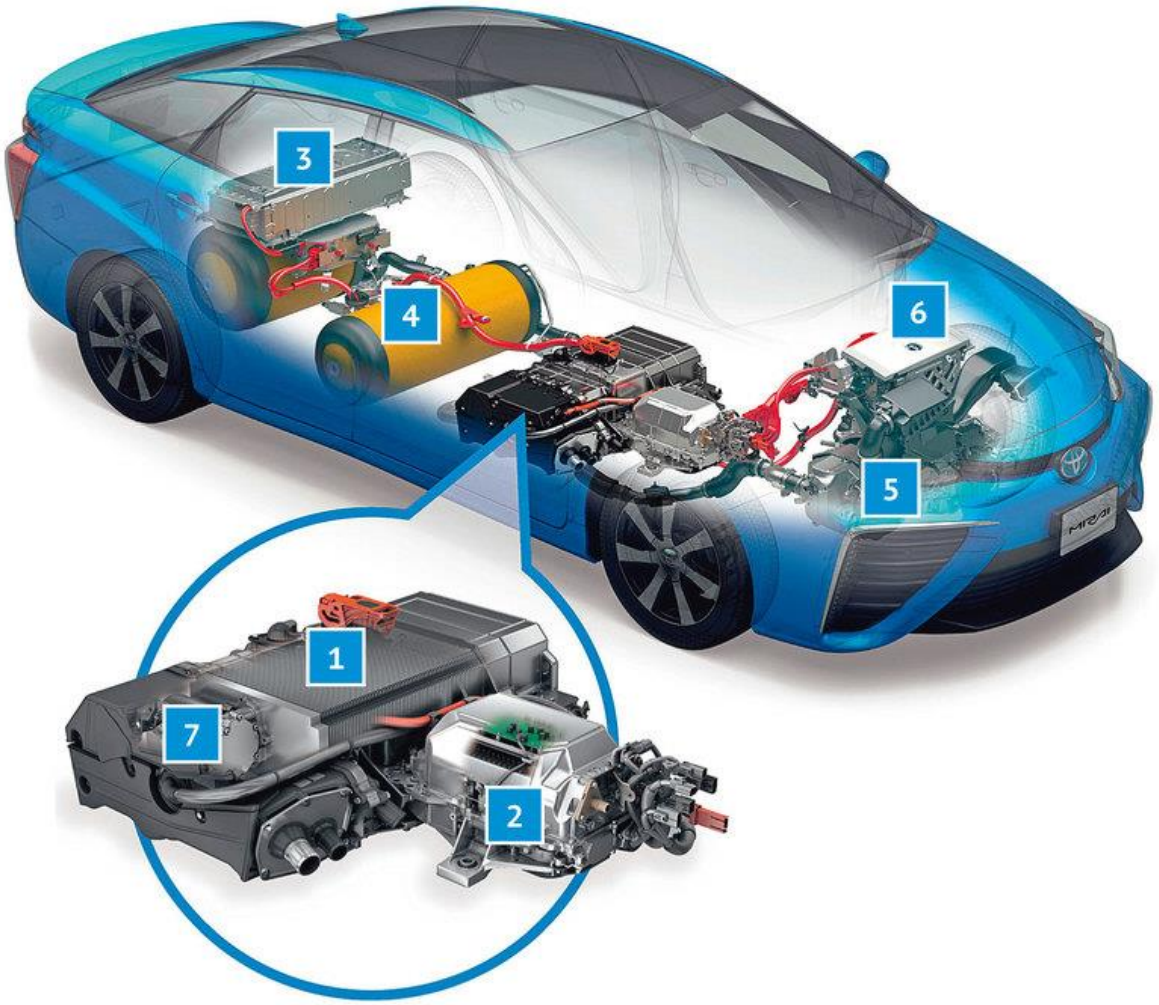


Рис.70. Будова автомобіля моделі Toyota Mirai з водневими паливними елементами: 1- блок із 370 водневих паливних елементів потужністю 124 кВт; 2- перетворювач постійного струму, що виробляється паливним елементом, у змінний струм з підвищенням напруги до 650 В; 3 - нікель-метал-гідридний акумулятор для запасання енергії, що рекуперується при гальмуванні і при рушанні з місця живить електричний двигун додатково до паливного елемента; 4 - балони об'ємом 60 л для водню під тиском 700 атм; 5 - електродвигун змінного струму з максимальною потужністю 113 кВт (153,6 л.с.); 6 - блок управління керує роботою паливного елементу, а також процесом заряджання/розрядження акумуляторної батареї; 7 – регулятор подачі водню до паливного елемента.

Паливні елементи при роботі не створюють шуму, менше нагріваються. Такі джерела електричного струму легші, мають менші розміри, порівняно з потужніми тяговими акумуляторними батареями. Крім того, паливні елементи мають високу стійкість до відмови за рахунок відсутності рухомих частин механізмів, не потребують технічного обслуговування. Термін їх експлуатації досягає 15 років, що значно більше порівняно з акумуляторними батареями. Вартість паливних елементів досить висока: 1 кВт встановленої потужності в кращих зразках — це 1–3 тис. дол. США.

Паливні елементи, в силу низької швидкості протікання хімічних реакцій, мають значну інертність і для роботи в умовах пікових або імпульсних навантажень вимагають певного запасу потужності або застосування інших технічних рішень (суперконденсатори, акумуляторні батареї). Від початку процесу включення автомобільної системи паливних елементів до вироблення енергії має пройти близько 2 хв. Максимальна віддача установки починається після прогріву системи впродовж 15 хвилин.

Серед переваг водневих паливних елементів відзначаютьь високий коефіцієнт корисної дії, який досягається завдяки прямому перетворенню енергії водню на електроенергію. У традиційних двигунах внутрішнього згорання паливо спочатку спалюється, продукти згорання обертають вал двигуна, який, у свою чергу, обертає електричний генератор. В результаті коефіцієнт корисної дії сучасних двигунів внутрішнього згоряння знаходиться на рівні 12-15%, тоді як у існуючих паливних елементів цей показник досягає 60-80%.Однак, якщо аналізувати повний енергетичний ланцюг водневого елемента, то виявляються значно нижчі показники коефіцієнту корисної дії процесу в цілому. Розглянемо баланс енергетичних витрат автомобілів з паливними елементами. Вважаємо, що електрична енергія, яку використовують в процесі електролізу для отримання з води водню, виробляється вітровим генератором. Енергоефективність цього процесу становить близько 75%, відповідно чверть виробленої електроенергії автоматично втрачається. Отриманий водень піддається на компресорних станціях стисканню та транспортується до сховища. На це витрачається близько 10% виробленої енергії. Водень, який поступає до паливного елемента перетворюється в електроенергію з коефіцієнтом корисної дії 60%. Електроенергія, яка використовується у електродвигуні для приведення автомобіля в рух,

має біля 95% ефективності. У підсумку сумарний коефіцієнт корисної дії складе лише 38 - 40%.

В той же час, у електромобілях із акумуляторною батареєю енергія передається безпосередньо від джерела до електродвигуна. При передачі через електромережу електроенергії від вітрового генератора до споживача втрачається лише 5%. Під час зарядки акумулятора додатково втрачається 10% енергії, а також 5% під час використання електроенергії для руху автомобіля. Таким чином загальний коефіцієнт корисної дії знижується до 80 %. Це свідчить, що використання водневих паливних елементів потребує витрат подвійної кількості енергії.

Головною проблемою сучасних водневих автомобілів залишається їхня висока пожежо - та вибухонебезпечність. Використання паливних елементів на транспортних засобах ускладнюється відсутністю інфраструктури водневих автозаправочних станцій.

У 2021 році досягнуто рекордних обсягів продажів легкових електромобілів на водневих паливних елементах. Пропозиція на глобальному ринку таких автомобілів поки є обмеженою - це всього дві моделі: Toyota Mirai і Hyundai Nexo. Глобальний збут автомобілів Toyota на паливних елементах зріс утричі, з 1770 машин у 2020 році до 5918 у 2021 році. Лідерами у розширенні цього парку є США, Китай, Японія та Республіка Корея. Зростання продажів водневих автомобілів було досягнуто багато в чому завдяки знижкам виробників та державним субсидіям. Теоретичний запас ходу на 5 кг водню автомобіля Toyota Mirai становить 500 км, фактичний близько 350 км.

На початку 2017 року Європейський Союз розпочав реалізацію проекту JIVE («Спільна ініціатива з водневих транспортних засобів у Європі»), головна мета якого - розширення комерційного застосування автобусів на водневих паливних елементах. У 2018 році потяги на водні розпочали регулярні пасажирські перевезення у Німеччині. Реалізація цього проекту потребує розвитку загальної інфраструктури, пов'язаної з водневим ринком, збільшення кількості заправних станцій, навчання населення правилам поводження з воднем, а також обслуговування транспортних засобів, що вже використовуються.

На сьогодні у сценаріях перебудови транспортної енергетики найбільш перспективним напрямом до 2040 року вважається вдосконалення акумуляторних батарей для електромобілів, а широке застосування паливних елементів, при відсутності революційних конструктивних рішень відкладається на більш далеку перспективу.

5.2. Електромобілі

Зростання інтересу до електротранспорту в 70-х роках XX століття в період енергетичної кризи виник на тлі чотириразового зростання цін на нафту. Такен зростання цін миттєво викликало початок робіт по пошуку альтернативи бензиновим автомобілям. Після 1982 року інтерес до електромобілів знову став знижуватися через зміну кон'юнктури на нафтовому ринку, але з часом цивілізація знову стала повертатися до такого транспорту у звязку зі зростанням екологічних проблем забруднення навколишнього середовища від автомобільних вихлопів на території міст.

Сьогодні світ активно рухається в напрямку розширення використання транспорту, який приводиться у дію електричною енергією. Саме електротранспорт, за умови повного переходу на виробництво електроенергії з поновлюваних джерел, вважається найбільш енергоефективним, економічно доцільним та кліматично сталим рішенням у порівнянні з іншими технологіями.

Електромобіль – це автомобіль, що приводиться в рух одним або декількома електродвигунами з живленням від акумуляторів. Акумуляторна батарея вимагає регулярної зарядки, яка може здійснюватись від зовнішніх джерел струму, шляхом рекуперації енергії гальмування, а також від генератора на борту електромобіля. До підвидів електромобілів відносяться електрокари (вантажні транспортні засоби для руху в закритих приміщеннях) і електробуси (автобуси з акумуляторною тягою).

Історично електромобілі з'явилися раніше, ніж автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння. На Першій міжнародній виставці електрики у Парижі у 1881 році було презентовано триколісний електромобіль Г. Трове, який розвивав швидкість 12 км/год при дальності ходу до 16 км. Вже багато років електродвигуни приводять в дію трамваї, тролейбуси, навантажувачі на складах та локомотиви.

На початку 90-х років штат Каліфорнія був одним з найбільш загазованих регіонів США. Каліфорнійським Комітетом Повітряних Ресурсів було прийнято рішення - у 1998 році 2 % із автомобілів, які продаються у Каліфорнії, не повинні створювати вихлопів, а до 2003 року ця цифра мала зрости до 10 %. Компанія General Motors однією з перших відреагувала на такий суспільний запит ринку і у 1996 році почала серійний випуск моделі EV1 з електричним приводом. Такі електромобілі були призначені для широкого використання

населенням шляхом їх передачі в лізинг. Всього з 1997 року в Каліфорнії було продано близько 5500 електромобілів різних виробників. За відгуками споживачів, електромобілі користувалися зростаючим попитом, і наступним кроком мав стати перехід до їх масового виробництва. Однак, авто- і нафтовиробники домоглися проведення законодавчих рішень щодо стримування розвитку електротранспорту, вбачаючи небезпеку скорочення виробництва автомобілів з двигунами внутрішнього згорання. У 2002 році, коли сплив термін лізингу електромобілів EV1, компанія General Motors, всупереч своїм попереднім зобовязанням, відмовилась продавати електромобілі тим користувачам, які були готові викупити машини. Натомість майже всі передані електромобілі були вилучені у користувачів і утилізовані, а промислове виробництво і продаж їх в США було повністю припинено.

Загроза вичерпування запасів нафти та пошук шляхів скорочення викидів парникових газів стали стимулом для відновлення популярності електромобілів. Електромобілі вважаються ідеальним транспортом майбутнього, адже вони не вимагають стандартного пального, а також набагато менше шкодять довкіллю. У масовому виробництві сьогодні найбільш широко представлена лінійка легкових електромобілів та міського електротранспорту. Дослідники та виробничники активно працюють над вдосконаленням конструкції електромобілівя. Будова електромобілів за останні роки зазнала суттєвих удосконалень, що дозволило здійснити перехід до їх серійного виробництва. Ріст продажів електромобілів досягається, переважно, завдяки механізмам державного стимулювання. Однак експерти автомобільного ринку очікують, що через 10-15 років розвиток технологій дозволить електромобілям конкурувати на рівних з автомобілями на бензині і дизельному паливі. Світові продажі електроавтомобілів у 2021 році зросли більш ніж удвічі - з 3,1 млн. до 6,6 млн. штук. Їхня частка на ринку зросла з 4,1% у 2020 році до 8,6% у 2021-му.

Головним споживачем електромобілів на сьогодні є Китай. У 2021 році тут було продано 3,4 млн електромобілів. Другим за обсягом ринком для електромобілів є країни Європи, де у 2021 році було зафіксовано річне зростання їх продажів на 70%.

Найбільший відсоток електромобілів серед загальної кількості придбаних автомобілів має місце у Норвегії (до 20%). Це досягнуто завдяки значним компенсаціям на придбання електромобілів. Так, у

Норвегії власників електромобілів звільнено від сплати щорічного податку на транспорт, користування платними дорогами, паромними переправами, а також більшостю паркувань. Як результат, у Норвегії частка електрифікованих моделей досягає 72%, у Швеції – 45%, у Нідерландах – 30%, у Німеччині – 25%, а у Франції та Великобританії – по 15%. Франція і Великобританія декларували, що до 2040 року ці країни планують відмовитися від продажу автомобілів з бензиновими і дизельними двигунами. Згідно з планами, у ряді країн ЄС до 2030 року у містах планується здійснити повну заміну автобусів на електротранспорт.

За період з січня до жовтня 2021 року в Україні було зареєстровано близько 7 тис електромобілів, що на 11% більше, ніж за аналогічний період 2020 року.

Сучасні електромобілі мають просту, досконалу і надійну конструкцію, яка містить мінімальну кількість рухомих деталей та традиційних вузлів. Важливою особливістю класичного електромобіля – відсутність диференціала, коробки передач, передавальних пристроїв із шестернями. Енергія від електродвигуна передається без проміжних вузлів безпосередньо до коліс автомобіля. Завдяки цьому витрати на обслуговування та ремонт у власників електромобілів помітно зменшилося.

Зовнішній вигляд, кузов і салон електромобіля, а також вантажопідйомність мало чим відрізняються від традиційних транспортних засобів, які обладнані двигунами внутрішнього згоряння. В той же час, те місце, де у традиційного автомобіля розміщується двигун внутрішнього згорання, у електромобіля в значній мірі трансформовано і цей простір може використовуватися більш ефективно. Основними конструктивними елементами електричного автомобіля є акумуляторна батарея, електродвигун, трансмісія, бортовий зарядний пристрій, інвертор, електронна система управління.

Електромобілі попередніх поколінь використовували акумуляторні свинцеві кислотні батареї, які до цього часу широко використовуються для живлення стартерів при запуску двигунів внутрішнього згорання. Свинцеві акумулятори також використовують для приводу невеликих електромобілів спрощеної конструкції (електрокарів, електронавантажувачів тощо), які широко застосовуються для перевезення вантажів на вокзалах, в цехах і великих магазинах. У цьому випадку всі недоліки, зокрема, малий запас ходу, висока

собівартість і маса, перекриваються перевагами: відсутністю шкідливих викидів і шуму, що принципово важливо для роботи транспортних засобів в закритих приміщеннях.

Тривалий час вважалося, що найбільший недолік використання електродвигуна – його залежність від акумуляторів, які швидко виходять із ладу. Наразі це втратило актуальність. Сучасні акумуляторні батареї електромобілів, які представлені в масовому виробництві, мають гарантійні зобовязання пробігу електромобілів до 150 - 200 тис. км. Перестає бути актуальним і аргумент, що автомобілі з електродвигунами суттєво поступаються бензиновим за потужністю.

Одним з основних елементів електромобіля є електродвигун, який створює необхідний для руху крутний момент. У порівнянні з двигуном внутрішнього згорання електродвигун має вищу ефективність та менші втрати енергії. Коефіцієнт корисної дії електродвигуна складає 90% проти 25 -35%, характерних для двигунів внутрішнього згорання. В приводах електромобілів у якості тягових електродвигунів найбільш широко використовують трифазні електричні машини змінного струму потужністю до 200 кВт. Трифазні електродвигуни якісно вирізняються такими технічним характеристиками як потужність, перевантажувальна здатність, частота обертання на холостому ходу. Електричний струм, який надходить від акумуляторної батареї, подається на контролер і керовано надходить до електродвигуна. Регулювання кількості енергії, що подається на двигун, здійснюється за допомогою педалі газу - при натисканні на неї, відбувається формування відповідного сигналу. Зіставляючи ці дані з даними інших систем і датчиків, контролер регулює потужність, що подається на силовий агрегат. До основних переваг електродвигунів відноситься:

- забезпечення досягнення максимального моменту у всьому діапазоні швидкостей;
- можливість роботи у прямому і зворотних напрямках без застосування додаткових механічних пристроїв;
- компактність, мала вага у порівнянні з двигунами внутрішнього згорання, низький рівень шуму при роботі;
- простота конструкції, відсутність потреби використання системи водяного охолодження;
- можливість електродвигуна працювати у режимі генератора, з можливістю рекуперації енергії при гальмуванні гальмуванні;
- екологічність роботи та довговічність.

На ряді сучасних моделей електромобілів електричні двигуни монтуються безпосередньо всередині коліс, що забезпечує передачуи крутного моменту без використання зубчастого редуктора. При цьому регульована передача крутного моменту безпосередньо на конкретне колесо поліпшує керованість транспортного засобу та підвищує надійність роботи ходдової частини електромобіля.

Рис.71. Двигун-колесо електромобіля

Ряд вузлів і агрегатів електромобілів мають певні особливості.

1) Кузов рамної конструкції, переважно виготовляється з алюмінію з ребрами жорсткості, що забезпечують безпеку під час зіткнення. Кузов електромобіля відрізняється наявністю відсіку для акумуляторної батареї, яка найчастіше розташовується в днищі автомобіля. При цьому завдяки спрощеній конструкції в електромобілі для водія та пасажира залишається більше простору у салоні при тих же зовнішніх габаритах, що і у автомобілів з двигунами внутрішнього згорання.

2) Акумуляторна батарея з робочою напругою понад 400 В є найбільш вартістним компонентом системи. За значимістю вона відіграє таку ж роль, як бензобак для двигунів внутрішнього згорання. Електромобіль рухається рахунок електричної енергії, що отримана від електромережі під час зарядки і зберігається в акумуляторній батареї,. Акумулятори найбільш ефективно працюють під час руху електромобіля на

постійних швидкостях та під час плавних розгонів. У разі різкого розгону тягові акумуляторні батареї втрачають значну кількість енергії. Для збільшення пробігу електромобіля викорстовують спеціальні стартові системи на основі потужних електричних конденсаторів.

3) Наявність бортоого зарядного пристрою, який надає можливість заряджати акумуляну батарею від побутової електричної мережі.

4) Трансмісія являє собою одноступінчастий редуктор, що передає обертання від ротора електродвигуна на ведучі колеса. За допомогою трансмісії плавно змінюють швидкості обертання і обертові моменти у всьому робочому діапазоні швидкостей і тягових зусиль.

5) Інвертор - електронний пристрій, який перетворює напругу постійного струму від акумуляторної батареї на трифазну напругу змінного струму, необхідну для живлення електродвигуна.

6) Електронна система керування, яка відповідає за забезпечення функцій, пов'язаних з енергозбереженням, безпекою та комфортом (оцінка заряду акумуляторної батареї, оптимізація режимів руху, регулювання тяги, контроль за використаною енергією та за напругою, управлінням прискоренням та рекуперативним гальмуванням).

Рис. 72. Розміщення електродвигуна і платформи акумуляторної батареї на електромобілі

Рис.73. Проведення зарядки акумуляторної батареї електромобіля від електричної мережі

Основним типом електричних акумуляторів, які використовуються в сучасних електромобілях є літій-іонні акумулятори. Свою назву цей вид акумуляторів одержав через те, що електричний струм в них утворюється завдяки переносу від анода до катода іонів літію у складі різних сполук. Вибір літію для використання у таких акумуляторах пов'язаний із високою здатністю цього хімічного елемента віддавати електрони. Відповідно, літій має найвищий електрохімічний потенціал і забезпечує найвищу енергетичну ємність на одиницю маси.

Спроби розробити літієві акумуляторні електричні батареї проводилися ще з 70-х років XX ст., але були невдалими через неможливість забезпечення потрібного рівня безпеки при їх експлуатації - літій занадто активний хімічний елемент і бурхливо реагує при контакті з вологою. Ще у 1980-х роках промислові літієві акумуляторні батареї представляли собою вибухо- і вогненебезпечні вироби із середньою кількістю до 50 циклів «заряд - розряд». Прогрес в галузі електроніки посилив потребу в ємних і легких джерелах струму, що перезаряджаються.

.Прогрес в галузі електроніки посилив потребу в енергоємних і легких акумуляторах. У 1992 році компанія Sony представила світові нове

бачення конструкції акумулятора на основі літію. У розроблених акумуляторах металевий літій було замінено на його більш безпечну іонну форму. У таких акумуляторах роль катода виконувала мідна фольга у формі стрічки з нанесеним тонким шаром графіту, а роль аноду – стрічка з алюмінієвої фольги з нанесеним шаром оксиду літію. Як похідні літію в таких акумуляторах також використовуються сполуки: $LiCoO_2$, $LiMn_2O_4$, $LiFePO_4$, $LiNiO_2$, LiC_6, $LiMnO_2$, $Li_4Ti_5O_{12}$ тощо.

У 2017 році було продано майже 1,5 млрд смартфонів, джерелами живлення яких є літієві акумулятори. Сьогодні, не тільки смартфони, але й ноутбуки, планшети та цифрові камери живляться від літієвих акумуляторів. Останнім часом, спостерігається бум виробництва портативного електричного транспорту (гіроскутери, електричні самокати), які приводяться в дію енергією від літієвих акумуляторів.

У якості електроліту використовують органічні солі літію, якими просичений пористий розділяючий токопровідний сепаратор. Електроліт, який знаходиться між електродами, служить бар'єром, що пропускає крізь себе лише іони літію. Електрони не можуть проникати крізь такий електроліт і рухаються зовнішнім ланцюгом через джерело живлення, яке виконує роль зарядного пристрою акумулятора. Одночасно позитивні іони літію проходять крізь електроліт до катода і закріплюються у шаруватій структурі графіту.

При підключенні навантаження до клем зарядженого літій-іонного акумулятора, відбувається зворотний процес - іони літію через електроліт повертаються до свого початкового стану.

Стрічки з електродів і сепаратора, що розміщується між ними, згортаються у рулон і поміщаються в циліндричну герметичну оболонку зі сталі або полімерного матеріалу з розміром батарейок типу ААА. При цьому електроди приєднуються до струмознімачів. Конструкція сучасних літій - іонних акумуляторів відрізняється абсолютною герметичністю, що не допускає витікання рідкого електроліту та потрапляння в акумулятор кисню і вологи з навколишнього середовища.

Для забезпечення експлуатаційної безпеки автомобільні літій – іонні акумулятори додатково оснащуються електронною системою контролю режимів заряду і розряду, яка дозволяє знизити ризик появи в акумуляторі металевого літію – основної причини вибухової небезпеки таких джерел живлення. Електронна система також забезпечує контроль температури, оберігає акумулятори від короткого замикання тощо.

Головною перевагою літій - іонних акумуляторів є можливість накопичувати значну кількість електричної енергії при невеликій вазі пристрою. Недоліком таких акумуляторів вважається їхня чутливість до перезарядів і глибоких розрядів.

Рис. 74. Складові елементи літій – іонних акумуляторів

В сучасних електромобілях використовуються літій-іонні батареї з енергоємністю 100-200 Вт*год на 1 кілограм ваги і ресурсом близько 1000-3000 циклів "заряд-розряд", що істотно вище, ніж у традиційних свинцево-кислотних та лужних акумуляторів. Залежно від якістних характеристик частка вартості батарей у вартості електромобіля досягає 65%.

Батарейний відсік моделей електромобіля Tesla являє собою 16 послідовно з'єднаних модулів із щільно розміщеними акумуляторними елементами. Модулі розділяються на групи по 6 елементів і утримуються решітками, що також виконують роль каналів для циркулювання гліколевої охолоджуючої рідини, якої запобігає перегріву акумуляторного вузла. У кожному модулі, залежно від версії автомобіля Тесла, знаходиться від 312 до 444 елементарних акумуляторів, що забезпечує сумарну ємність до 84 кВт*год при номінальній напрузі 400 В. Платформа автомобіля Tesla містить від до 7104 одиниць акумуляторних елементів. Маса блоку акумуляторів складає до 540 кг, а габаритні розміри – 210 ×150 × 15 см. Платформа з акумуляторами розміщується в днищі автомобіля Tesla на висоті 45 см від поверхні дорогиі, що підвищує керованість і стійкість

автомобіля. Заявлений пробіг без перезарядки акумуляторів складає від 330 до 425 км.

Діапазон робочих температур літій-іонних батарей знаходиться в межах від −20 до +60 °С. Для повного заряду акумуляторної платформи електромобіля необхідно від побутової розетки з напругою 220 вольт за 17 год; від 3-х фазної розетки за 6 год; від зарядної станції Tesla Wall Connector за 3,2 год; від швидкісного зарядного пристрою ChaDeMo/Supercharger за 72 хв. Однак, використання прискорених режимів зарядки літій-іонних акумуляторів веде до скорочення термінів їх експлуатації.

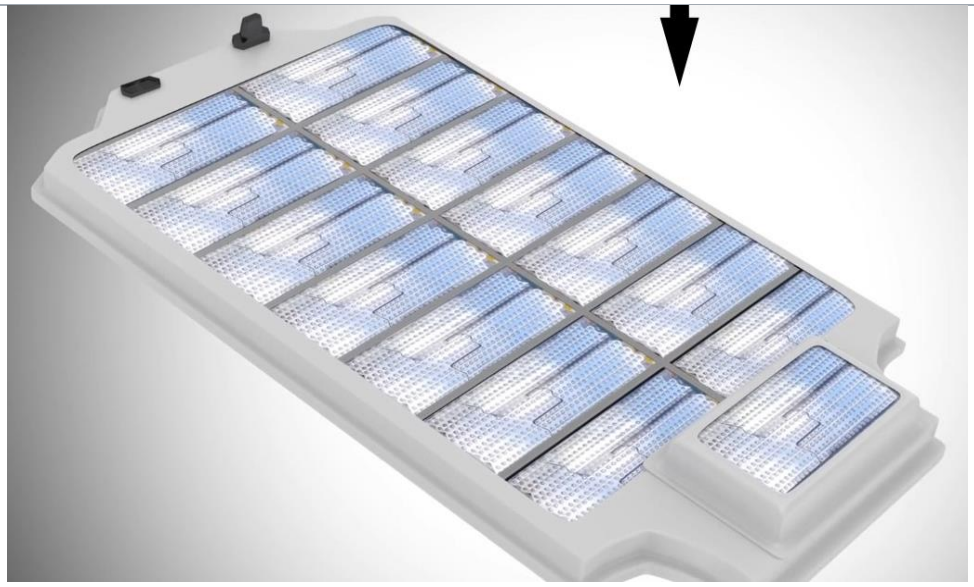


Рис.75. Батарейный модуль електромобіля Tesla

Досвід експлуатації електромобілів показав їх наступні переваги.

1. Електромобілі відрізняються низькою вартістю експлуатації. Більшість споживачів роблять свій вибір на користь електромобілів через їх високу економічність. Експлуатація електромобіля вимагає витрат виключно для оплати за електроенергію, яка витрачається на підзарядку акумулятора транспортного засобу. Електромобіль моделі Ford Ranger споживає 0,25 кВт·год на один кілометр шляху. Середній пробіг автомобіля в США становить 52 км на день. При вартості електроенергії в США від 5 до 20 центів за 1 кВт·год, вартість річного пробігу такого транспортного засобу становить 240 - 1050$. При існуючому рівні цін вартість експлуатації електромобіля в Україні є ще нижчою, ніж у США.

2. Поступово усувається ключовий недолік електромобілів, пов'язаний із вартістю акумуляторів. До 32% кошторису витрат на виготовлення електромобіля Tesla складає вартість тягових акумуляторних батарей. Якщо 2005 року акумулятори коштували в середньому 1300–1500 $ за кВт·год, то вже до 2015 року ціна впала до 500 $. Згідно з прогнозами, в 2025 їх ціна може наблизитися до позначки 100 $ за 1 кВт·год.

3. Використання електромобілів є ефективним шляхом зниження фонового шуму на вулицях, оскількм електродвигуни забезпечують тихий і більш плавний розгін, порівняно з автомобілями з двигунами внутрішнього згорання.

4. Простота конструкції і управління, висока надійність та довговічність у порівнянні зі звичайними автомобілями.

5.Нижчі витрати на експлуатацію електромобіля - спрощена трансмісія, відсутність двигуна внутрішнього згоряння виключає витрати на роботи по періодичній заміні моторних масел, фільтрів, ременів тощо;

6. Зручність керування. Для включення заднього ходу достатньо змінити полярність подачі постійного струму на електродвигун;

7. Масове застосування електромобілів сприяє вирішенню проблеми пікового перевантаження енергетичної системи за рахунок проведення зарядки акумуляторів у нічний час.

Основні проблеми експлуатації електромобілів на сьогодні в більшій мірі зводяться до недостатньо розвиненої інфраструктури для того, щоб заряджати електромобілі. Так, якщо у США та Скандинавії вже створено щільну мережу пунктів підзарядки електромобіля, то в ряді інших країн з інфраструктурою для підзарядки електромобілів ще виникають проблеми. Слід відзначити, що повне переведення автомобільного транспорту з палива на основі продуктів переробки нафти на електричний привід викличе потребу у значному розширенні світового виробництва електроенергії.

В Україні ситуація з інфраструктурою підзарядки електромобілів залишається незадовільною. Компанія Tesla висловлювала намір з 2022 року розгорнути в Україні станції швидкої зарядки. Це мало дозволити розширити кількість бажаючих придбати електромобіль.

Літій є досить поширеним на планеті елементом, але, в той же час, рідкісним. З розвитком електротехнічних технологій цей хімічний елемент переходить у розряд дефіцитних. У 2017 році електромобілі нараховували менш ніж 1% глобального ринку автомобілей, але, у той же час, на виробництво їх акумуляторів було використано майже 25%

усього літію, що було видобуто у 2016 році. Ілон Маск зробив заяву: «Щоб виробити 500 тисяч електромобілів в рік, нам доведеться закупити увесь літій у світі».

Гостро постає питання питання утилізації відпрацьованих літієвих акумуляторів, що наносить істотну шкоду навколишньому природному середовищу шляхом забруднення забруднення води та земель. Сьогодні, в Європейському Союзі лише 5% літій-іонних батарей переробляються.

5.3. Гібридні автомобілі

Автомобіль-гібрид – це автомобіль із силовою установкою, який поєднує в собі джерела механічної енергії кількох типів. В серійних гібридних автомобілях переважно поєднуються бензиновий та електричний двигуни. Гібри́дний авто́мобіль рухається завдяки об'єднаній системі «електродвигун - двигун внутрішнього згорання», споживаючи як пальне, так і заряд електроакумулятора. Обидва агрегати працюють одночасно, з тією різницею, що головне зусилля по створенню обертаючого моменту припадає на бензиновий двигун, а електричний виступає в якості допоміжного двигуна, котрий допомогає при старті та розгоні автомобіля. Переміщуватися виключно на електричній тязі гібридні автомобілі можуть на досить обмежену відстань (5 – 20 км) з невеликою швидкістю. Гібридні автомобілі було створено як проміжний варіант на етапі переходу до електромобілів – до того часу, поки акумуляторні батареї не були вдосконалені та не створено мережу станцій підзарядки, виникала потреба «підстраховування» бензиновим двигуном.

В основу роботи гібридних автомобілів покладено властивість електродвигуна як створювати крутний момент, так і виробляти електричний струм для заряду акумуляторної батареї, тобто працювати у режимі генератора. Залежно від обраного режиму роботи та схеми гібридного електромобіля включається електродвигун, бензиновий двигун або два двигуни одночасно. Відповідно, механізми гібридних автомобілів значно складніші від електромобілів, оскільки включають системи, необхідні для передачі крутного моменту і узгодженої роботи обох двигунів. Класичний гібридний автомобіль використовує інтегрований у трансмісію електричний двигун-генератор, який може працювати у двох режимах: безпосередньо у якості тягового мотора та генератора для заряджання акумуляторної

батареї. При роботі в режимі двигуна створюється крутний момент, якого вистачає для старту і руху автомобіля з вимкненим двигуном внутрішнього згорання, при роботі пристрою в режимі генератора виробляється електричний струм для заряджання акумуляторної батареї.

При натисканні на педаль акселератора електродвигун забезпечує обертальний рух коліс за рахунок енергії акумуляторної батареї. При відпусканні педалі акселератора автомобіль буде продовжувати рухатися по інерції, а від коліс буде обертатся вал електродвигуна і генерувати струм для підзаряджання акумуляторної батареї. Ефект такої конструкції транспортного засобу досягається за рахунок автоматичного керування роботою двигуна внутрішнього згорання бортовим комп'ютером, починаючи від своєчасного вимкнення цього двигуна під час зупинки в транспортному потоці, до можливості розпочати рух виключно від енергії акумуляторної батареї без повторного запуску бензинового двигуна.

Головна перевага гібридного автомобіля - зниження витрати палива до 5 л на 100 км та зменшення шкідливих вихлопів, що досягається автоматизацією управління роботою двигунів за допомогою бортового комп'ютера - починаючи від своєчасного відключення двигуна під час зупинки в транспортному потоці і закінчуючи механізмом рекуперації - використанням кінетичної енергії рухомого автомобіля при сповільненні і гальмуванні для зарядки акумулятора при роботі електродвигуна в режимі електрогенератора. При цьому двигун внутрішнього згоряння постійно працює на оптимальних економних режимах. Завдяки гальмуванню двигуном в період рекуперації, гальмівні колодки та диски електромобіля зношуються в значно меншій мірі.

Гібридний автомобіль Toyota Prius вперше надійшов у продаж в Японії в 1997 році і почав продається по всьому світу з 2000 року. У травні 2008 року глобальні сукупні продажі автомобіля Prius досягли 1 млн одиниць, а до вересня 2010 року у всьому світі сукупні продажі Prius склали 2 млн одиниць. При цьому ціна на гібридні автомобілі є помітно вищою ніж у автомобілів з двигунами внутрішнього згорання.

В останні роки на автомобільний ринок вийшли плагін-гібридні автомобілі. Головна відмінність полягає в тому, що ключова роль по створенню обертаючого моменту відводиться електромотору, який змушує автомобіль рухатись. Бензиновий двигун вмикається при сильному натиску на педаль акселератора, навіть якщо ємності

акумулятора цілком вистачає, щоб продовжувати рух. Завдяки такому механізму роботи, плагін-гібридні авто мають підвищений запас ходу, та мінімальні показники витрати палива. Акумуляторні батареї та електродвигуни плагінів є значно потужнішими ніж у звичайних гібридів. Передбачена можливість їх заряджання від побутових мереж або спеціально обладнаних зарядних станцій. Плагін-гібриди мають можливість пересуватись до 60 км виключно на електротязі.

5.4.Нанотехнології та наноматеріали

Важливу роль в забезпеченні ресурсоефективності в найближчому майбутньому відводять розвитку та розширеному використанню нанотехнологій. Нанотехнології це технології маніпулювання структурою речовини на рівні атомів і молекул з метою отримання продуктів із наперед заданими будовою та властивостями. Нанотехнології (грецьке слово «nannos» означає «карлик») - це сукупність методів управління будовою речовини на атомному або молекулярному рівні з метою отримання наперед заданих властивостей. Нанотехнології розповсюджуються на об'єкти та структури, характерні розміри яких вимірюються в нанометрах (1 нм = 10^{-9} м). У цьому діапазоні розмірів усі властивості матеріалів і виробів (фізико-механічні, теплові, електричні, магнітні, оптичні, хімічні, каталітичні тощо) принципово відрізняються від властивостей макроскопічних тіл. Велика питома поверхня наночастнок, що досягає 10^3 $м^2/г$, зумовлює їх високу хімічну та каталітичну активність. Нанотехнології дають можливість керування фізичними, хімічними і біологічними процесами на атомарному і молекулярному рівнях, що дозволяє створювати нові матеріали, прилади, медичні препарати, розробляти нові технологічні процеси з принципово новими можливостями.

Початок XXI століття ознаменувалося революційним розвитком нанотехнологій та наноматеріалів. На початку 2000-х років світ проходив період нанотехнологічного буму: провідні економіки світу різко збільшили бюджети для розвитку цього напряму. На початку 2020-х років світовий ринок наноіндустрії становить близько 6 трлн $ і приростає на 15% щорічно. Перехід до нанотехнологій є одним з елементів переходу цивілізації в найближчі 10-20 років до принципово нового економічного укладу. Продукти нанотехнологій перестали бути

лише сферою науки і активно впроваджуються у виробництво. На сьогодні нанотехнології знаходять все ширше застосування в електроніці, виробництві сонячних батарей, енергетиці, будівництві, авто- та авіабудуванні, екології, медицині тощо.

На теперішній час інтерес до застосування нанотехнологій постійно зростає. Це зумовлено такими причинами, як:

- прагнення до мініатюризації виробів;
- унікальними властивостями матеріалів у наноструктурному стані;
- необхідність розробки та впровадження нових матеріалів з якісно та кількісно новими властивостями;
- впровадження сучасних дослідницьких приладів для створення та контролю наноматеріалів.

Методи нанотехнології принципово відрізняються від традиційних технологій отримання матеріалів, структур та пристроїв. Так, традиційні технології обробки мікроскопічних обєктів базуються на застосуванні дроблення, розчинення та осадження, обробки поверхні електронним або лазерним випромінюванням тощо. Нанотехнології базуються на принципі створення матеріалу або пристрою за безвідходною технологією, починаючи з приєднання окремих атомів за принципом конструктора. Більшість методів нанотехнологій базується на використанні у якості робочого обладнання електронного мікроскопа. Особливий поштовх у розширенні досліджень по створенню наноматеріалів відбувся після створення у 1986 році тунельного скануючого атомно-силового мікроскопу.

За ступенем розвитку нанотехнології поділяються на чотири покоління.

В першому поколінні головна увага зосереджувалася на нанопорошках, які використовували у якості добавок до складу полімерів, кераміки, металів, покрить, ліків, а також на розробці іонно-плазмових технологій обробки поверхні та створення тонких шарів та плівок. Наноструктурні напилені карбідні, нітридні, боридні, хромовуглецеві покриття товщиною ~ 1 мкм використовують як зносостійкі шари на металоріжучому інструменті та штампах, що дозволяє збільшити стійкість інструменту у десятки разів. Найбільш простим та продуктивним методом отримання нанопорошків стало розпорошення струменя розплаву рідиною або інертним газом. Таким методом, зазвичай, отримують порошки металів і сплавів з розмірами частинок близько 100 нм.

Для другого покоління (2005 - 2010 роки) характерним було створення «активних наноструктур» - компонентів нанобіотехнологій, нейроелектронних інтерфейсів, наноелектромеханічних систем.

В третьому поколінні (2010 - 2015 роки) увага вчених зосереджувалася на керованому самозбиранні наносистем, розробці медичних нанороботів. Тунельні скануючі мікроскопи створили можливості проводити маніпуляції в наноструктурах для створення наноелектромеханічних систем - супермініатюрні сенсори, електромотори, перетворювачі, датчики, вентилі, радіоелементи тощо. Так, наприклад, було створено дослідні зразки нанодвигунів, ротори яких обертаються зі швидкістю до 40 тис. об/хв. Медичні нанороботи стали виконувати роль кібернетичних пристроїв нанометрових розмірів, які здатні функціонувати в організмі людини, проводячи корекцію фізіологічних процесів, наприклад, пристрої для контролю рівня глюкози в крові та для вироблення інсуліну. На сьогоднішній день всі розробки в галузі наномедицини та нанобіології ще залишаються на стадії розробки та практичної перевірки.

Розвиток четвертого покоління нанотехнологій, який триває до теперішнього часу, пов'язаний з науковими досягненнями по створенню молекулярних пристроїв та атомним дизайном.

Розвиток нанотехнологій відбувається за трьома основними напрямками:

- виготовлення електронних схем з активними елементами, розміри яких можна порівняти з розмірами молекул і атомів;
- розробка та виготовлення наномашин, тобто механізмів і роботів розміром порівняним з розміром молекули;
- безпосередня маніпуляція атомами й молекулами і збірка з них необхідних елементів.

Нанотехнології дозволяють контрольованим чином створювати та модифікувати об'єкти, що включають компоненти з розмірами близьким до розмірів молекул (менше 100 нм). Існує можливість змінювати властивості наноматеріалів у необхідну сторону шляхом додавання та видалення певних атомів (молекул), здійснювати інтеграцію нанооб'єктів у повноцінно функціонуючі системи більшого масштабу. Зменшення характерних розмірів окремих частинок, зерен, пор, включень та інших фаз до значень менше 100 нм веде до істотних змін фізико-хімічних властивостей матеріалу. За певних умов матеріали з наноструктурами можуть бути надтвердими або надпластичними. Так, твердість нікелю при переході до нанорозмірів

збільшується у кілька разів, а його міцність на розтяг зростає до 5 разів. В нанокристалічних матеріалах різко збільшується питома поверхня, тобто доля атомів, що знаходяться в тонкому (~ 1 нм) приповерхневому шарі. Це забезпечує суттєве підвищення реакційної здатності нанокристалів.

Нанопорошки знаходять широке використання для виробництва полірувальних суспензій, лакофарбових покриттів, сонцезахисних кремів і каталізаторів. В медицині використання лікарських препаратів з нанорозмірами складових дозволяє зменшити розмір пігулок і підвищити перехід лікувальної речовини у кров. Малі розміри наночастинок дозволяють їм легко проникати разом з кровотоком через клітинні мембрани. Так, наночастинки срібла розміром 5-50 нм завдяки своїм бактерицидними властивостями використовуються при лікуванні різноманітних ран з метою знезараження. Їх також можливо додавати до миючих засобів, зубних паст, вологих серветок, наносити на поверхні кондиціонерів, покриття столових приладів, клавіатури комп'ютерів.

Нанесення наночастинок на монолітні матеріали (автомобільне сткло, скління літаків, захисні костюми, стінки резервуарів для зберігання рідин, будівельні конструкції тощо) дозволяє забезпечити високі водо- та масловідштовхувальні властивості обробленої поверхні. Так, покриття на основі наночастинок оксиду титану з розмірами 20-50 нм різко знижує змочуваність поверхні водою, олією та спиртовими розчинами.

Застосування кремнієвих нановолокон для виготовлення акумуляторів на основі іонів літію дозволяє значно збільшити ємність таких накопичувачів електричної енергії. Наявність у матеріалах значної кількость пор з нанорозмірами дозволяє використовувати їх для безпечного зберігання у внутрішніх порожнинах значної кількості газоподібних речовин, наприклад, водню. При виробництві одягу та взуття використовуються особливі структурні властивості нанопорошків, що дозволяє утримувати в матеріалі до 99,8% повітря і обумовлює високі теплоізолюючі властивості.

Нанокристалічний матеріал графен представляє собою двовимірну гексагональну кристалічну решітку вуглецю товщиною в 1 атом. Графен приходить на зміну нинішній кремнієвій електроніці. Його використовують для виробництва мініатюрних транзисторів і мікросхем, легких та економічних акумуляторів, для зміцнення сенсорних екранів мобільних телефонів.

Без наявності опори графен має тенденцію згортатися, але може зберігати стійку форму на підкладці. У 1991 році японським дослідником Суміо Ііджимою були виявлені скручені у трубку довгі безшовні графенові структури, що одержали назву нанотрубок. Вуглецеві нанотрубки – графітові циліндри з напівпровідниковими властивостями, які стали основою для великої кількості наноматеріалів: нановолокна, нанодроти, наномотори, нанопружини, нанокристали, нанопористі матеріали, молекулярні електронні матеріали, молекулярні фотонні матеріали тощо. Нанотрубки в 100 тис. разів тонші за людське волосся. Діаметр і довжина вуглецевих нанотрубок знаходяться в межах 0,3–5 нм та 1–500 мкм відповідно. Вони мають міцність на два порядки вишу за високоякісну сталь, але при цьому вони набагато легші і зберігають гнучкість, мають напівпровідникові властивості. В 2004 році голландському фізику Сізому Деккеру вдалося з'єднати вуглецеву нанотрубку із ДНК. Цим було дано старт розвитку біонанотехнологій.

Широке застосування вуглецеві нанотрубки знаходять у якості:

-добавок високоміцного наповнювача до складу алюмінієвих композиційних матеріалів, полімерів та гуми. Так, введення 5% нанотрубок (по масі) помітно підвищує міцність, антикорозійні та зносостійкі властивості алюмінієвих сплавів;

-каталізаторів і покрить зі спеціальними властивостями;

-для виготовлення панелей дисплеїв, газорозрядних трубок в телекомунікаційних мережах, суперконденсаторів, пристроїв для поглинання та екранування від електромагнітних хвиль;

- електродів водневих паливних елементів;

- нанозондів та пристроїв контролю стану довкілля, виявлення канцерогенних речовин, патогенів та біологічно шкідливих агентів.

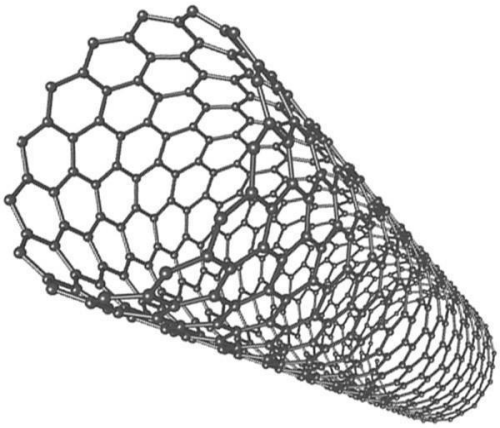


Рис.76. Молекула одношарової нанотрубки

Нанотрубки є ідеальним матеріалом для безпечного зберігання газів у внутрішніх порожнинах. Насамперед це стосується водню, для якого проблемою є безпечне зберігання у балонах.

Основним застосуванням вуглецевих нанотрубок в електроніці є створення високочастотних польових транзисторів для сучасної компютерної техніки. Використання цього напівпровідникового матеріалу дозволило зменшити розміри транзисторів від 90 до 10 нм. Крім того використання наноматеріалів дозволяє досягнути зменшення елементарних комірок запам'ятовуючих пристроїв. Перевагою таких елементів є надзвичайно низьке енергоспоживання.

Найпоширенішим методом отримання нанотрубок є електродугове розпилення графіту. При цьому у закритій камері, заповненій інертним газом, між двома вуглецевими електродами створюють електричний розряд. Температура плазми, що виникає між електродами складає кілька тисяч градусів, що перевищує температуру випаровування вуглецю з поверхні електродів. Пари вуглецю осідають на холодних стінках камери та на катоді, утворюючи структури нанотрубок та фулерену.

Нанотрубки також отримують шляхом застосування методу лазерного випаровування графіту. Графітову мішень, поміщають у спеціальну піч з температурою вище 1000^0С градусів. Мішень обдувається гелієм або аргоном і опромінюється лазером. З випаруваного графіту утворюються нанотрубки, які зносяться убік газовим потоком і осаджуються на холодних стінках реакційної камери. При застосуванні лазерного способу зявляється можливість регулювання сили опромінення, що дає дозволяє отримувати нанотрубки заданого розміру.

На сьогодні річне світове виробництво нанотрубок перевищує 80 т. Лідерами в галузі нанотехнологій є США, Японія та європейські держави. Прикладом стрімкого розвитку галузі нанотехнологій є Китай, де інвестиції в цей науковий напрямок вищі, ніж у багатьох розвинених країн. За даними 2016 року по всьому світу кількість високотехнологічних закладів, що спеціалізуються на нанотехнологіях, становить близько 4000, зокрема понад 2000 дослідних лабораторій та наукових асоціацій та майже 2000 комерційних установ. За останні два десятиліття ціни на вуглецеві нанотрубки знизилися з 1500 $ за грам до 2 $ за грам. Це відкрило широкий спектр їх застосувань, особливо в галузі матеріалознавства та електроніки.

Методом нанотехнологій отримують вуглецеві молекули фулерену, які мають каркасні кристалічні гратки, що містять від 36 до 540 атомів вуглецю. У молекулах фулерену атоми вуглецю розташовані у вершинах правильних шестикутників, з яких складається поверхня сфери. На вигляд молекула фулерену нагадує футбольний м'яч, зшитий із багатогранних клаптиків шкіри. Фулерени мають високі магнітні та надпровідні властивості. Фулерен C_{60} після обробки високим тиском набуває високі значення твердості, які у декілька разів перевищують твердість алмазу. Молекула C_{60} зберігає стабільність в інертній атмосфері аргону до температур порядка 1200 К.

Структура молекули фулерену дозволяє у внутрішній порожнині розміщувати і транспортувати атоми та молекули інших речовин. Це дозволяє змінювати його електричні властивості та надати унікальні надпровідникові властивості.

Вуглецеві нанотрубки разом з фулеренами утворюють новий клас вуглецевих наноматеріалів, або каркасних вуглецевих структур, з властивостями, які значно відрізняються від таких форм вуглецю як графіт і алмаз. Композиційні матеріали, які армовані вуглецевими нановолокнами та фулеренами, розглядаються як перспективні матеріали для роботи в умовах ударних динамічних впливів, зокрема для виготовлення броні та бронежилетів. Властивість фулеренів активно поглинати ультрафіолетове випромінювання дозволяє їх використовувати у фотовольтаїці, фотосенсорах, сонячних батареях та пристроях різноманітної молекулярної електроніки.

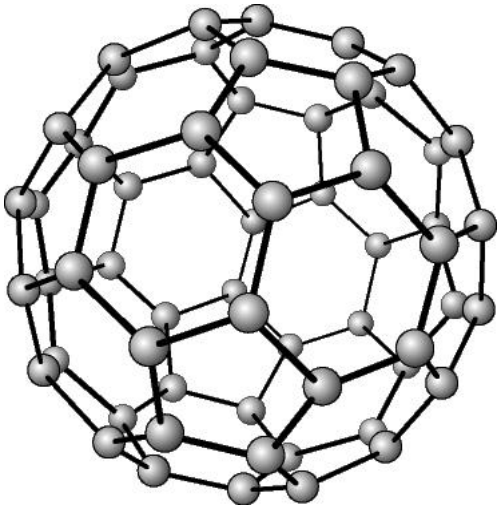


Рис.77. Будова молекули фулерену C_{60}

В той же час, робота з нанопорошками може приносити шкоду здоров'ю працівників і вимагає використання захистних прийомів. Так, виявилося, що вуглецеві нанотрубки при потраплянні в організм людини вражають легені та пригнічують діяльність імунної системи. В основі правил безпеки, що дозволяють уникнути безпосереднього контакту персоналу з наночастинками лежать два положення:

1) агломерати наночастинок досягають розмірів у десятки або сотні мікрометрів, тому їх поведінка подібна до мікрометрових пилоподібних частинок;

2) наночастинки розміром менше 10 нм за мобільністю та активністю можуть проявляти себе як молекули газу.

Запобігання попаданню наночастинок у повітря має бути основним методом захисту на виробництві. Другий варіант захисту працівників передбачає застосування систем місцевої витяжної вентиляції з використанням вбудованих вентиляторів, шаф, а також використання технічних пристроїв для уловлювання дисперсних частинок у повітрі робочої зони. Такі системи встановлюються у місцях роботи з готовими наноматеріалами (транспортування, упаковка, змішування, зважування тощо). Додатковим заходом є застосування засобів індивідуального захисту від попадання дисперсних частинок на шкіру рук, одяг, обличчя, очі та дихальні шляхи застосовуються як при неможливості вбудовування або недостатньої ефективності роботи.

5.5. Генна інженерія

. Сучасна біотехнологія базується на застосуваннія таких методик:

- робота з нуклеїновими кислотами, у тому числі отримання рекомбінантної ДНК і введення нуклеїнових кислот безпосередньо всередину клітин або органел;
- поєднання геномів організмів, що належать до різних таксономічних груп, які дозволяють подолати природні фізіологічні репродуктивні або рекомбінаційні бар'єри.

Генна інженерія - галузь молекулярної біології і генетики, завдання якої - конструювання генетичних структур за заздалегідь наміченим планом, створення організмів із новою генетичною програмою. Суть генної інженерії у тому, що у генотип організму вбудовуються чи виключаються окремі гени чи його групи. Це досягається виділенням певного гена з ДНК одного організму та вбудовуванням його у ДНК іншого. Генна інженерія дає можливість долати міжвидові бар'єри та

передавати ознаки одних організмів іншим, здійснюючи такі зміни геному, які навряд чи могли б виникнути природним шляхом. В результаті досягається синтез клітиною необхідних нових білків, що надає організму нові запрограмовані властивості.

Перенесення генів між особинами різних видів називається горизонтальним (латеральним). Молекула ДНК, зібрана зі шматочків ДНК різних організмів, називається рекомбінантною. Перша рекомбінантна ДНК, що об'єднала гени мавпячого вірусу SV40, бактеріофага лямбда і галактозного оперону E.coli, була створена в 1972 році групою американських учених під керівництвом П. Берга. Для цього використовували метод введення чужорідних генів в організм реципієнта і вони стають складовою його генетичного апарату. Цей процес складається з кількох етапів:

1. Рестрикція – розрізання ДНК на фрагменти для виділення того чи іншого гена із ланцюжка ДНК за допомогою ферментів-рестриктаз. Вони розділяють ДНК на відрізки у певних місцях. Певний вид фермента - рестриктази розпізнає лише одну стандартну послідовність з кількох нуклеотидів. Молекули рестриктази хімічно зв'язуються з ними і в цих місцях розривають ДНК. В даний час відомо більше 400 ферментів - рестриктаз, здатних розщеплювати ДНК за 120 різними послідовностями нуклеотидів.

2. Лігування – процес «зшивання» фрагментів генів за допомогою спеціальних ферментів, які називають лігазами. Лігази зшивають ділянки ДНК, утворюючи між їхніми крайніми нуклеотидами хімічний зв'язок.

3. Після завершення з’єднання ділянок рекомбінантної ДНК, її вводять у живі клітини. Цей процес називається трансформацією. Для того, щоб рекомбінантна ДНК стала частиною генетичного апарату клітини вона повинна або вбудуватися в її геном і реплікуватися за її рахунок, або бути здатною до автономної реплікації. Для цього використовують мобільні рухливі генетичні елементи: віруси, плазміди та транспозони. Ці елементи можуть приєднувати ті чи інші гени до своєї ДНК, а потім, проникнувши у клітину-хазяїна, вбудовуватися разом із вбудованою ділянкою чужорідного гену у хромосому господаря, яка потім реплікується вже разом із цією новою послідовністю.

Прикладом практичного застосування генної інженерії є технологія штучного виробництва інсуліну – гормону підшлункової залози. Інсулін регулює вуглеводний обмін та рівень цукру в крові. Недостатній рівень інсуліну в організмі призводить до захворювання ендокринної системи

– цукрового діабету. У 1978 р. методами генетичної інженерії було отримано штам бактерій E. coli (кишкової палички), у якої було вбудовано людський ген, який відповідає за синтез інсуліну. Це забезпечило світове виробництво практично всього інсуліну з використанням трансгенних бактерій.

Застосування методів генної інженерії у тваринництві дозволяє підвищувати продуктивність тварин, опір їх організму до хвороб тощо. Тварин, які мають у своєму геномі чужий ген, прийнято називати трансгенними. Вже створені популяції трансгенних корів і курей, які є стійкими до деяких паразитів. Завдяки переносу генів у трансгенних тварин виникають нові якості, а подальша селекція дозволяє закріпити їх у потомстві та створювати трансгенні лінії. Методом генної інженерії було отримано тварини біореактори, організм яких здатний утворювати цінні біологічні речовини. Так, було виведено трансгенну овечку, в молоці якої міститься хімозин - фермент, що використовується у виробництві сиру. До застосування методів генної інженерії цей фермент виробляли зі шлунків телят. В останні кілька десятків років майже всі сировари використовують хімозин, отриманий способом генної інженерії. З 3 л молока трансгенної вівці виділяють хімозин, у кількості достатній для виробництва 1 тонни сиру.

Традиційним методом виведення нових сортів рослин шляхом селекційного відбору екземплярів із новими властивостями, які зявляються за рахунок випадкових мутацій. З початку XX століття стали для стимулювання мутацій було започатковано використання опромінення та хімічних мутагенів. При застосуванні цих методів відбуваються непередбачувані зміни, які змінюють геном рослини. Генноінженерні методи дозволяють створювати нові сорти рослин набагато швидше, ніж традиційними способи селекції.

Генна інженерія дозволяє вводити в рослини гени стійкості до різних фітопатогенів, гени скоростиглості, фіксації азоту тощо. Застосування методів генної інженерії, що використовують природні захисні механізми, дозволяє отримувати трансгенні рослини, стійкі до грибної, бактеріальної та вірусної інфекції. Досягнуто цільове покращення амінокислотного складу білків рослин шляхом застосування методів генної інженерії.

Завдяки введенню до геному вихідних рослин генів, що кодують білок оболонки вірусу, є приклади досягнення стійкого антивірусного ефекту у різноманітних рослин. Так, отримано сорти трансгенних рослин, які синтезують специфічні білки, токсичні для шкідливих комах,

жуків, метеликів певних видів, але не наносять шкоди здоров'ю людей і тварин.

. У природі рослини пристосовуються до несприятливих умов середовища шляхом тривалого накопичення змін у геномі. Ряд рослин пристосувалися виживати в умовах пустель, зростати на засолених територіях. Шляхом введення у геном культурних рослин відповідних бактеріальних генів вдалося забезпечити накопичення у їх клітинах осмопротекторів та вплинути на процеси метаболізму. Це дозволило створити сорти трансгенних рослин, які можуть зростати у посушливих та засолених ґрунтах.

З відкриттям методу генної інженерії людство здобуло небувалі можливості створювати нові види рослин і тварин. На сьогодні, більшість вчених та фахівців у галузі рослинництва доводять, що генномодифіковані рослини не наносять шкоди здоров'ю, а у ряді випадків створюють позитивні ефекти. Так, трансгенні рослини мають політшений комплекс складових, високою стійкістю до основних видів захворювань та шкідників, а також до згубних факторів навколишнього середовища. Продукція з трансгенних рослин обовязково проходить кілька стандартних стадій випробувань на токсичний та алергічний ефект, спочатку на тваринах, а потім – на людях.

Вирощування та споживання рослинної продукції, у виробництві якої застосовувалися методи генної інженерії, дозволяє:

- досягати значного підвищення врожайності продукції рослинництва і відкриває перспективи подолання світової продовольчої кризи;
- вирощування генномодифікованих рослин дозволяє різко знизити необхідність внесення токсичних хімічних інсектицидів і гербіцидів, що дозволяє значно знизити вміст цих шкідливих речовин у кінцевій продукції та знизити рівень забруднення грунтових вод.

Як стверджують прихильники генномодифікованих продуктів, порівняльний аналіз ризиків, пов'язаних із застосуванням продукції від звичайних рослин, при вирощуванні яких застосовувалися хімічні інсектициди, і трансгенних рослин, які самостійно вражають шкідників, свідчить на користь трансгенних.

Однак, як завжди у всього нового, у генетичних біотехнологій з'явилося ряд противників, які висловлюють застереження про можливість проявлення у майбутньому негативного впливу від вживання трансгенної продукції рослинництва та тваринництва. Потивники генномодифікованої продукції спираються на те, що довгострокові дослідження безпечності генномодифікованих продуктів

не проводилися, немає впевненості в тому, що їхня шкода для здоров'я людини не проявиться через багато років. Останнім часом стає все більш зрозумілим, що протести проти генної інженерії організовуються та фінансово підтримуються виробниками добрив та отрутохімікатів, яким широке використання генномодифікованих рослин загрожує збитками.

За всю 30-річну історію розвитку біотехнологій не зареєстровано жодного підтвердженого випадку негативного впливу вживання трансгенних продуктів на здоров’я людини. Так, в США, країні, яка є світовим лідером у виробництві та споживанні генномодифікованих продуктів, не було подано жодного позову до компаній, які виробляють таку сільськогосподарську продукцію.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ТА КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1.Які переваги використанню водню як нетрадиційного виду палива?
2.Що таке паливний елемент, які процеси відбуваються при його роботі?
3.Назвіть основні складники водневих паливних елементів.
4.Які існують способи використання водню?
5. Як класифікують водень за способом виробництва?
6.Особливості конструктивних елементів електромобілів.
7.Який тип акумуляторів переважно використовується на електромобілях, опишіть принцип їх роботи.
8.Гібридні автомобілі, відміни в їх будові від традиційних електромобілів.
9.Переваги і недоліки використання електротранспорту.
10. Що називають нанотехнологіями і наноматеріалами?
11. Що означають методи отримання наноматеріалів «згори вниз» та «знизу вгору»?
12. В чому відмінність наноматеріалів від масивних матеріалів.
13 Кристалічна структура фулеренів. Області застосування фулеренів.
14. Основні напрямки використання нанотрубок.
15.Які методи застосовують у генній інженерії?
16. Якими методами можна здійснити введення чужорідної ДНК в геноми рослин і тварин?
17.Наведіть приклади ефективного застосування методів генної інженерії.

4. АЛЬТЕРНАТИВНІ ВИДИ АВТОМОБІЛЬНОГО ПАЛИВА (БІОПАЛИВО)

Основна частина викопних рідких вуглеводнів на сьогодні використовується у якості палива для транспортних засобів і лише 20% служить сировиною для синтезу полімерів, мінеральних добрив, пестицидів та лікарських засобів. Транспорт є одним із основних джерел надходження в атмосферу парникових газів. Так, у 2017 році транспортними засобами було утворено 24% світових викидів вуглекислого газу.

Річні потреби України в нафтопродуктах складають 24 - 28 млн. тонн на рік, а в природному газі – 85 млрд. $м^3$. На сьогодні обсяг річного споживання бензину в Україні становить близько 4,5 млн тонн. Власний видобуток в Україні нафти і газових конденсатів забезпечує лише 20% необхідної потреби в нафтопродуктах, решта ж виробляється з імпортної нафти або завозиться із сусідніх країн. Так, за рахунок імпорту Україна забезпечує свої потреби в нафтопродуктах на 80-90%, природного газу – більш ніж на 50%.

Держави світу вже тривалий час працюють над тим, щоб схилити виробників та власників автомобілів переходити на альтернативні види пального, які створюють меншу екологічну шкоду. До альтернати́вного автомобі́льного па́лива відносять види моторного палива, які забезпечують потужність автомобільного двигуна і певною мірою, або повністю, виключають використання палива на основі нафти (бензин, дизпаливо). Згідно матеріалів Директиви 2003/30/ЕС Європейського Парламенту під терміном біопалива розуміють: біоетанол, біодизель, біогаз, біометанол, біодіметиловий ефір, біоетил-тетробутиловий ефір, біометил-тетрабутиловий ефір, синтетичні біопалива, біоводень, а також чисту рослинну олію.

Розвиток ринку біопалива з продуктів рослинництва замість нафтопродуктів та природного газу є одним із ключових шляхів зниження забруднення навколишнього середовища вуглекислим газом, який утворюють транспортні засоби. Масштабне використання біопалива дозволить реалізувати на практиці Кіотський протокол, так як кожна тонна використаного біопалива зменшує емісію вуглекислого газу на 0,67 т. При цьому діоксид вуглецю, що виділяється, поглинають рослини, які потім знову стануть сировиною для отримання біопалива.

Зараз світ вступає в епоху біоекономіки, що базується на використанні біотехнологій, що базуються на відновлюваних

природних ресурсах. Найбільш важливими продуктами її є біоетанол і біодизель – єдині відновлювані рідкі палива, які як добавка до автомобільного палива не вимагають змін у конструкції двигунів.

Виробництво біопалива приносить ряд позитивних соціальних соціальних ефектів: зниження забруднення навколишнього середовища та залежності від імпорту нафти, економічний розвиток сільських місцевостей. Згідно з директивою ЄС до 2030 року Європейський Союз планує забезпечити 25% своїх потреб у паливі для транспортних засобів за рахунок чистих і ефективних видів біологічного палива. На сьогодні країни ЄС вже споживають більше половини від світового виробництва біодизельного палива.

До основних процесів одержання автомобільного палива з біомаси відносять:

– ферментування цукор/крохмальмістних культур (біоетанол);
– екстрагування олії з наступною переетерифікуванням (біодизель);
– піроліз деревини (піролізна олія – еквівалент дизельного палива);
– газифікацію біомаси з наступним переробленням на рідке паливо (метанол, диметиловий ефір);
– гідротермічне перероблення вологої біомаси;
– анаеробне бродіння вологої біомаси (біогаз).

На теперішній час в промислових масштабах виробляються та широко застосовуються для транспортних засобів два види біопалива:

-біоетанол – етиловий спирт (для бензинових двигунів);
-біодизель – метилові ефіри жирних кислот (для дизельних двигунів);
-біогаз, який знаходить переважне використання у комунальному господарстві.

Інші види біопалива характеризуються нижчою конкурентоздатністю через високу собівартість їх виробництва.

За значимістю джерел сировини різновидності біопалива класифікуються на наступні покоління.

Біопаливо першого покоління. Сировину для виробництва цього покоління палива вирощують спеціально, а біопаливо отримують у результаті її послідуючої переробки. До біопалива першого покоління відноситься рідке біопаливо, що виробляється з культур, які містять цукор або крохмаль (кукурудза, жито, пшениця, цукрові буряки тощо) та олійних культур (ріпак, соя, соняшник тощо). Вирощування олійних культур вимагає відведення посівних площ, використання мінеральних добрив і супроводжується певним зниженням родючості грунтів та негативним впливом на довкілля.

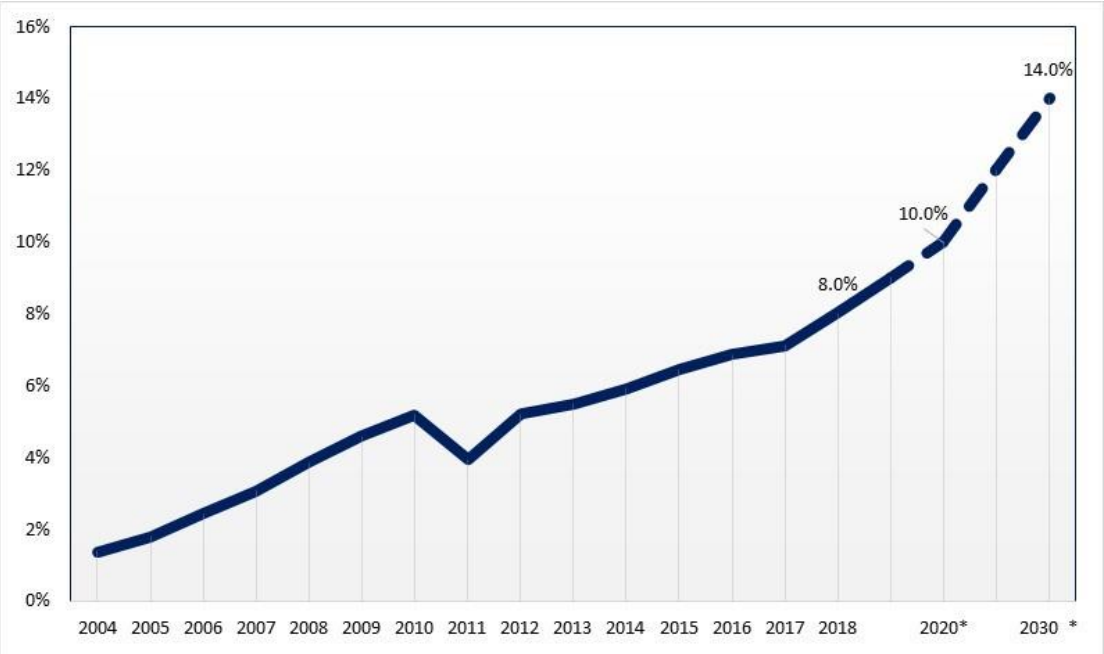


Рис.78. Динаміка зміни частки альтернативних видів біопалива у транспортному секторі Європейського Союзу, (%), Джерело: Eurostat

Біопаливо другого покоління. Виробництво біопалива другого покоління не передбачає спеціального вирощування сировини. Сировину для цього покоління отримують не безпосередньо з продовольчих культур, а з інших джерел, наприклад, з жировмістних відходів виробництва. Це може бути целюлозна маса: солома, листя, тирса, залишки стебел, лушпиння, що залишається після обробки зернових. В умовах зростання вимог щодо скорочення викидів парникових газів, зростає увага до виробництва біопалива з непродовольчих культур, які є найбільш поширеним біологічним матеріалом на планеті.

Біопаливо третього покоління. Джерелом біопалива третього покоління є ліпіди, що входять до складу водоростей. Щоб отримати біопаливо з водоростей, для їх вирощування не потрібно використовувати посівні площі. Водорості можуть рости в ставках, біореакторах, а також в спеціально створених затоках, які не задіяні у виробництві продуктів харчування. Біопаливо третього покоління визнають найбільш перспективним.

Більшість держав Євросоюзу, США, Канада, Бразилія, Австралії на даний час активно розвивають програми одержання та використання біопалива першого покоління з рослинної сировини. Світова

організація торгівлі (СОТ) звертає увагу на те, що використання частини сільськогосподарської продукції на виробництво біопалива веде до зростання цін на продукти харчування. На сьогодні виробництво біопалива другого покоління залишаєтья більш вартістним порівняно з рідким викопним паливом і біопаливом першого покоління, але його стрімке масове освоєння очікується вже в близькому майбутньому. Роботи по отриманню біопалива третього покоління переважно знаходяться у стадії експериментальних розробок.

6.1.Виробництво біодизельного палива

Біодизель являє собою метилові ефіри довголанцюжкових жирних кислот. Метилові ефіри жирних кислот часто використовують у вигляді суміші з нафтовим дизельним паливом у різних пропорціях.

Молекули жирів та олій складаються з триглицеридів - сполук триатомного спирту гліцерину з трьома ланцюгами жирних кислот. Будова молекули тригліцерину визначає вязкі властивості рослинної олії. У порівнянні з сировиною метилові ефіри масляних кислот мають нижчі показники вязкості.

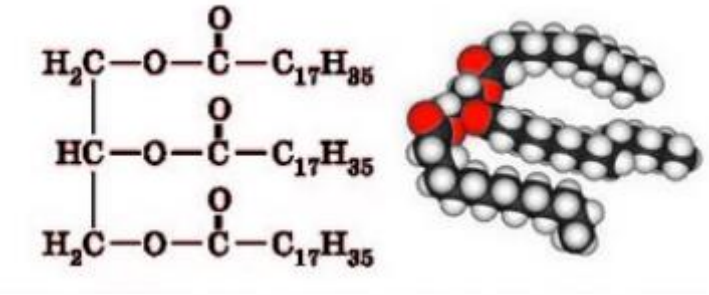


Рис.79. Будова молекули триглицеридів

Біодизельне паливо виробляється шляхом хімічної обробки жирів і олій. Використання необробленої олії та жирів у якості моторного палива приводить до швидкого виходу з ладу паливної системи. Так, при використанні пального з жирних кислот в необробленому стані відбувається їх неповне згоряння, погіршуються умови змащення двигуна, на форсунках, кільцях та поршнях будуть утворюватися шлакові відкладення.

Технологія отримання метилових ефірів заснована на переетерифікації (перетворенні в ефір) рослинної олії за рахунок

взаємодії триглицеридів з добавками метилового спирту в присутності каталізаторів.

Метиловий спирт CH_3OH являє собою безбарвну, прозору, легкозаймисту рідину, яка змішується з водою без слідів помутніння і має температуру кипіння близько 65°C. Метиловий спирт виробляється з природного газу, тому ціна цього інгредієнта для біопалива є жорстко прив'язаною до цін на газ. За ступенем дії на організм людини метиловий спирт належить до помірно-небезпечних речовин (3-й клас безпеки), має політропну дію з переважним впливом на нервову систему, печінку та нирки. У разі попадання метилового спирту через шлунково-кишковий тракт до організму людини відбувається гостре отруєння. Симптоми отруєння – головний біль, запаморочення, нудота, біль у шлунку, загальна слабкість, подразнення слизових оболонок, миготіння в очах, а у тяжких випадках – втрата зору та смерть.

Сучасні технології отримання біодизельного палива включають проходження реакції переетерифікації рослинних олій у присутності лужних каталізаторів (NaOH, KOH). Виробництво біодизельного палива здійснюється шляхом додавання однієї масової одиниці метилового спирту до 9 масових одиниць рослинної олії, в присутностіі невеликої кількості каталізатору.

Суть процесу переестерифікації полягає обміні радикалами між тригліцеридом та спиртом. В процесі переестерифікації при взаємодії жирів з метиловим спиртом утворюються лінійні молекули метилового ефіру та побічний продукт - нерозчинний у метиловому ефірі гліцерин. Гліцерин являє собою багатоатомний спирт, який має три гідрофільні спиртові гідроксильні групи.

Реакція переестерифікації записується наступним чином

$$\begin{array}{l} CH_2OC{=}OR1 \\ | \\ CHOC{=}OR2 \\ | \\ CH_2COOR3 \end{array} + 3\,CH_3OH \xrightarrow{\text{(каталізатор)}} (CH_2OH)_2CH\text{-}OH + \begin{array}{l} CH_3COO\text{-}R1 \\ \\ CH_3COO\text{-}R2 \\ \\ CH_3OC{=}O\text{-}R3 \end{array}$$

тригліцерін метанол гліцерин суміш ефірів жирних кислот

де R1, R2, R3 – довгі ланцюги молекул вуглеводнів.

За своїми фізико-хімічними показниками метилові ефіри масляних кислот є схожими на мінеральне дизельне паливо і цілком придатні в чистому вигляді для застосування в якості пального в двигунах внутрішнього згоряння. Ефіри добре змішуються з мінеральним

(нафтовим) дизельним паливом в будь-яких пропорціях. Теплотворна здатність біодизельного палива складає 37 МДж/кг.

Замість метанолу також можуть використовуватися такі більш дорогі реагенти як етанол, пропанол, бутанол та аміловий спирт тощо.

Перший дизельний двигун, який працював на арахісовій олії (біопаливі), був випробуваний ще у 1893 році. Практичний інтерес до біодизеля виник лише в період енергетичної кризи в 1970-ті роки минулого століття. У 1987 р. австрійська компанія "Гаскокс" збудувала перший експериментальний біодизельний завод, а в 1989 р. з'явився перший промисловий завод з переробки ріпаку потужністю 30 тис. т/рік. На теперішній час біодизель вже є перевіреним альтернативним паливом.

Рис.80. Зовнішній вигляд біодизеля

Якщо розглядати у якості сировини ріпак, то з урожаю з одного гектара виробляють понад 1000 літрів ріпакової олії. Розширення використанню біодизельного палива повязане з наступними чинниками:

1.Використання біодизелю не приводить до поглиблення "парникового ефекту", що випливає з відновлювального характеру рослинної сировини – ріпаку;

2. Відпрацьовані гази при згорянні біодизеля завдають меншу шкоду навколишньому середовищу (вміст сірки – 0,005% проти 0,2% для нафтового дизельного палива; відбувається на 50% менше утворення сажі; на 8-10% менше утворення оксиду вуглецю.);

3.Показники згорання (цетанове число, в'язкість, температури спалаху та застигання) у біодизельного палива близькі до звичайного мінерального дизельного палива.
4.Температура загоряння біодизельного палива знаходиться в межах 150-170^{0}С, що забезпечує підвищену пожежну безпеку при його використанні;
5.Біодизель має гарні змащувальні характеристики для механізмів поршневої групи двигуна;
6.Більшість моделей сучасних тракторів можуть працювати на біодизельному паливі без модернізації двигуна. Двигуни, що спроектовані на традиційне дизельне паливо ефективно працюють без модернізації добавці до 30 % біодизелю до стандартного нафтового дизельного палива;
7.Біодизель біологічно нешкідливий для людини та навколишнього середовища, не має неприємного бензолового запаху і має високу швидкість біологічного розкладання. Потрапляючи у довкілля, біодизель за 21 день проходить цикл біологічного розкладу на 90 %. У порівнянні із нафтовим дизельним паливом, один літр якого здатен забруднити 1 млн літрів питної води і привести до загибелі водяної флори і фауни, біодизель при потраплянні в воду не наносить шкоди ні рослинам, ні тваринам.

Експлуатаційні властивості біодизеля мають ряд особливостей:
1.Біодизель має відносно високу температуру помутніння, що викликає ускладнений запуск двигуна при температурі, нижчій за + 5^{0}С. В холодну пору року необхідно працювати на паливних сумішах із вмістом біодизеля не вище 20 %.
2.Використання біодизелю характеризується приводить до підвищеного нагаро - і смоловідкладення, а також до утворення осаду з кристалів воску за негативних температур.
3.Біодизель є гігроскопічною речовиною і здатний поглинати вологу з атмосфери, що призводить до корозії елементів паливної апаратури, а за низьких температур – до утворення кристалів льоду.
4.Потужність двигуна під час роботи в номінальному режимі з використанням біодизельного палива знижується на 6–8 % у порівнянні з мінеральним дизельним паливом. Відповідно, витрати біодизельного палива зростають приблизно на 5–8 %.
5.Біодизельне паливо має агресивні властивості до ґумових деталей та до лакофарбового покриття кузова.

6.Нетривалий термін зберігання біодизельного палива (до 3 місяців) до помітного погіршення показників.

Таблиця 8

Характеристики нафтового дизельного палива та біодизелю при навколишній температурі 40°С

Показники	Дизельне паливо	Біодизель
Щільність при 20°С, кг/м^3	820-850	875-900
Вязкість при 20 °С, мм^2/с	3,5-6,0	3,5-5,0*
Температура, °С:		
застигання (кристалізації)	< -10	0 -5
кипіння	180-360	> 200
спалаху	< 40	> 100
Октанове число (ИМ)	-	20-25
Цетанове число	не ниже 45	50-55
Відношення С/Н	6,5	6,5
Вміст сірки, %	0,2-0,001	< 0,1
Теплота:		
згоряння нижча, МДж/кг	42-43	37-38
пароутворення, кДж/кг	210	-
Теплота згоряння стехіометричної суміші (об'ємна теплопродуктивність),МДж/м^3	3,4	3,4
Масова теплопродуктивність, МДж/кг	2,8	2,7
Максимальна температура полумя, °С	2100	2000

До олійних культур, які можуть служити сировиною для виробництва біодизельного палива, належить понад 150 видів зростаючих по всьому світу рослин. В якості вихідної сировини, крім рапсу, можна використовувати будь-яку доступну рослинну олію – сою (США), пальмову олію (Філіппіни, Індонезія), кокосове масло (Філіппіни), касторове масло (Бразилія). У таблиці 9 наведено характеристику продуктивності олійних культур, які знаходять використання для

виробництва біодизеля. Є досвід виробництва біодизеля з риб'ячого жиру та тваринних жирів, які отримують при обробці шкіри тощо.

В країнах південної Європи (Іспанія, Італія, Греція) у якості сировини для виробництва біодизеля переважно використовують соняшникову олію та решта європейських країн - рапсову. Обсяги виробництва біодизельного палива у світі стрімко зростають. Показники виробництва цього виду палива у 2019 році складали 44,8 млн тонн.

Основною економічно ефективною вихідною сировиною для виробництва біодизелю в умовах України є насіння ріпаку. Ріпак – олійна культура сімейства капустяних, є цінною кормовою культурою. Насіння ріпаку містить від 38 до 50% олії, 16-29% білка, 6-7% клітковини, 24-26% безазотистих екстрактивних речовин. Розрізняють ріпак двох видів – озимий та ярий з дещо різними показниками врожайності та олійності. Урожайність насіння сортів озимого ріпаку може досягати 60 ц/га, а ярих сортів – 45 ц/га. При переробці ріпаку з кожних 100 кг насіння одержують до 41 кг олії та 57 кг макухи. Гектар цієї культури (при врожайності 30 ц/га) забезпечує вихід 1,0-1,3 тонн олії та 1,6-1,8 тонн шроту, який містить до 40% збалансованого за амінокислотним складом білка і може бути використаним для приготування комбінованих кормів для тваринництва. Якщо розглядати у якості сировини ріпак, то з урожаю з одного гектара виробляють понад 1000 літрів ріпакової олії.

Таблиця 9

Вихід олії з різних видів рослинної сировини з одиниці площі посівів

Сировина	Вихід олії, кг олії/га	Вихід олії, л олії/га
Соя	375	446
Соняшник	800	952
Земляний горіх (арахіс)	890	1 059
Ріпак	1000	1190
Кокосовий горіх	2260	2689
Пальмова олія	5000	5950
Мікроводорості	80500	95000

Україна має значний потенціал для вирощування ріпаку. Сприятливі умови для вирощування цієї культури існують у Вінницькій, Житомирській, Івано-Франківській, Київській, Львівській, Волинській та

інших областях. Особливо привабливим є вирощування енергетичного ріпаку на землях, які забруднені радіацією та непридатні для вирощування харчової продукції (особливо на Поліссі). Це зумовлене властивостями ріпаку очищати грунт від радіонуклідів.

Потенційні можливості України у вирощуванні ріпаку становлять орієнтовно 3 млн га, за середньої врожайності 15…30 ц/га. У масштабах України перероблення 75 % врожаю ріпаку забезпечує сировиною виробництво до 2,7 млн т біодизеля. Такі обсяги біодизельного палива еквівалентні мінеральному дизельному паливу, для одержання якого необхідно переробити 7,7 млн т нафти.

Сировинна база для виробництва біодизеля в Україні є досить широкою, але найбільш раціональним є вирощування насіння ріпаку. Якщо розглядати у якості сировини ріпак, то з урожаю з одного гектара виробляють понад 1000 літрів ріпакової олії. Однак, за відсутності виробничої бази для виготовлення біодизелю, левова частина вирощеного ріпаку у неперероблену вигляді експортується Україною в країни Європи. Європейський Союз планує в подальшому збільшувати частку поновлювальних джерел енергії за рахунок імпорту насіння ріпаку з таких країн як Україна, Бразилія і Росія та пальмової олії - з Малайзії та Індонезії.

Рис.81. Посіви ріпака та його насіння

З погляду агрономії ріпак, як агрокультура, має ряд переваг:

1.Ріпак є цінним попередником. Завдяки розвиненій кореневій системі забезпечуються кращі умови для аерації грунтів.

2.Ріпак є хорошим сидератом. Він може забезпечити збільшення органічної речовини в ґрунті у кількості, еквівалентній внесенню 10 - 15 т/га гною.

3.Завдяки розвиненій кореневій системі, посіви ріпаку сприяють зменшенню забур'яненості полів. За правильної технології вирощування ріпаку знижується інтенсивність ерозії ґрунтів.
4. Для вирощування ріпаку придатні усі типи ґрунтів із pH 6,0 - 7,0.

З іншої сторони, вирощування ріпаку веде до утворення негативних наслідків, а саме.

1.Ріпак виносить з ґрунту в 1,5 рази більше поживних речовин, особливо азоту, порівняно з зерновими культурами.
2.Ріпак вимогливий до мінерального підживлення грунтів та умов його проведення. Для отримання врожайності 20 ц/га насіння ріпаку під посіви необхідно щорічно вносити на один гектар 1,5 центнерів складних добрив (азот/фосфор/калій =10:26:26), а також 3 центнери аміачної селітри.
3. Перезимування озимого ріпаку у безсніжні зими несе у собі ризики вимерзання.
4.Через малий розмір насіння складно проводити точний рівномірний висів, що є визначальним фактором майбутньої урожайності.

Економічна привабливість вирощування рапсу в Україні й підвищення рентабельності його культивування вимагають дотримання вимог сівозміни, враховування залежності врожайності рапсу від кількості опадів, а головне, збереження посівних площ під основні сільськогосподарські культури (цукровий буряк, ячмінь, соняшник тощо).

Для виробництва біодизеля у якості сировини використовується очищена рослинна олія. Виробництво біодизелю з ріпаку є процесом, що поєднує теплофізичні, хімічні та фізико-хімічні операції, які застосовуються в олійній та хімічній промисловості.

Для отримання рослинної олії з насіння ріпаку методом холодного пресування, у якості обладнання використовують прес – екструдер (рис.80). Вилучення олії з насіння здійснюється за рахунок руйнування клітинної структури тканин насіння. Сировина, при подачі насіння через завантажувальний бункер преса, захоплюється шнеком, що має змінний крок. По довжині крок шнека зменшується і досягає мінімального значення біля матриці, завдяки чому насіння стискається. При цьому під дією інтенсивного здавлення та короткочасного нагрівання клітинна структура масловміщуючих тканин руйнується і видавлюється олія. Вижимки, які утворюються в результаті пресування, використовуються у якості корма для тварин, що дозволяє більш раціонально використовувати рослинну біомасу.

Процес переестерифікації має три основні стадії:
- підготовка сировини до переробки;
- хімічний процес переестерифікації;
- відділення від продуктів реакції цільового продукту і надання йому товарних кондицій.

Якість отримуємого біодизельного палива в значній мірі залежить від ступеня підготовки сировинних тригліцеридів. Ріпакова олія для виробництва біодизельного палива, для запобігання зносу форсунок, повинна містити менше 24 мг твердих домішок на 1 кг олії. В олії є не допустимий вміст частинок розміром більше 1 мікрон. Домішки з олії видаляють шляхом фільтрування, відстоювання, центрифугування тощо. Очистку олії після віджимання проводять методом холодного осадження та фільтрування від твердих і колоїдних домішок, а саме білкових і слизистих речовин, фосфатидів. Сировина також не повинна містити домішок води, тому що в процесі виробництва біодизеля в суміші олії з водою будуть проходити реакції гідролізу тригліцеридів

Рис.82. Прес – екструдер

Рослинна олія для виробництва біодизеля зазвичай фільтрується у три послідовні стадії. Основна (перша) фільтрація, яка проводиться на намивних фільтрах, забезпечує видалення твердих домішок з олії. Свою назву намивні фільтри отримали через використання додаткового фільтрувального шару, що формується на поверхні фільтруючого елемента в процесі підготовки установки до роботи. При цьому верхній шар зернистого матеріалу має фільтрувальні канали більшого розміру, ніж пори фільтруючого елемента, що сприяє більш рівномірному осадженню домішок у всьому обсязі намивного шару і підвищує ефективність фільтрації. Намивні фільтри є резервуарами,

всередині яких знаходяться фільтруючі елементи з розміром пор 100-150 мкм (пористі керамічні, сітчасті, каркасно-навиті), на поверхню яких попередньо намивають шар спеціальних фільтруючих порошків. У якості фільтруючих порошків застосовують діатоміт, целюлозу, бентоніт, тирсу та інші матеріали з розміром частинок 50-70 мкм. Потік олії, спочатку проходить шар попередньо намитого фільтруючого матеріалу, звільняється від крупних домішок, далі проходить через пори фільтруючого елемента і відводиться з намивного фільтра.

Контрольна фільтрація, яка проводиться в мішковому фільтрі, захищає фільтровану олію від попадання домішок та каламуті у разі виникнення збоїв в процесі основної фільтрації.

Полірувальна фільтрація, яка видаляє найдрібніші частинки (понад 1 мікрон) домішок, проводиться на картриджних фільтрах намотаної конструкції з бавовни або поліпропілену (рис.81).

Рис.83. Катриджні фольтри

Залежно від потужності виробництва виділяють дві основні технології отримання біодизелю з рослинної олії.

1. «Холодна» технологія застосовується на невеликих підприємствах з продуктивністю до 500 тонн біопалива щороку. При переестерифікації рослинної олії у реактора періодичної дії змішують очищену від механічних домішок олію, метиловий спирт та лужний каталізатор (NaOH та KOH). Каталізатори підвищують швидкість реакції переетерифікації та збільшення виходу готової продукції.

За цією технологією процес одержання біопалива проводиться при температурі від 20 до 55^0 С, тривалість проходження реакції переетерифікації складає від 20 хв. до 2 год. Підвищення температури процесу на 10^oC веде до подвоєння швидкості реакції. Однак температуру проведення процесу, для забезпечення безпечних умов праці, обмежують значенням 55^0C, оскільки метанол закипає при 65^0C.

Процес переетерифікації істотно уповільнюється з причини обмеженої взаємної розчинності метилового спирту та жирів, що обумовлює двофазний характер реакції. Ця проблема долається інтенсивним перемішуванням і диспергуванням компонентів механічними мішалками лопатевого або пропелерного типу до повного розчинення кристалів каталізатора.

Для зміщення реакції переетерифікації вправо та утворення більшої кількості метилових ефірів, використовують надлишкові добавки метанолу. Реакція переетерифікації здійснюється у два етапи: на першому етапі до олії додається близько 80% метилового спирту і каталізатора. Утворений продукт зливається з реактора і проходить стадію видалення гліцерину, і надходить до другого реактора, де до ніпівпродукту додають 20% спирту і решта каталізатора.

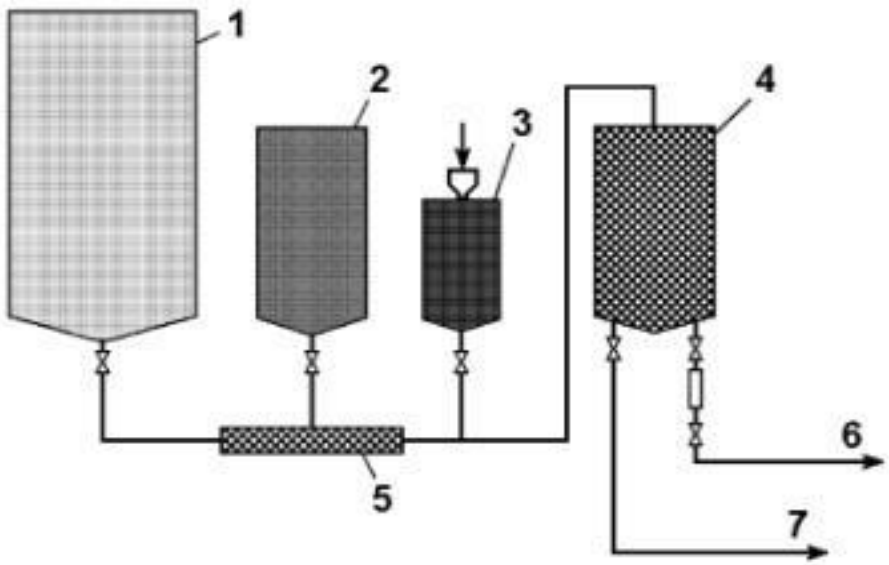


Рис.84. Схема технологічного обладнання з одним реактором періодичної дії для переетерифікації ріпакової олії в умовах агропромислового підприємства

1 - бак з ріпаковою олією; 2 – бак із метанолом; 3 - ємність з їдким калієм; 4-реактор; 5-змішувач; 6-трубопровід для відведення гліцерину; 7-трубопровід для відведення біодизелю (метилового ефіру)

2. «Гаряча» технологія застосовується на підприємствах великої потужності. Проходження реакції переетерифікації відбувається в герметичних реакторах безперервної дії без використання каталізаторів за рахунок підвищення тиску до 10 МПа при температурі 240°С. Процес переестерифікації здійснюється в двох послідовних реакційних контурах з проміжним відбором гліцерину.

Після завершення реакції переетерифікації проводять відстоювання і охолодження утвореної суміші. В результаті рідина розшаровується на дві фракції – легку і важку. Легка фракція є метиловим ефіром, важка – гліцерином. З отриманого гліцирину випарюють метанол шляхом нагрівання до 70^0С.

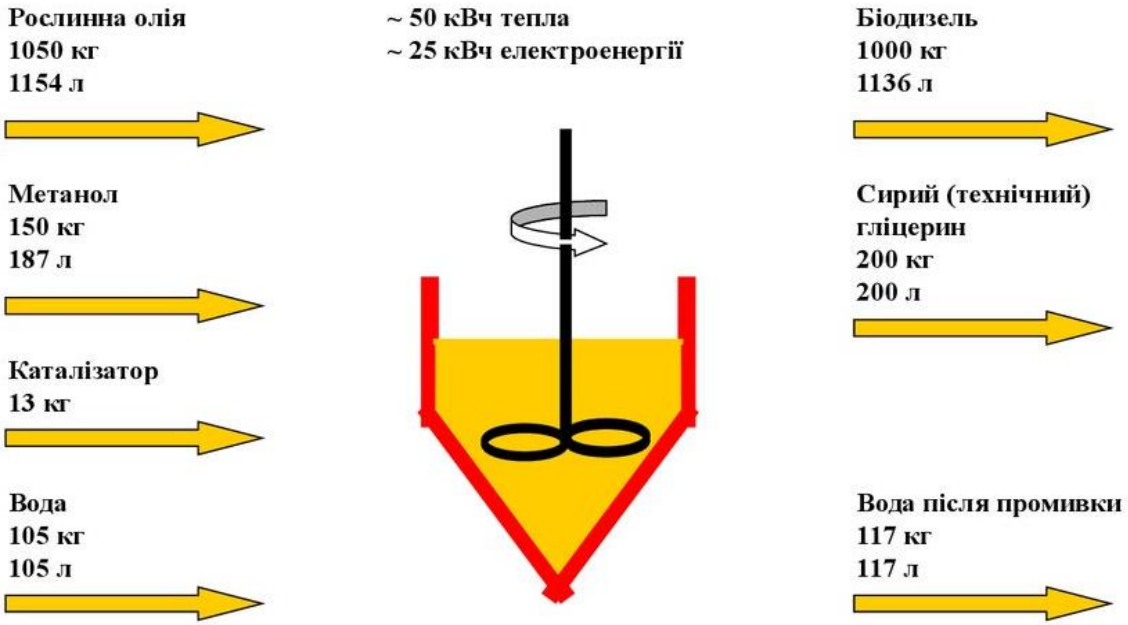


Рис.85.Баланс сировини, допоміжних матеріалів, енергоносіїв та продукції при виробництві біодизелю.

Для отримання якісного біодизельного палива проводять видалення з метилового ефіру водорозчинних домішок та продуктів омилення. Найчастіше застосовують метод «мокрого» очищення біодизеля шляхом водяного промивання. У цьому процесі вода з добавками кислоти виконує роль розчинника, який вимиває домішки. При промиванні змішуються рівні кількості води та біодизеля, після чого суміш відстоюється і вода зливається. Процес повторюють кілька разів. Каталізатор з біодизельного палива видаляють в процесі реакції із підкисленою водою, в результаті чого проходить нейтралізація каталізатора з утворенням мила, яке переходить в осад.

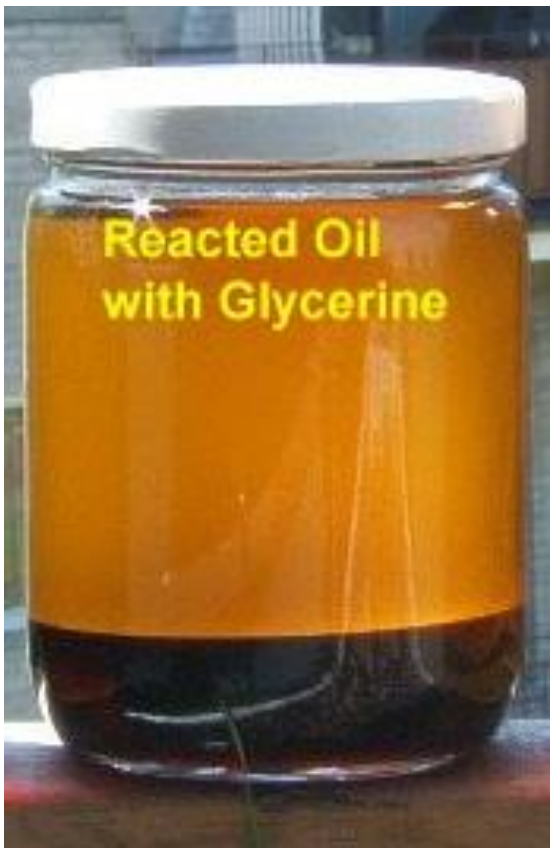


Рис.86. Розшарування продуктів реакції переетерифікації ріпакової олії на метиловий ефір та гліцерин

Повне видалення з біодизеля домішок гліцерину, води, сульфатів та каталізатора проводять шляхом проведення осушування метилових ефірів шляхом адсорбції. У якості адсорбентів використовують пористі гранули речовин, які здатні утворювати електричні (вандерваальсові) зв'язки між поверхневими молекулами біодизеля і молекулами адсорбента. У якості адсорбента використовують активоване вугілля, силікагелі, алюмогелі, цеоліти і деякі сорти глин.

Заключною операцією при виробництві біодизеля є вилучення з його складу метилового спирту шляхом випаровування під вакуумом. Видалений спирт регенерують, і знову повертають в технологічний процес.

Для отримання 1000 кг (1136 л) біодизельного палива необхідно затратити 50 кВт теплової та 25 кВт електричної енергії. Витрати сировинних компонентів становлять: 1040 кг (1143 л) ріпакової олії; 144 кг (114 л) 99,8 %-ого метанолу (має бути присутнім у надлишку); 19 кг 88%-ного їдкого калі (KOH); 6 кг допоміжного фільтрувального

матеріалу; 105 кг води. При цьому крім кінцевого продукту одержують 117 кг спрацьованої води й 200 кг сирого гліцерину.

На сьогоднішній день собівартість біодизелю в Україні не витримує конкуренції зі стандартним нафтовим дизельним паливом. В Європі конкурентоспроможність біодизельного палива досягається за рахунок встановлення пільг, державних дотацій та інших заходів стимулювання переходу на екологічно чисте паливо. Різниця в ціні поступово знижується внаслідок зростання цін на нафту. Світова практика підтверджує, що найбільш раціональним є застосування суміші традиційного дизпалива з вмістом до 20...30 % біодизеля. За рахунок таких заходів в країнах Європейського Союзу біопаливо не обкладається екологічним податком і коштує на 40% дешевше звичайного дизельного палива.

Останні роки замінником біодизеля на основі метилових ефірів масляних кислот (за європейськими стандартами марка FAME) починає використовуватися гідрована олія (марка HVO), яка виробляється при використанні в якості реагента воденю замість метанолу. У якості побічного продукту реакції гідрування утворюється не гліцерин, а горючий газ пропан. На відміну від біодизельного палива марки FAME, властивості палива HVO менш чутливі до коливань температур, а також до впливу сонячного світла. Також воно має більш тривалий термін зберігання у порівнянні з іншими видами біодизельного палива.

Обсяги виробництва біодизельного палива у світі стрімко зростають. За даними 2018 року світове річне виробництво біодизеля FAME (складало 34 млрд літрів, а виробництво біодизеля HVO досягло рівня 7,0 млрд л. Показники виробництва біодизеля FAME у 2019 році вже складали 44,8 млн тонн.

6.2. Виробництво біодизельного палива з водоростей

Водорості це гетерогенна група фототрофних одноклітинних, колоніальних або багатоклітинних організмів, об'єднаних за ознакою наявності хлорофілу та фотоавтотрофного живлення у водному середовищі. Водорості і вищі водяні рослини мають високу фотосинтезуючу активність. Важливим джерелом утворення кисню на планеті є світовий океан, де завдяки водоростям вироблено більше половини кисню на Землі. Фотосинтез сприяє як активному наростанню біомаси з вуглекислого газу, так і накопиченню в клітинах

мікроводорростей значної кількості високомолекулярних органічних сполук, насамперед вуглеводів і ліпідів.

Ліпіди переважно виконують енергетичну та захисну функції клітин мікроводоростей. Вміст ліпідів в клітинах більшості водоростей коливається від 20 до 50%, але у деяких видів може досягати до 80% від сухої маси. При вирощуванні на площі 1 га землі можна отримати 446 л соєвої олії або 2690 л пальмової, а з такої ж площі водної поверхні - близько 90 000 л біодизелю. Мікроводорості є не продовольчою біомасою, тому їх переробка на біопаливо не несе продовольчої загрози для держави. Завдяки цьому водорості представляють інтерес як вид біопалива, що відноситься до третього покоління.

Таблиця 10

Водорості з підвищеним потенціалом утворення ліпідів

Вид	Вміст ліпідів, % до сухої маси
Ankistrodesmus braunii	73
Chlorella protothecoides	58
Neochloris oleoabundans	54
Pleurochrysis carterae	50
Nannochloropsis spp.	41
Arthrospira (Spirulina) platensis	29
Tetraselmis suecica	25

Виробництво біопалива з фітомаси мікроводоростей, вирощених у промислових фотобіореакторах або водоймищах, можливо використовувати за двома напрямками:

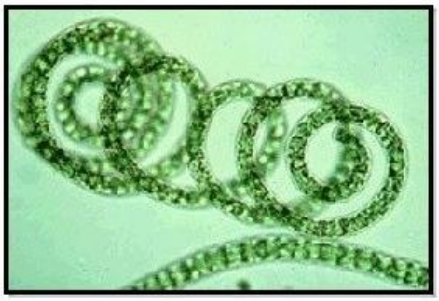
- отримання мікроводоростей як кінцевого товарного продукту – біопалива для прямого спалювання в топках котельних установок;
- виробництво штучного дизельного біопалива з ліпідів водоростей.

Високий вміст ліпідів в клітинах мікроводоростей дозволяє вважати їх ефективною сировиною для отримання біодизельного палива. Відсутність у мікроводоростей твердої лігнінової оболонки, робить їх переробку на рідкі види палива технологічно простішою та ефективнішою, порівняно з переробкою біомаси з грунтових олійних культур. Біодизель з одноклітинних водоростей містить велику кількість поліненасичених жирних кислот, які дозволяють такому паливу зберігати низьку в'язкість при низьких температурах.

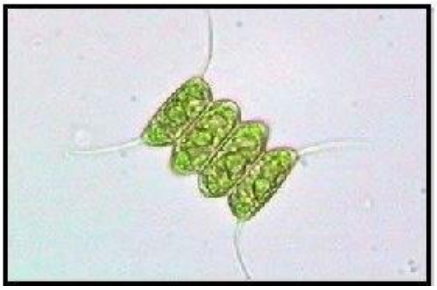
Відомо близько 40 тис. видів мікроводоростей, але найбільш перспективними для виробництва біодизелю вважають представників сімейств Chlorella, Dunaliella, Scenedesmus, Spirulina.

Водорості можуть подвоювати свою массу за добу у кілька разів. Прогнозується, що в майбутньому мікроводорості можуть стати одним із найважливіших джерел біодизелю, що використовується в транспортній галузі. Ці мікроскопічні рослини можна вирощувати в забрудненій або солоній воді, пустелях та інших місцях непридатних для ведення сільськогосподарського виробництва. До того ж мікроводорості, як водна культура нехарчового призначення, не створює територіальної конкуренції сільськогосподарському рослинництву і надає реальну можливість знизити, а в перспективі практично звести до мінімуму необхідність використання харчових культур як сировини для рідкого біопалива.

Chlorella



Spirulina



Scenedesmus

Для розвитку мікроводоростей оптимальною є температура в межах від 20 - 30 °С при рівні pH від 8,2 до 8,7. Такі умови нескладно досягнути при використанні скидного тепла теплових електростанцій, яке здатне покрити значну частину потреб у теплі, яке необхідне для вирощування водоростей. Для росту мікроводоростей також необхідна наявність у воді вуглекислого газу, який клітини водоростей використовують у процесі фотосинтезу. Чим вища концентрація вуглекислого газу, тим швидше водорості будуть нарощувати свою масу. Для досягнення високої біомаси водоростей раціонально здійснювати насичення води сумішшю повітря та вуглекислого газу, наприклад, яка містить до 1% CO_2 за об'ємом.

При організації промислового виробництва мікроводоростей використовуються системи циркуляційних реакторів з відкритими ставками, у яких інтенсивне переміщення води здійснюється за допомогою лопатевого пристрою. Основною перевагою цих реакторів є те, що вони економічні і прості в обслуговуванні, але мають низьку продуктивність через невисоку інтенсивність освітлення в глибинних шарах та низку продуктивність введення до складу води вуглекислого газу з атмосфери в процесі перемішування.

Для відкритих ставків, у яких вирощують мікроводорості, характерними є кілька недоліків.

1.Мала глибина проникнення сонячного світла в товщу водно-водоростевої суміші, через що ефективність використання великих ємностей, та відкритих водойм, виявляється низькою.

2. Обмежене утворення біомаси через невелику глибину ставків.

3.Відкрита система ставків схильна до заселення іншими формами життя, які, в кінцевому рахунку, починають конкурувати з водоростями за важливі поживні речовини, знижуючи продуктивність виробництва високоліпідної біомаси.

4.Залежність продуктивності виробництва біомаси від ступеню насичення води вуглекислим газом.

Мікроводорості також можливо вирощувати в промислових масштабах у фотобіореакторах, що освітлюються штучними джерелами світла. Обладнання фотобіореакторів для вирощування мікроводоростей є досить простим в технічному виконанні та екслуатації. Установка являє собою повністю автоматизовану замкнуту систему фотобіореакторів, де контролюються всі параметри росту культури мікроводоростей. Штам культури певної водорості попередньо закладається в фотобіореактор і далі відбувається безперервний замкнутий цикл відтворення. Культура зберігається й розмножується без руйнації протягом тривалого часу.

Відділення мікроводоростей від води є ускладненим із-за низької ефективності фільтрів. Вибір методу залежить від розмірів водоростей, їх щільності та від об’ємів біомаси. Найбільш поширеними методами збору і відділення відоростей від води є: фільтрація, центрифугування, седиментація та флотація.

Жири, які утворюються у мікроводоростях, накопичуються в клітинах у вигляді тригліцеридів. Для одержання ліпідної фракції проводять руйнування клітинних оболонок мікроводоростей в апараті, що створює вихрове електромагнітне поле з феромагнітними частинками.

Під дією електромагнітного поля тверді частинкиі хаотично рухаються і здійснюють руйнування клітинних стінок водоростей. Отримана суспензія подрібненої біомаси піддається екстракції легкокиплячим органічним розчинником (гексаном) в роторному імпульсно-кавітаційному апараті. Екстракція – це дифузійний процес в якому відбувається відбір олії із сировини. Розчинник, проникаючи крізь мембрани клітинок речовини, що екстрагується, дифундує в олію, а олія з клітин – в гексановий розчинник. Продуктом такої обробки є розчин ліпідів в органічному розчиннику. По завершенню процесу екстракції отриманий розчин піддається випарюванню у вакуумному випарному апараті, отримуючи при цьому цільовий продукт – олію та чистий розчинник у вигляді пару, який після випарювання конденсують і повторно використовують. Дана технологія дозволяє отримати з біомаси мікроводоростей високий вихід ліпідної фракції і використовувати її як сировину для виробництва біодизельного палива.

Рис.87. Біореактори для вирощування мікроводоростей: а – відкритого ставкового типу; б – трубчастий біореактор

Дизельне паливо з ліпідів водоростевої маси також отримують методом гідротермального зрідження: мокру біомасу під тиском 200 атмосфер нагрівають до температури вище 300°С. В результаті утворюються дві фракції: рідке біопаливо та густа маса, що після відстоювання залишаєтьсяу на дні реактору у вигляді осаду.

Технологічний процес виробництва біодизельного палива з водоростей практично є безвідходним. Після отримання біодизеля сухі відходи біомаси водоростей зберігають усі необхідні вітаміни і цінні

речовини, що дозволяє їх використовувати, як кормові добавки в рибних господарствах та тваринницьких фермах. Крім того є можливим перетворення відходів у паливні брикети. Знежирена біомаса містить суміш залишків оболонок і клітинного білка в легкозасвоюваній формі, яку є ефективною кормовою добвкою для тварин.

Сьогодні у галузі виробництва біодизелю з мікроводоростей за рахунок інвестицій лідирують Нідерланди, Німеччина, США і Австралія. Однак ціна за літр біопалива, яке вироблене з морських водоростей залишається ще досить високою.

6.3. Виробництво біоетанолу

Біоетанол являє собою зневоднений етиловий спирт, який отримуюь в процесі переробки рослинної сировини. Цю речовину можна використовувати як біопаливо, або як добавка до палива на основі бензину для карбюраторних двигунів внутрішнього згорання. На відміну від бензину, що виробляється з нафти, при згоранні біоетанолу в атмосфера в меншій мірі забруднюється викидами вуглекислого газу, оксиду вуглецю, оксидів азоту, а також канцерогенних сполук.

Хімічна формула етилового спирту C_2H_5OH. Це безбарвна рідина з характерним запахом з температурою плавлення -114,15°С та температурою кипіння 78°С. Етиловий спирт змішується у всіх співвідношеннях з водою, спиртами та бензином. До бензину додають не харчовий 96 %-й етиловий спирт, а зневоднений етанол, оскільки він не приводить до розшарування з утворенням водної емульсії. Біоетанол є не токсичною речовиною і не забруднює грунтові води. При розливі він практично повністю розкладається впродовж 25 - 30 днів й не завдає екологічної шкоди, тоді як один кілограм нафтопродуктів може забруднити до мільйону літрів питної води, знищуючи в ній всю флору й фауну.

Теплотворна здатність етилового спирту нижча, ніж у бензину (26 МДж/кг проти 44 МДж/кг). Відповідно, паливний еквівалент 1 літра етанолу відповідає 0,65—0,66 літра бензину. Використання етанолу у якості автомобільного палива веде до часткової втрати потужності двигуна. Використання чистого етанолу ідеально підходить для країн з теплим кліматом, де температура в холодну пору року не опускається нижче за $+10^0$С. Для етанолу нижня межа випаровуваності

є майже в три рази вищою (- 15 °С), ніж у бензину. Тому при роботі на етанолі і спирто-бензинових сумішах запуск двигунів при низьких температурах ускладнюється. При експлуатації автомобілів у холодних умовах необхідно передбачувати перед запуском двигуна підігрів палива на основі етанолу. Додавання в паливну суміш на основі етанолу 15% бензину забезпечує легкий запуск двигуна при температурах при -10 ° С; додавання 25% бензину - при -25°С.

Використання у якості палива етанолу вимагає проведення ретельного підбору матеріалів, які при роботі автомобіля контактують з цією речовиною. Етанол створює агресивну дію на цинк, латунь, свинець, алюміній, сталь. Це призводить до прискореного зношування трубопроводів, резервуарів, паливних баків, а також до забруднення палива механічними домішками з продуктів корозії. Крім того взаємодія з етанолом веде до руйнування гумових та пластикових ущільнювачів.

Основними перевагами використання біоетанолу у якості автомобільного палива є наступні положення.

1.Екологічність. При згорянні чистого біоетанолу відбувається зменшення шкідливих викидів в атмосферу, оскільки продуктами згорання є лише вода та вуглекислий газ,. Використання бензину з добавкою 10% біоетанолу дозволяє зменшити викиди в атмосферу парникових газів, бензоперена, діоксинів та інших канцерогенних речовин. За наявності в біопаливі до 15% етилового спирту досягається зменшення у вихлопних газах окису вуглецю СО на 25%, оксидів азоту на 5-15%.

2.Низька вартість. Біоетанол виробляють з відновлюваної сировини, зокрема, з відходів сільського господарства. У різних країнах собівартість виробництва 1 літра біоетанолу різниться (США – 0,3$; Бразилія – 0,2$; європейські виробники – близько 0,5$, для порівняння ціна 1 літра нафтового бензину складає від 0,5$ до 0,8$);

3.Технічні особливості. Через високе октанове число (октанове число етанолу становить 105) біоетанол можна спалювати в сучасних двигунах внутрішнього згоряння із високим ступенем стиснення без використання спеціальних присадок. Біоетанол підвищує антидетонаційну стійкість бензину і повноту його згоряння. Змішуючи етанол, який має високі антидетонаційні властивості, з низькооктановим бензином, досягається підвищення октанового числа утвореної суміші. Це дозволяє підняти коефіцієнт корисної дії двигуна. Етиловий спирт у складі паливної суміші забезпечує очищення паливної системи двигуна, запобігає утворенню нагару на свічках,

однак його гігроскопічність є причиною підвищеної корозійної агресивності.

4.Безпека використання. Біоетанол нетоксичний, не має різкого запаху. Розливи етанолу не створюють екологічних катастроф, як у випадку з розливом нафтопродуктів.

5.Економічність. Застосування біоетанолу досягається за умови, що в країні-виробнику відсутні власні значні запаси нафти, сприятливий клімат і розвинена галузь рослинництва. Використання 1 декалітру етанолу дозволяє заощадити понад 2,5 декалітри сирої нафти. Для утворення суміші етанолу з бензином може використовуватися низькоякісний бензин, вихід якого з сирої нафти є більшим, ніж високоякісного. Застосування такої суміші сприяє більш повному використанню нафтопродуктів. Позитивний ефект дає також відсутність витрат на розвідку, добування та транспортування нафти.

У 2018 році в світі було вироблено близько 106 млрд літрів біоетанолу. Найбільшими виробниками біоетанолу були США (56% світового виробництва), Бразилія (28%), країни ЄС (5%), Китай (4%) і Канада (2%). При цьому в США 94,3% біоетанолу було вироблено з кукурудзного крохмалю. В той же час розраховувати на повний перехід автомобільного транспорту на етанолове паливо неможливо. Якщо припустити стовідсоткову ефективність процесу переробки, то для того, щоб лише в США перевести автомобільний транспорт з нафтопродуктів на етанол, потрібно до 75% сільськогосподарських угідь нашої планети засіяти відповідними технічними культурами.

У сучасних двигунах для транспортних засобів застосовують стандартизовані паливні композиції, що відповідають певним показникам, викладно до національних і міжнародних стандартів. Згідно ДСТУ 7166:2010 «Біоетанол. Технічні умови» залежно від технології виробництва біоетанол може бути марок «А» та «Б» з об’ємною часткою спирту етилового не менше 97,8% та 98,3%.

Етанол-вуглеводневі паливні суміші прийнято позначати буквою Е (від англ. Ethanol) і цифрою, що відповідає процентному вмісту етанолу в суміші. Наприклад, паливо Е10 містить близько 10% етанолу, Е85 - до 85% етанолу. У іноземній літературі зустрічаються визначення Low Blend Fuel (паливна суміш з 5-15% вмістом етанолу), High Blend Fuel (паливна суміш з 60-95% вмістом етанолу). На сьогоднішній день всі світові виробники адаптували автомобілі до використання паливних сумішей з вмістом етанолу до 10%.

У Західній Європі, США і Бразилії має місце реалізація автомобільного палива з вмістом біоетанолу 70 - 95% під марками Е85 – Е95. Подібне паливо придатне лише для використання на спеціально розроблених автомобілях. Автомобілі з такими двигунами мають назву FFV (Full Flexible Vehicle – повністю гнучкий транспортний засіб), оскільки вони придатні для використання палива з будь-яким вмістом етанолу.

На сьогодні основна частина бензину, який продається в країнах ЄС, зазвичай містить 10% етанолу (Е10). Частка бензину Е10 на ринку бензину в Німеччині в 2016 році склала 12,6%. В такому паливі етанол розглядається як антидетонаційна присадка.

Таблиця 10

Вимоги до фізико-хімічних показників якості біоетанолу марки Б згідно ДСТУ 7166:2010 Біоетанол. Технічні умови

Назва показника	Характеристика і норма
Зовнішній вигляд та колір	Прозора безбарвна рідина або світло-жовтої забарви
Густина за температури (20+/-0,1) ^{0}С, кг/м^3	Від 787 до 792
Об’ємна частка води, %, не більше ніж	0,2
Масова концентрація сухого залишку, мг/дм^3, не більше ніж	100
Об’ємна частка спирту етилового, %, не менше ніж	98,3
Об’ємна частка метанолу, %, не більше ніж	1,0
Об’ємна частка циклогексану, %	-
Масова частка кислот у перерахунку на оцтову кислоту, %, не більше ніж	0,007
Масова концентрація вищих спиртів C_3 – C_5, г/дм^3, не більше ніж	12,0
Об’ємна частка бензину (вуглеводнів), %	Від 1,0 до 1,5
Масова частка сірки, мг/кг, не більше ніж	10,0
Масова концентрація фосфору, мг/дм^3, не більше ніж	0,5
Масова частка міді, мг/кг, не більше ніж	0,1
Масова концентрація неорганічних хлоридів, мг/дм^3, не більше ніж	20,0

Для запобігання нецільового використання біоетанолу (спиртового сурогату) передбачена його денатурація різними органічними домішками, яка робить його не придатним для харчового вживання через наявність спеціальних добавок, або паливних присадок. Денатуруючі добавки повинні:

- надавати спирту неприємного відштовхуючого смаку;
- бути дешевими;
- легко визначатися у фальсифікованих напоях;
- бути такої природи, щоб вилучення їх із спирту було економічно недоцільними;
- не повинні погіршувати технологічні властивості спирту і негативно впливати на його подальше використання.

У якості денатуруючої добавки до етанолу переважно додають 1% бензину.

Для виробництва етанолу використовують такі методи:

- хімічний процес гідратації етилену, який дозволяє у промислових масштабах отримувати синтетичний етанол;
- бродіння органічних продуктів з високим вмістом вуглеводів (цукрова тростина, картопля, рис тощо);
- гідроліз целюлози з рослинної сировини.

Паливний біоетанол переважно виробляється за технологіями близькими до виробництва харчового етилового спирту. Основна відмінність між цими речовинами полягає в ступені очищення: для виробництва біоетанолу досить використовувати дві ректифікаційні колони, тоді як при виробництві харчового спирту таких колон необхідно п'ять.

Біоетанол відносять до біопалива першого покоління, яке виробляють з такої біомаси, як кукурудза, цукрова тростина або пшениця. При цьому слід враховувати, що на кожну калорію, яку людство виробляє і використовує для свого харчування, витрачається 10 калорій від нафти, природного газу чи камяного вугілля. Вихід етанолу по відношенню до сировини (в декалітрах/т) становить:при виробництві із зерна 34-36, з картоплі 9-12, з цукрових буряків 12, із цукрової тростини 6-8, із цукрового сорго 9-15, з топінамбуру 9-13, з меляси 30-35. Вихід біоетанолу при переробці різної сировини, виражений у літрах на 1 га посівних площ становить: ячмінь – 1500, пшениця – 2000, кукурудза – 2500, цукровий буряк – 3000, цукрове сорго – 4000, цукрова тростина – 50.

Таблиця 11

Орієнтовна урожайність різних сільськогосподарських культур та можливий вихід біоетанолу з біосировини

Культура (біосировина)	Планова урожайність, ц/га	Вихід етанолу	
		З 1 тонни сировини, л/т	на 1 гектар посівних площ, л/га
Цукровий буряк	900	50	4498
Картопля	324	114	3693
Кукурудза (зерно)	70	416	2912
Пшениця	50	395	1975
Ячмінь	58	370	2150

У зв'язку з нафтовою кризою 1973 року у відповідь на високі ціни на нафту і зростаючу залежність від імпорту уряд Бразилії зробив обов'язковим використання автомобільного палива у вигляді сумішей етанолу та бензину. У 1975 році Бразилія започаткувала програму надання державних субсидій для виробників паливного етанолу з цукрової тростини. У Бразилії створено окрему галузь з вирощування цукрової тростини. 4,5% площі Бразилії зайнято плантаціями цукрової тростини. Вирощування цукрової тростини не конфліктує з продовольчим сектором, оскільки в цій країні досить багато невикористовуваних угідь. При виробництві широко використовується дешева ручна праця, що приносить значні доходи місцевим бізнесовим структурам. У Бразилії, де умови для вирощування цукрової тростини ідеальні, з одного гектара щорічно одержують 7500 літрів етанолу. Понад 80 % виробленого етанолу використовується як компонент моторних палив, решта розподіляється між спиртом для виготовлення алкогольних напоїв та сировиною для органічного синтезу. Нині Бразилія забезпечує 40% своїх потреб в автомобільному паливі за рахунок використання спирту. Досвід Бразилії є прикладом успішного переходу від нафтопродуктів до «зеленої енергії», зниження залежності від імпорту палива, розвитку внутрішнього агросектору та посилення позицій на міжнародному ринку біопалива.

В США на виробництво біоетанолу витрачається до 40% річного збору кукурудзи. З 1993 по 2003 рік у США площа залучених до обороту земель для вирощування кукурудзи збільшилася на 30%, а врожайність кукурудзи (по зерну) зросла за той же період на 58%. 1 га кукурудзи у США дає 3800 л біоетанолу. Виробництво етанолу, який засаджено кукурудзою, у США є в 5-6 разів менш ефективним порівняно виробництвом етанолу з цукрової тростини у Бразилії, де рослинну сировину після подрібнення та відокремлення від неї соку використовують у якості палива на теплових електростанціях.

Зростання світового виробництва біоетанолу з 2000 року перевищило 400%.

За даними Держстату в Україні у 2018 році було зібрано 70 млн тонн зернових, із них 35,8 млн тонн кукурудзи. Україна вийшла на 5 місце по світовому виробництву кукурудзи, але, на жаль, торгує наша держава не продукцією, а сировиною і не виробляє моторне біопаливо з цієї культури. Для України експорт виробленого етанолу був би вигіднішим, вивезення сировини для його виготовлення. Наразі Україна експортує до країн ЄС близько 12 млн. тонн кукурудзи, яка йде на виробництво біоетанолу. Якби Україна переробляла на біоетанол хоча б 10% урожаю кукурудзи, це дозволило б виробляти 1,15 млн. т рідкого палива щорічно. Для прикладу, Аргентина збирає 37 млн тонн кукурудзи та виробляє 900 тис. тонн біоетанолу.

Головною проблемою при виробництві біоетанолу із товарної сільськогосподарської продукції, насамперед із зерна, є скорочення частки земель, зайнятих під виробництво кормових та харчових культур і, як наслідок, зростання цін на продовольство. Так, в США, внесок зростання використання зерна для виробництва біоетанолу у підвищення цін на продовольство у 2008 р. становив 35 %.

Технологічний процес виробництва біоетанолу розпочинається зі збору рослинної сировини, їх попередньої підготовки (миття, розрізання, дроблення тощо). Зерно, в першу чергу очищується та замочується. Розбухле зерно проходить мокре дроблення для відділення зародка від клітковини. Розчин, що залишився після сепарації, містить полісахариди у вигляді крохмалю і глютен (клітковина), спрямовується на другу стадію сепарації. На цьому етапі підготовки сировини відбувається розділення глютену і крохмалю.

Отриманий вологий крохмаль, за допомогою відповідних технологічних операцій, може перетворюватисяється на такі продукти як сухий крохмаль, етанол, концентровану фруктозу тощо.

Для виробництва біоетанолу полісахариди (крохмаль або целюлоза), які є компонентами рослинної сировини, необхідно попередньо розчепити до простих цукрів. Це здійснюється шляхом проведення хімічної реакції гідролізу (оцукрювання) крохмалю чи целюлози з водою, в результаті якої полісахариди розщеплюється до мальтози з наступним її розкладанням до сахарози чи глюкози. Гідроліз може відбуватися під час нагрівання крохмалю з водою в присутності кислот (кислотний гідроліз) або під дією ферментів амілози (ферментативний).

Для отримання біоетанолу з гідролізованих вуглеводнів застосовується ферментáція - мікробіологічний спосіб спиртового бродіння. В процесі ферментáції відбувається анаеробний метаболічний розпад (зброджування) молекул глюкози за допомогою дріжджів з отриманням таких продуктів як етанол, вуглекислий газ, молочна кислота, оцтова кислота тощо.

Розмноження дріжджів до об’ємів, необхідних для зброджування сировини в промислових умовах, відбувається в дріжджових апаратах (дріжджанках). Дріжджі живуть і розмножуються при певних температурних умовах. Максимальна температура для розвитку дріжджів 38 ^{0}С, мінімальна 5 ^{0}С; при температурі 50 ^{0}С дріжджі гинуть. Їх найбільш активна життєдіяльність відбувається при температурі 29 – 30 ^{0}С при кислотності 4,5-5,0 pH.

При ферментації до сусла з водним розчином сахїарози додають дріжджі та підвищують температуру до 25 - 30°С. Фермент дріжджів (інвертаза) перетворює сахарозу на глюкозу та фруктозу. Ці сахариди під дією дріжджових ферментів спиртового бродіння перетворюється на етиловий спирт та вуглекислий газ за реакцією

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

(180 кг глюкози → 92 кг біоетанолу + 88 кг CO_2).

В результаті спиртового бродіння із сусла утворюється спиртовмісний розчин, який називається брагою. При дріжджовому бродінні сумішей, що містять цукор, утворюється розчин з максимальним масовим вмістом етанолу близько 15%. При більшому підвищенні концентрації етанолу дріжджові бактерії гинуть, що призводить до припинення процесу утворення етилового спирту.

Бродильні апарати являють собою ферментатори, обладнані мішалкою, системами підігріву та охолодження сусла, трубопроводами для подачі сусла, дріжджів та миючого розчину, а також видалення вуглекислого газу та браги.

Методами генетичної інженерії отримані високоефективні раси дріжджів, які мають підвищену амінокислотну активність. Промислове використання таких дріжджів дозволяє суттєво прискорити процес зброджування сусла і зменшити витрати оцукрених матеріалів.

Для отримання паливного етанолу необхідно від браги відділити тверді часки дріждів і більшу частину води. Етиловий спирт із браги відділяється методом дистиляції (фракційною перегонкою). Температура кипіння етилового спирту складає 78,3°С і тому він при нагріванні випаровується раніше за воду, після чого при охолодженні парів спирт конденсується. Залишок від дистиляції (брага без етанолу) називається бардою.

Основною складовою перегінних апаратів є ректифікаційні колони, які являють собою вертикальні циліндри з контактними тепло – масообмінними пристроями всередині. При дистиляції здійснюється однократний цикл випарювання і досягається лише грубе розділення суміші. Чистота відокремленого етанолу через утворення низькокиплячої азеотропної суміші вода-етанол обмежена 95-96%. Ця суміш називається спиртом - сирцем і може використовуватися як паливо лише самостійно. На відміну від безводного етанолу, спирт - сирець не змішується з бензином у необхідних співвідношеннях. У спирті-сирці також міститься значна кількість сивушних масел (ізоаміловий, ізобутиловий, н-пропіловий спирти) альдегідів, ефірів та кислот.

Домішки із спирту-сирцю видаляються шляхом ректифікації. Під ректифікацією розуміють очищення спирту-сирцю від домішок в результаті багатократного повторного випарювання етанолу і конденсації парів. В результаті ректифікації отримують спирт-ректифікат.

Заключною операцією виробництва паливного етанолу є дегідратація:

- азеотропна ректифікація з утворенням агентів, що розділяються на окремі фази;
- вакуумна ректифікація;
- мембранне очищення.

Азеотропна ректифікація полягає у додаванні до спирту – сирцю допоміжного компонента (бензолу або циклогексану). При цьому

утворюється гетерогенна азеотропна суміш, яка при перегонці утворює безводний етанол у нижній частині колони та парову суміш води, етанолу та циклогексану/бензолу. При зневодненні етилового спирту азеотропною ректифікацією з бензолом кипіння суміші «етиловий спирт − вода – бензол» починається при температурі кипіння її потрійного азеотропу (64,85^0C), яка нижча за температуру кипіння кожного окремого компонента. Після того як завершується випаровування суміші «етиловий спирт − вода – бензол», температура залишку підвищується до температури кипіння етилового спирту (78,39^0C). У цей момент процес завершують, а зневоднений етиловий спирт відбирають із установки.

Рис.88. Ректифікаційна колона

Технологічним проривом у виробництві паливного біоетанолу стало застосування замість дистиляції мембранних технологій, що дозволило суттєво знизити капітальні вкладення. При мембранній дегідратації використовують молекулярні сита для видалення води з спирту-сирцю. При застосуванні цього процесу пари етанолу

проходять через керамічне молекулярне сито з шару цеоліту - пористого матеріалу з точно витриманим розміром пор. Молекули води в силу підвищеної полярності затримуються в порах цеоліту електростатичними силами. У той же час молекули етанолу проходять крізь молекулярне сито, не затримуючись. Періодично гранули цеоліту регенерують у вакуумі для видалення адсорбованої води.

Для змішування бензину з біоетанолом застосовують гомогенізатори для рідинної обробки, дія яких базується на інжекторній чи ультразвуковій обробці паливної суміші.

Собівартість етанолу на 70-80% залежить від витрат за сировину. Найнижча собівартість (близько 200 євро/т) досягається під час переробки цукрової тростини, найвища (1000-1100 євро/т) під час переробки картоплі. Основні витрати ресурсів у розрахунку вироблення 1 літру етанолу: електроенергія – 0,3 кВт·год, теплова енергія – 10МДж, вода – 3 л.

Важливим показником у виробництві біоетанолу є енергетичний баланс, який означає співвідношення між кількістю енергії, акумульованою в отриманому паливі та кількістю енергії, витраченою на його виготовлення. Етанол, що виробляється з кукурудзи, має низький енергетичний баланс. Цей баланс лише на 24% перевищує енергію, яку витрачено на його виробництво. Тобто із п'яти гектарів кукурудзи чотири витрачаються безпосередньо на процес виробництва, і лише 20% йдуть на одержання товарного етилового спирту.

Перспективною сировиною для виробництва біоетанолу є традиційна для України культура - цукрові буряки, а також напівпродукти цукрового виробництва такі як меляса, дифузійний сік, цукровий сироп, патока тощо. Меляса – побічний цукровмістний побічний продукт цукрового виробництва. Меляса містить близько 80% сухих речовин і 20 % води. Сухі речовини представлені цукрами, безазотистими органічними та азотовмісними мінеральними речовинами. Основний цукор меляси – сахароза. У сухій речовині меляси її вміст складає 45-50%.

Позитивним моментом виробництва біоетанолу з меляси є менша на 20-30% потреба в енергоносіях, у порівнянні із використанням зернової сировини. Це пов'язано з тим, що при виробництві біоетанолу з меляси, на відміну від зернової сировини не потрібно застосовувати технологію гідролізу. Відповідно біоетанол з меляси відноситься до біопалива другого покоління. Технологія одержання етилового спирту з

меляси заснована на ферментативному зброджуванні цукрів дріжджовими мікроорганізмами.

Виробництво біоетанолу з меляси економічно доцільно здійснювати не спеціалізованих спиртових заводах, а безпосередньо на цукрових заводах. З 1 т цукрових буряків, перероблених на цукор, за виходу меляси у 4,7% від маси переробленої сировини, може бути вироблено 14,3 л біоетанолу. В цілому, Україна має нереалізований потенціал виробництва біоетанолу з меляси в обсязі понад 300 тис. л.

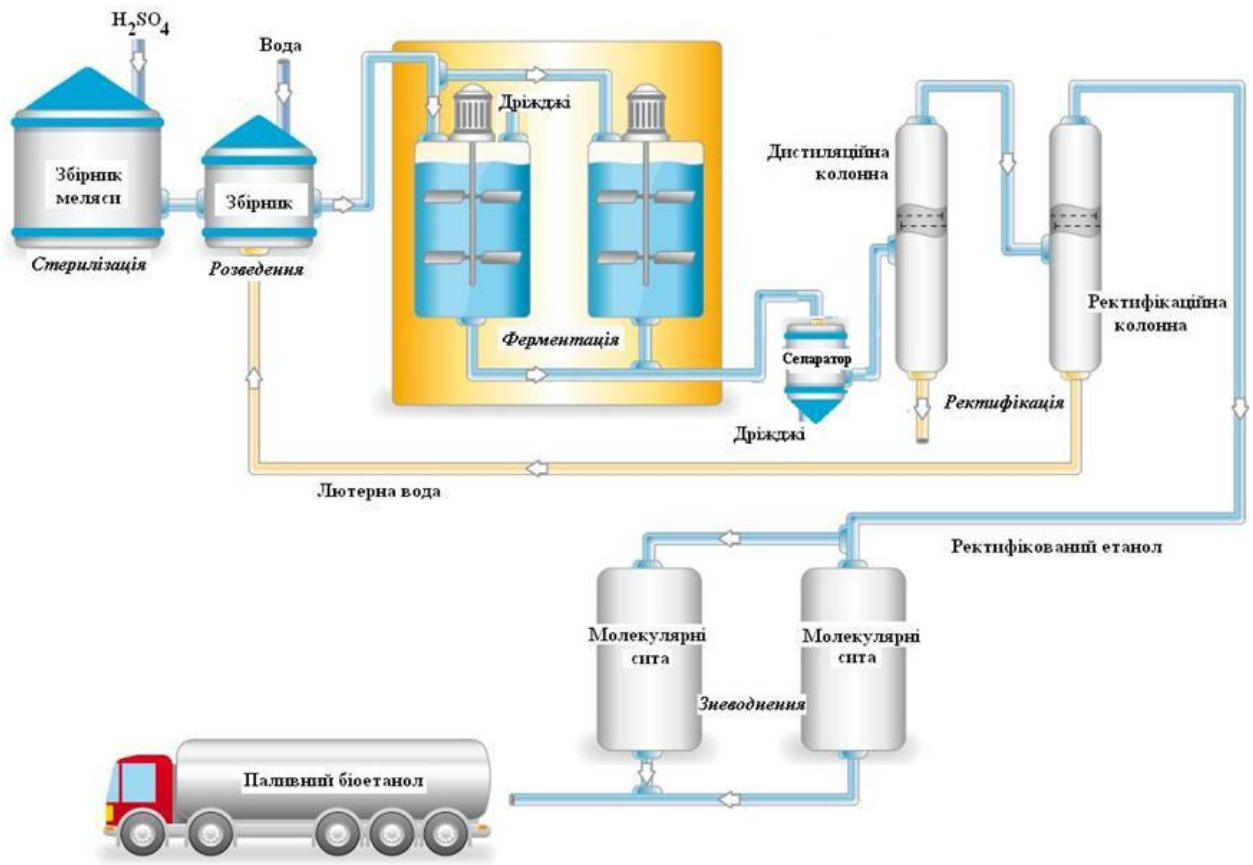


Рис.89. Виробництво біоетанолу з мелясної сировини

Стічні води біоетанольного виробництва характеризуються високим рівнем забруднення. В процесі виробництва біоетанолу утворюється значна кількість побічного продукта - спиртової барди. Виробництво біоетанолу стає більш економічно ефективним при подальшій переробці барди на біогаз, що дозволяє різко знизити екологічну шкоду навколишньому середовищу.

Технології виробництва біоетанолу першого покоління передбачає витрачання сировини для харчової продукції, яка багата на первинні вуглеводи. Можливість подолання ризиків витрачання харчової

сировини нині пов'язують із використанням для виробництва біоетанолу технологій другого покоління на основі нехарчової целюлозної сировини. Значна частина сахарози, що синтезується рослинами (більше 60 мас. %), витрачається ними на побудову клітинних стінок тканин, що утворюють деревину, кору, листя та коріння однорічних та багаторічних рослин. При цьому сахароза перетворюється на лінійні високомолекулярні полісахариди – переважно на целюлозу та лігнін. Целюлоза $(C_6H_{10}O_5)_n$ являє собою природний полісахарид. Величина **n** у молекулах целюлози становить приблизно 3 000. Сумарний вміст полісахаридів у целюлозі є близьким до їх вмісту у зерновій сировині. Так, деревина хвойних і листяних порід містить від 40 до 75% полісахаридів. Найбільш чистою природною целюлозною сировиною є - бавовняне волокно (85—90% целюлози). Величезні ресурси полісахаридів деревини, частина яких щороку відновлюється, є потенційною сировиною для виробництва етанолу та багатьох інших речовин. Найменш затратним джерелом для виробництва біоетанола є залишки сільськогосподарських культур, зокрема стеблова маса кукурудзи, яка має високий вміст сухих речовин.

Перед використанням деревини у якості сировини для виробництва біоетанолу полісахариди клітинних стінок рослин повинні бути спочатку перетворені на відповідні моносахариди шляхом гідролізу. Прикладом такої реакції є перетворення целюлози на глюкозу:

$$(C_6H_{10}O_5)n + (n\text{-}1)H_2O \rightarrow nC_6H_{12}O_5.$$

З 1 т целюлози шляхом її гідролізу й подальшої ферментації можливо отримати 150 л спирту, для порівняння, з тієї самої кількості цукрової тростини отримують лише 60–65 л цього продукту.

Гідролізний спирт - етанол, що отримується дріжджовим бродінням цукроподібних речовин, які отримуються гідролізом целюлози з відходів лісової промисловості.

У деревині хвойних дерев, нарівні з целюлозою, міститься природний полімер - лігнін, який не піддається гідролізу. Целюлоза не може розщеплюватися під дією розбавлених кислот, лугів, а також слабких окисників. Тому технологія гідролізного оцукрювання, яка традиційно застосовується при переробці зерна та картоплі, для деревної сировини є неприйнятною – необхідно застосовувати більш ефективні прийоми підготовки деревної сировини до оцукрювання та ферментації. Молекули целюлози, прошиті лігніновою оболонкою з великою кількістю перехресних зв'язків, мало доступні як для

мікроорганізмів і ферментів, так і хімічних реагентів при здійсненні процесів деполімеризації полісахаридів. Лігнін з деревини має інгібуючу дію на ферменти, які оцукровують целюлозу. Для підвищення доступності целюлози клітинна структура біомаси має бути зруйнована з розривом їх зв'язків з лігніном.

Гідроліз рослинних матеріалів ведеться в гідролізних апаратах (варильних котлах), що представляють собою сталеві резервуари. Гідролізні апарати виготовляються робочим об'ємом 18, 30, 36, 50, 70 і 160 $м^3$. Внутрішня поверхня таких апаратів захищена шаром кислототривкої футеровки. Зовнішня стінка апарату покрита теплоізоляцією.

У варильні котли завантажують тирсу, стружки або тріску. Через варильні котли пропускають слабкий (0,2-0,6%) розчин сірчаної кислоти. У котлах підтримується тиск 80-100 МПа та температура 170-185°С. Процес гідролізу триває від 1 до 3 годин. При подальшому промиванні вода екстрагує лігнін, моносахариди і кислоту, які є в порах і капілярах сировини. Отриманий гарячий гідролізат (сульфітний щолок) з кислотними властивостями подають в нейтралізатор, куди надходять вапняне молоко і розчин живильних солей. Кислотність суміші доводять до pH 5 - 6. В результаті такої обробки одержують розчин, що містить близько 4% цукру. Отриманий цукровий розчин піддається дріжджовому зброджуванню. Використання модифікованих штамів мікроорганізмів, які проявляють активність при температурі 65–75°С, дозволяє виготовляти етиловий спирт та інші продукти практично з усіх видів органічних відходів сільського господарства, цукрових заводів та лісової промисловості. Вміст етилового спирту в зрілій брагі з целюлозної сировини знаходиться в межах 8,0 - 9,5 об.%. Одержаний в результаті прямої перегонки такої браги етиловий спирт має наву гідролізний спирт. Гідролізний спирт використовують переважно для технічних цілей, нині він у великих кількостях виробляється як сировина для синтезу синтетичного каучука.

Вихід етанолу залежить від природи вихідної сировини. На гідролізних заводах з 1 т деревини одержують до 200 л етилового спирту, що дозволяє замінити 1,5 т картоплі або 0,7 т зерна. Однак, існуючі підприємства виробництва біоетанолу з целюлозної сировини поки що нерентабельні. Висока собівартість гідролізного етанолу пов'язана з складністю проведення процесу кислотного гідролізу, який потребує витрат на обробку кислотою з використанням складного

спеціального обладнання. Відходи такого виробництва завдають значну шкоду навколишньому середовищу.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ТА КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Охарактеризуйте сировинну базу для одержання біодизелю .
2. Дайте характеристику потенціалу України у виробництві біодизелю .
3. Зазначте переваги та недоліки біодизелю як пального.
4.Охарактеризуйте можливості застосування та переваги використання мікроводоростей для виробництва біопалива.
5. Дайте характеристику джерел сировини для виробництва біоетанолу.
6. Охарактеризуйте етапи виробництва біоетанолу на крохмалевмісній сировині.
7. Охарактеризуйте технологію виробництва біоетанолу з деревини.
8.Зазначте переваги та недоліки біоетанолу як пального.
9. В чому полягає відміна етилового спирту від біоетанолу?
10. В чому полягає суть денатурації спирту?

7.ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В БУДІВНИЦТВІ ТА КОМУНАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Енергозбереження включає організаційну, наукову, практичну та інформаційну діяльність, яка спрямована на раціональне використання та економне витрачання первинної та виробленої енергії та природних енергетичних ресурсів на виробничих і комунальних об'єктах.

До проблем енергозбереження у будівництві людство стало активно звертатися у 70-х роках минулого століття в рамках загальної лінії на економію енергоресурсів. Важливим показником який характеризує рівень виконаних енергозберігаючих заходів є енергетична ефективність витрачання енергії. Ефективність енергозбереження в комунальному господарстві, в першу чергу, визначається телоізоляційними властивостями огороджувальних конструкцій - будівельних конструкцій, які призначені для ізоляції внутрішніх об'ємів будівель і споруд від зовнішнього середовища.

Огороджувальні конструкції поділяються на вертикальні (стіни, перегородки) і горизонтальні (перекриття, дахи тощо). Підвищення енергоефективності досягають за рахунок використання кращої теплоізоляції будівель з урахуванням кліматичних умов, орієнтації будівлі по відношенню до напрямку надходження сонячної радіації, використання комунального обладнання з більш високими технічними характеристиками, вдосконалення систем опалення, нагріву води, охолодження, вентиляції та освітлення. Високі показники ефективності дозволяють значно скорочувати комунальні витрати, а у глобальному масштабі досягати певного зниження рівня викиду парникових газів в атмосферу.

Для контролю теплових втрат будівель знаходить широке розповсюдження тепловізійне обстеження – сучасний метод, який дозволяє з відстані оцінити стан теплоізоляційних властивостей огороджувальних конструкцій будівельного об’єкта і отримати достовірну інформацію у візуально зрозумілій формі. Тепловізор –це прилад, який дозволяє візуалізувати у вигляді спеціальної теплової мапи (теплограми) значення температури поверхонь різних предметів. Інфрачервоне випромінювання вловлюється детектором тепловізора і перетворюється в електричний імпульс. Комп'ютерна програма тепловізора диференціює значення цифрових сигналів у певні кольори на дисплеї приладу, які відповідають заданій температурі і створюють

в колірній гаммі цілісну картину розподілу теплих і холодних полів. Ця методика дає можливість:

-знайти області теплових втрат будівлі;

-оцінити герметичність і теплоізоляційні властивості стін, підлоги, даху, вікон;

-перевірити якість будматеріалів та утеплювачів;

-виявити несправність електропроводки, водопровідних мереж, інших інженерних комунікацій.

Темно-синій-синій колір на теплограмі свідчить, що стіни будинку холодні і не випускають тепло з дому. Це свідчить про хорошу теплоізоляціюданих огороджувальних конструкцій. Жовтий та червоний кольори вказують на місця втрат тепла через нещільності, що свідчить про погану теплоізоляцію цих елементів будівлі.

Рис.90.Визначення температур поверхонь будівлі за допомогою тепловізора

Енергетичний аудит – це робота з техніко-економічної оцінки будівлі з погляду енергоспоживання. На основі результатів енергоаудиту

визначають необхідні заходи щодо утеплення фасадів, перекриттів підвалів, покрівель і горищ, заміни вікон і балконних дверей, теплоізоляції систем опалення та гарячого водопостачання, вентиляції. Виконання рекомендацій по термомодернізації будівель за результатами енергоаудиту забезпечує досягнення зниження витрат теплової енергії на опалення від 30 до 70%.

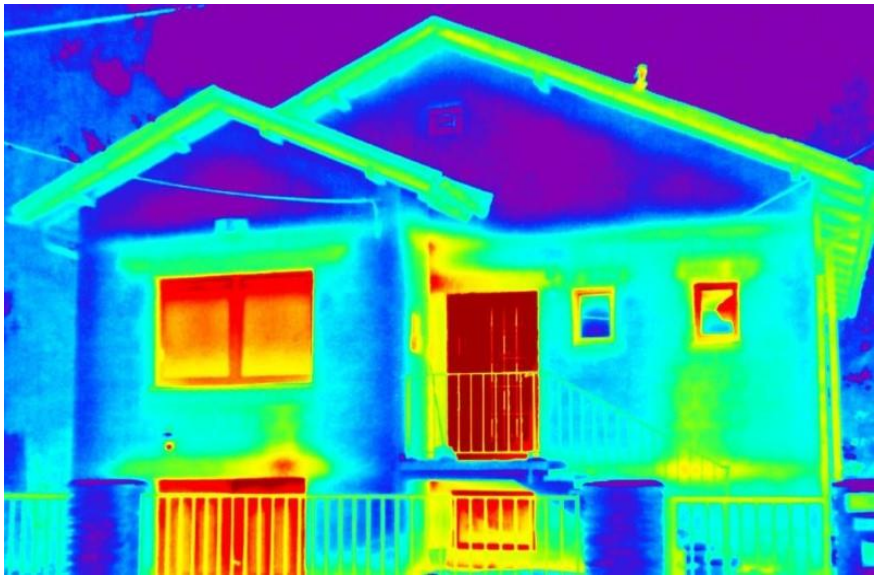


Рис. 91. Відображення на дисплеї тепловізора втрат тепла через огороджувальні конструкції будинку

7.1.Основні типи енергозберігаючих споруд

Житлові споруди є значними споживачами енергії. Саме тому особлива увага приділяється даному критично важливому сектору у довгострокових стратегіях щодо скорочення викидів парникових газів.

Будівництво перших енергоефективних будинків почало здійснюватися в 1972 році в м. Манчестер (США), м. Отаніємі (Фінляндія). В обох будівлях було передбачено використання тепла сонячної радіації і використано можливості комп'ютерної техніки для інтелектуального управління інженерним комунальним обладнанням.

В послідуючі роки країни Заходу напрацювали досвід істотного зниження енергоспоживання у будівництві та комунальному господарстві. У другій половині 80-х років в Центральній Європі було реалізовано нові енергозберігаючі підходи за рахунок застосування високоякісної теплоізоляції будинків пасивного типу.

Директивою 2002/91/ЄС було прийнято закон, який встановлює для держав-членів Європейського Союзу принципи забезпечення енергоефективності будівель. З 2002 року в країнах Європейського Союзу не дозволяється будівництво будівель більш низького стандарту ніж «будівля низького споживання енергії».

Згідно зі стандартами, які використовуються в країнах Європейського Союзу, житлові будинки з точки зору енергозбереження поділяють на наступні класи:

- "стара будівля" (побудована до 1970-х років) передбачає споживання енергії для опалення будинку близько 300 кВт·год/м^2 рік;
- "нова будівля" (будівництво здійснене у період 1970 - 2000-х років): споживання енергії складає не більше 150 кВт·год/м^{2}рік;
- "будівля низького споживання енергії" - не більше 60 кВт·год/м^{2}рік;
- "пасивний будинок" зі споживанням енергії не більше 15 кВт·год/м^{2}рік, що відповідає спаленню 1,5 л мазуту, 1,7 м^3 природного газу або 2,3 кг кам'яного вугілля;
- "будівля нульової енергії" – це будинок з дуже високою енергоефективністю, який не використовує викопне паливо і отримує всю необхідну енергію з поновлюваних джерел (сонячні колектори, теплові насоси, сонячні батареї чи вітрогенератор).
- "активний будинок" - це будівля такого типу, яка за допомогою енергозберігаючого обладнання (сонячних батарей, колекторів, теплових насосів, рекуператорів тощо) виробляє більше енергії, ніж споживає. Надлишок створених енергоносів власники можуть продавати на енергетичному ринку. Таким чином, будинок стає джерелом доходів, а не витрат.

Результати узагальнених досліджень свідчать, що з усієї споживаної в побуті енергії 70% йде на опалення приміщень, 15% енергії витрачається на приготування їжі, 10% енергії споживає побутова техніка і ще 5% енергії витрачається на освітлення. У сонячних пасивних системах для обігріву використовують тепло від природних теплових процесів, використання теплоізоляційних будівельних матеріалів, а також обігріву будинку за рахунок тепла людської діяльності. Важливу роль в обігріві приміщень будинку грають побутові прилади: включені телевізор, комп'ютер, кухонна плита, чайник, праска помітно підвищують температуру завдяки грамотно створеному тепловому контуру будівлі. На фоні зниження теплових втрат, у тепловому балансі будівель зростає доля таких джерел як теплова енергія, що утворюється людським організмом, а також акумульована

сонячна енергія. Пасивним будинком вважається такий будинок, у якому як влітку, так і взимку панує комфортна температура без використання систем опалення та кондиціонування. Згідно ISO 7730, пасивний будинок – це будівля, в якій тепловий комфорт досягається виключно за рахунок додаткового попереднього підігріву (або охолодження) маси свіжого повітря, необхідного для підтримання в приміщеннях повітря високої якості, без його додаткової рециркуляції.

До основних компонентів будинку з пасивним обігрівом відноситься:

- наявність теплоізолюючого покриття будівлі, що забезпечує "ефект термоса", та надійна герметизація приміщень;
- достатня товщина стін, що дозволяє "згладжувати" коливання температур та забезпечувати акумуляцію тепла для використання у нічні періоди;
- забезпечення максимального світлового потоку крізь вікна (в холодну пору року) шляхом відповідної орієнтації розміщення будинку на земельній ділянці;
- площа вікон, що виходять на південь, має становити близько 15% площі житла;
- наявність на всіх вікнах жалюзі або віконниць для захисту будинку від перегріву в літній період;
- відсутність в пасивних будинках традиційної опалювальної системи, з використанням для додаткового прогрівання приміщення систем теплої підлоги чи підігрів вентильованого повітря;
-зниження втрат теплової енергії за рахунок встановлення рекуператорів у системах вентиляції.

Концепція «пасивних будинків» стала світовим стандартом ефективності використання тепової енергії. За цією концепцією вперше у 1991 році в м. Дармштадт (Німеччина) було побудовано експериментальний житловий будинок із силікатної цегли з зовнішнім утепленням шаром пінополістиролу товщиною 40 см. Починаючи з 1996 року будівництво таких пасивних будинків стало серійним. Для всіх пасивних будинків встановлено наступні граничні вимоги:

- потреба в енергії на опалення ≤15 кВт·год /м² рік (житлової площі);
- споживання первинної енергії ≤120 кВт·год /м² рік;
- повітронепроникність для забезпечення обміну 50% повітря у приміщенні не менше n_{50} = 0,6 год.

Досягнення таких показників у пасивних будинках забезпечується за умови виконання таких умов**:**

- теплоізольована оболонка будівлі з коефіцієнтом теплопровідності менше 0,15 Вт/м²К;
- максимальне запобігання утворенню теплових мостів - місць де, внаслідок наявності стиків різних конструктивних елементів будинку, відбувається місцеві збільшені втрати тепла;
- використання високоефективних енергозберігаючих побутових приладів;
- нагрівання води з використанням поновлюваних джерел енергії.

.
Рис.92. Пасивний будинок

За європейськими даними, доведення теплоспоживання будівлі з 60 кВт·год/м^2·рік до «пасивного» стандарту вимагатиме в центральній Європі збільшення бюджету будівлі на 5-15%.

З 01.01.2009 в Україні в практиці проектування є обов'язковим складання згідно нормативних вимог ДБН В.2.6-31:2006 Теплова ізоляція будівель «Енергетичного паспорта будинку». Такий паспорт входить до складу проектної документації для житлових та громадських будівель у випадку нового будівництва та реконструкції. У ДБН В.2.6-31:2006 встановлено шість класів енергетичної ефективності будинку. Клас енергетичної ефективності будинку позначається латинськими літерами «А», «В», «С», «D», «Е», «F». Літера «А» відповідає будинкам із найвищими показниками

енергетичної ефективності. Для будинків, що проектуються, необхідно закладати вимоги не нижчі ніж встановлені для класу «С».

В даний час в житловому будівництві України обов'язковим є застосування регулювання теплового режиму приладами – термостатами, які встановлюються на кожному опалювальному приладі. Термостат для опалення має рукоятку, при повороті якої здійснюється регулювання температури. Так, при підвищеній температурі в приміщенні, термостат обмежує подачу теплоносія. Незважаючи на те, що встановлення таких приладів пов'язане з досить значними витратами коштів, воно дозволяє підвищити комфортність і досягнути скорочення споживання тепла на опалення.

Рис.93 Термостат для системи опалення

У багатьох житлових будинках теплоносій розподіляється нерівномірно по об'єму будівлі. Часто спостерігається ситуація, коли на верхніх поверхах будинку жарко, а в кутових кімнатах і на нижніх поверхах прохолодно. Для вирішення цієї проблеми застосовують балансувальні вентилі, що дозволяють корегувати подачу теплоносія для обігріву окремих приміщень будинку, та досягнути рівномірного розподілу температури повітря по усім приміщенням. Для забезпечення такого регулювання в цілому по багатоквартирному будинку на 80-100 квартир, досить поставити до 10 датчиків в окремих квартирах і в вентиляційних люках, що забезпечить повний контроль

параметрів теплового комфорту і його комп'ютерне корегування у всьому будинку.

Активний будинок є технічним розвитком концепції пасивного будинку. Активний будинок - це будинок, інженерні системи якого генерують енергії більше, ніж необхідно для нормальної експлуатації. Позитивний енергетичний баланс активного будинку досягається за рахунок використання поновлюваних джерел енергії. З 2021 року відповідно до директиви ЄС з енергоефективності будівель всі нові житлові споруди мають зводитися за принципами автономного енергоспоживання, відсутності шкідливих викидів та відходів. При будівництві таких споруд використовуються ефективні екологічні будівельні матеріали (скло, дерево, кам’яна вата, склобетон тощо.

Широкі можливості для енергозбереження дає застосування архітектурно-планувальних рішень з максимальною компактністю корпусу будівлі. Головний принцип планувальних рішень таких житлових будинків заснований на мінімізації їх периметра, наближенні його форми до куба мінімальному співвідношенні загальної площі до корисної, при цьому планування має бути зручним для проживання. Теплоенергетичні показники поліпшуються при досягненні близьких значень між шириною і довжиною будівлі. В цьому випадку досягається скорочення питомих витрат на будівництво, тепловтрат через зовнішні стіни, а також зменшується необхідна кількість повітря для вентиляційного повітрообміну. Лише за рахунок грамотного архітектурного планування забезпечується досягнення скорочення теплоспоживання будинку на 30-50%.

Щоб побудувати будинок такого стандарту на стадії проектування спочатку необхідно вивчити місцевість і клімат, в якому планується будівництво. З кліматичних характеристик важливо вивчити силу і напрям потоків вітру, вологість, тривалість світлового періоду тощо. На південній стороні активних будинків переважно планують житлову частину, для якої необхідна наявність природного світла та тепла. Площа вікон у таких приміщеннях зазвичай становити близько 40% від площі південних фасадів. Над південними вікнами влаштовують балкони чи великі покрівельні звиси. Затінення південного фасаду цими елементами дозволяє уникнути перегріву приміщення влітку. У зимовий період ці приміщення додатково прогріватимуться променями низького зимового сонця. Площа вікон з західної та східної сторін не повинна перевищувати 30% від загальнобудинкового скління.

Будівлю з пасивним використанням енергії сонця можна визначити як кліматично збалансовану будівлю, де максимально використовується теплота сонячної радіації для обігріву приміщень без застосування спеціальних технічних пристроїв. У цьому випадку сонячна радіація вловлюється і перетворюється на теплоту за рахунок самої будівлі або її окремих конструкцій, що її захищають. У пасивній системі сонячного низькотемпературного опалення короткохвильове сонячне випромінювання вільно проходить через шибки вікон у приміщення і, потрапляючи на внутрішні елементи приміщення, перетворюється на теплоту. Температура поверхонь усіх тіл всередині приміщення підвищується. Випромінювання підігрітих поверхонь при цьому відбувається вже у довгохвильовому діапазоні і гірше пропускається шибками (коефіцієнт пропускання 0,10-0,15), а також відбивається всередину приміщення. Таким чином, майже вся сонячна радіація, що потрапила в приміщення, перетворюється в ньому на теплоту і здатна, залежно від географічних та кліматичних умов, архітектурно-планувальних рішень частково або повністю, компенсувати його теплові втрати. Масивні внутрішні огородженняі здатні акумулювати частину теплоти, що утворилася на їх поверхні, і віддавати її приміщенню поступово після припинення на них сонячної радіації.

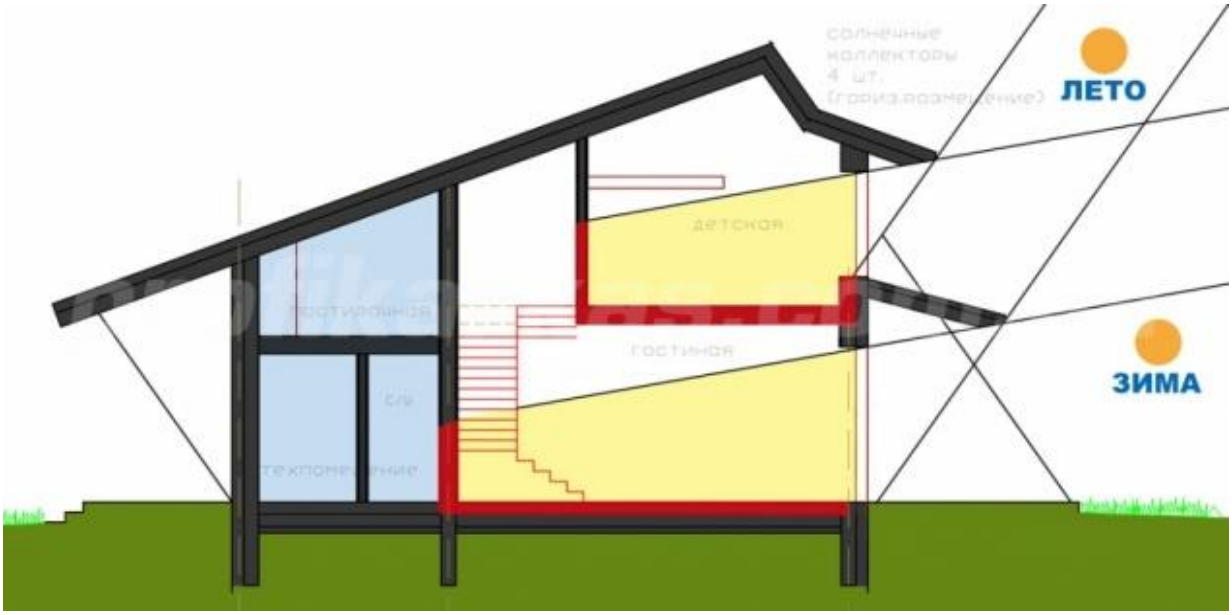


Рис.94. Схема прогрівання активного будинку сонячними променями в різні пори року

Для зниження витрат на кондиціонування приміщення в літні періоди важливим є застосування рухомих і нерухомих затінень для віконних конструкцій з південної, південно-східної і південно-західної сторін будівлі. Для підвищення ефективності роботи такої системи вікна обладнують жалюзі, які при закритті перешкоджають в темну пору доби втратам тепла, а в спекотний період у поєднанні з іншими сонцезахисними пристроями - перегріву приміщення (рис.95).

З північного боку зазвичай вікна відсутні. По північній стіні розташовують побутові приміщення, які не потребують обігріву. Північну стіну можна захистити від остигання, розташувавши по ній зовні гараж, або холодну комору. Бажано створювати з північного боку зелені насадження або розміщувати інші господарські споруди для зменшення впливу вітру на тепловтрати.

З південної сторони планується розміщення зимового саду так, щоб він акумулював зимову сонячну енергію масивною фронтальною стіною та підлогою. Влітку таке приміщення затінюють. Площа цих приміщень може становити близько 20% від загальної і не опалюватись.

Активні будинки оснащуються інтегрованими інтелектуальними системами, що забезпечує автоматизоване та дистанційне управління всіма наявними інженерними системами. Доцільним є розміщення сонячних батарей на обертовому трекері, який завжди гарантує оптимальне розташування панелей по відношенню до сонця та водночас здатний адаптувати їх орієнтацію у разі сильного вітру.

Рис.95. Приклади застосування систем зовнішнього затінення активного будинку

Екологічні активісти закликають виконувати всі дахи будівель за зеленими технологіями. Покрівля з листя і гілок, яка характерна для старих сільських будівель, з часом модернізувалася в прогресивну, екологічну технологію покриття будинків. Зелений або інверсійний дах - це покрівельне покриття у вигляді ґрунту, засадженого живими рослинами. Така конструкція покрівлі дозволяє захистити гідроізоляційний шар даху від впливу ультрафіолетових променів, різких перепадів температури, циклів заморожування-відтавання, механічних пошкоджень, а отже, забезпечує збільшення терміну служби інверсійної покрівлі в порівнянні з традиційною покрівлею. Доведено, що «зелені» дахи забезпечують теплоізолюючий ефект, який допомагає знизити кількість енергії, необхідної для літнього охолодження та зимового опалення приміщень. Розміщення рослин на даху також допомагає утримувати дощову воду, що допомагає зменшити проблеми з міським стоком та запобігає підтопленню вулиць під час злив.

Оскільки рослини висаджуються безпосередньо в ґрунт, конструкція зеленого даху повинна включати водонепроникний мембранний шар, а також додаткові пристрої, що захищають дах від коренів, дренаж і системи поливу (рис.97).

Гідроізоляція інверсійної покрівлі одночасно виконує функції пароізоляції, що знижує ризик внутрішньої конденсації вологи та зменшує кошторисну вартість конструкції. Шар теплоізоляції та захисний шар гравію захищають гідроізоляционную мембрану від будь-яких механічних впливів в процесі експлуатації.

Рис. 96. Приклади облаштування інверсійної покрівлі

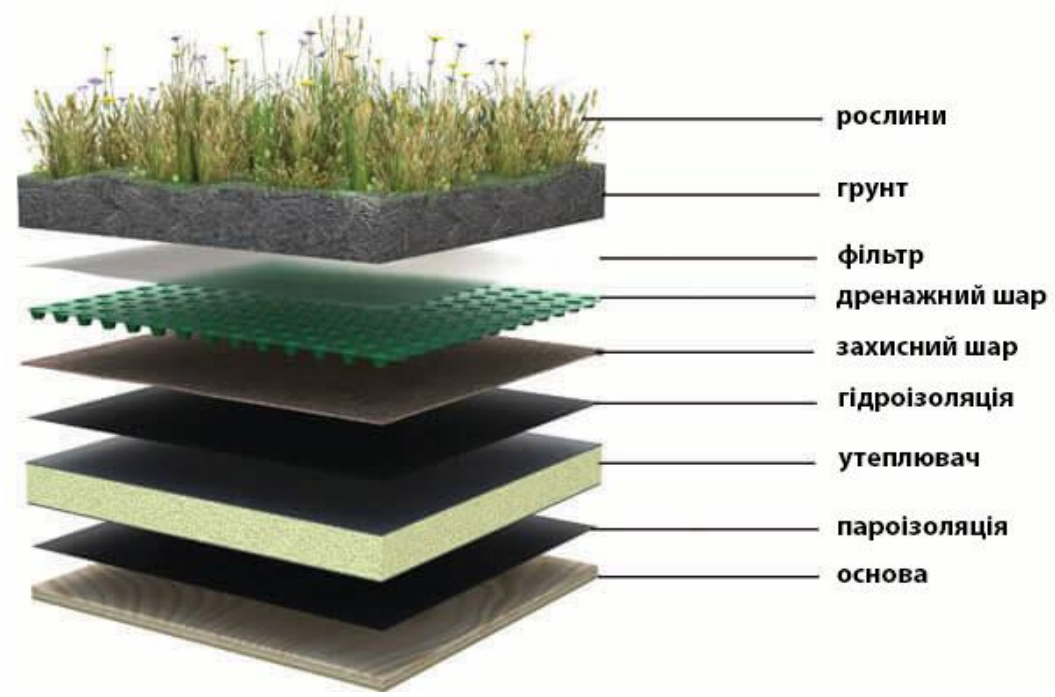


Рис.97. Будова інверсійної покрівлі

В екологічних ресурсоефективних будинках здійснюють збирання дощової води та її використання для побутових потреб. Зібрана дощова вода ретельно фільтрується і ефективно використовується для прання білизни, змивання в унітазах, поливу рослин тощо.

7.2. Утеплення огороджувальних конструкцій

Аналіз теплових втрат свідчить, що у житлових будинках до 40% теплової енергії втрачається через зовнішні стіни, до 20% втрачається через перекриття горищ і підвалів і до 50% може втрачатися через віконні і дверні отвори.

Втрати теплової енергії в огороджувальних конструкціях будівель відбуваються шляхом теплопровідності через тіло будівельних матеріалів, конвекції та теплового випромінювання. Конвективний перенос тепла здійснюється в газоподібному середовищі завдяки відмінності щільності холодного і теплого повітря. При тепловому випромінюванні теплова енергія від випромінюючих тіл розповсюджується у просторі шляхом поширення теплових електромагнітних хвиль.

Існують кілька варіантів ефективного утеплення будівельних конструкцій теплоізоляційними будівельними матеріалами. Вибір конкретного варіанту залежить від кліматичних умов та прийнятого на

етапі будівельного проектування конструктивного рішення. В будівельній практиці переважно використовують наступні варіанти утеплення несучих конструкцій:

1) захистна теплотехнічно неоднорідна багатошарова стіна зі стінового матеріалу та шару утеплювача;

2) теплотехнічно однорідна стіна, в якій стіновий матеріал виконує роль утеплювача.

7.2.1.Теплова ізоляція стін

В кліматичних умовах України використання стін з монолітної цегляної кладки з точки зору енергозбереження є неефективним. Для зменшення теплових втрат через стіни широко застосовують їх додаткове утеплення. Для утеплення існуючих будівель до стіни прикріплюють додатковий теплоізоляційний шар.

Критичним фактором для проектування утеплення стін є врахування утворення точки роси. «Вологоємність» повітря при зниженні температури знижується. Точка роси це значення температури, при якій з повітря з певною вологістю при охолодженні починає конденсуватися вода. Так, якщо сухе тепле повітря охолодити, воно може стати насиченим вологою до такого рівня, що буде відбуватися конденсація і випадатиме роса. Для прикладу, роса буде випадати при різних значеннях температури в залежності від вологості повітря:

- при 0 градусів Цельсія повітря з 0,7% абсолютної вологості;
- при $+20^0$С повітря з 1,8% абсолютної вологості;
- при $+32^0$С повітря з 3% абсолютної вологості;
- при $+38^0$С повітря з 4% абсолютної вологості.

Конденсація води всередині стінових матеріалів приводить до їх зволоження. Розміщення точки роси всередині будівельних конструкцій (стін) є шкідливим - від періодичного випадання конденсату та насичення вологою, бетон і цегла розкришуються, деревина пліснявіє і гниє. Будівельні конструкції, в яких накопичився конденсат, перестають виконувати роль теплоізолятора і стають джерелом відсирювання приміщення. Необхідно уникати утворення точки роси або максимально переносити точку роси до зовнішніх шарів огороджувальної конструкції та забезпечувати вентиляцію таких зволожених шарів.

Виникнення конденсації водяних парів з причини розташування точки роси всередині житлових приміщень є неприпустимим: надмірно

вологе повітря згубно діє на здоров'я людини. В залежності від вологості і, відповідно, від значень точки роси залежить комфорт у приміщенні і стан здоров'я його мешканців:

-при температурі точки роси в +24^{0}С навіть фізично міцним здоровим людям важко дихати, що приводить до втрати працездатності;

- при температурі точки роси в +21^{0}С постільна білизна та одяг зволожуються, всі предмети здаються липкими;

- при температурі точки роси в +18^{0}С в приміщенні відчувається духота;

- температура точки роси від +12^{0}С до +16^{0}С є найбільш комфортною.

Рис.98. Конденсація вологи та цвітіння на поверхні стін без утеплення у приміщенні з підвищеною вологістю

Для попередження виникнення точки роси всередині приміщень намагаються реалізувати наступні заходи:

-перемістити розміщення точки роси всередину теплоізоляційного покриття стін;

- забезпечити ізоляцію будівельного матеріалу від проникнення парів вологи;

- здійснювати ефективне провітрювання приміщень.

Найпростіше така схему утеплення реалізувати при монтажі не гігроскопічного утеплювача зовні будівлі. З метою уникнення пошкодження будівельних конструкцій внаслідок надмірного

зволоження, використовують утеплення зовнішньої поверхні стіни шаром пористої теплоізоляції, що забезпечує підвищення температури всередині стіни і знижує ризик випадання конденсату. При цьому зовнішнє розташування теплоізоляції в загальному балансі тепловтрат є значно ефективнішим в порівнянні з внутрішнім. При такому способі теплоізоляції точка роси буде знаходитися всередині добре вентильованого шару утеплювача і утворений конденсат не буде передавати вологу стіновому матеріалу.

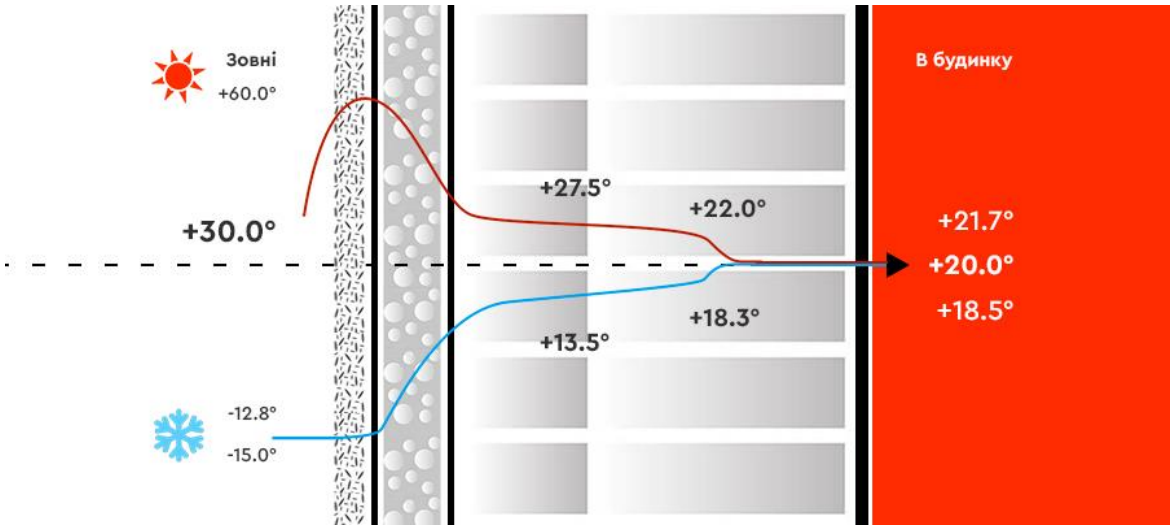
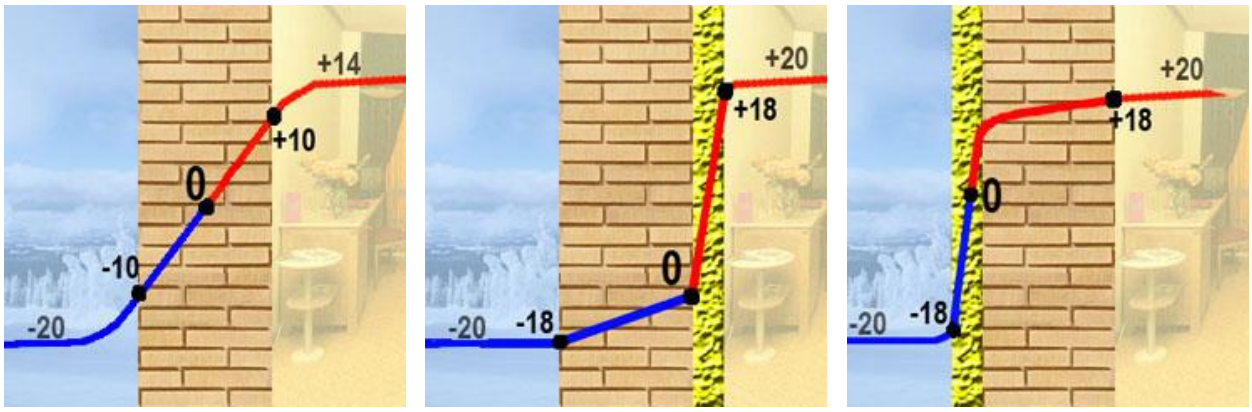


Рис.99. Розподіл значень температури по ширині стіни з зовнішньою теплоізоляцією в зимовий та літній періоди

Внутрішнє утеплення стін не знаходить поширення з наступних причин:

- зменшується внутрішня площа приміщення;
- якщо між внутрішньою стороною стіни і теплоізоляцією є незначний просвіт, то там буде накопичуватися зконденсована волога. Зона конденсації вологи утворюється під шаром утеплювача, на внутрішній частині несучої стіни, в результаті цього через постійну високу вологість відбувається корозія будівельних матеріалів і розвиватимуться патогенні мікроорганізми, зокрема, грибкова цвіль, буде руйнуватися клейовий шар. Можливість конденсації водяної пари викликає необхідність додатково встановлювати на цій ділянці повітронепроникного пароізоляційного бар’єру, що приведе до погіршення санітарно-гігієнічних умов у приміщенні. Внутрішнє утеплення не захищає зовні стіни від опадів і температурних перепадів, що веде до прискореного зносу будівельних конструкцій.

У разі влаштування зовнішньої теплоізоляції товщина шару утеплювача може бути на 25-35% меншою, ніж при створенні внутрішньої теплоізоляції. Перевагою зовнішньої теплоізоляції також є зростання теплоаккумулюючої здатності стіни. Наприклад, при зовнішній теплоізоляції цегляні стіни при відключенні джерела тепла охолоджуються в шість разів повільніше у порівнянні зі стінами з внутрішньою теплоізоляцією при одній і тій же товщині шару утеплювача. До переваг зовнішнього утеплення стін також відноситься надання будівлі сучасного естетичного вигляду, підвищення довговічності та гідрофобних властивостей стін, створення більш сприятливого клімату всередині самої будівлі.



а б в

Рис.100. Розподіл температур по товщині огороджувальних конструкцій при зовнішній температурі -20^{0}С при різних варіантах утеплення: а) без утеплення - температурний «нуль» розміщується всередині стіни; б) утеплення зсередини - температурний «нуль» на межі внутрішньої поверхні стіни і теплоізоляції; в) утеплення зовні - температурний "нуль" всередині шару теплоізоляції

7.2.2.Теплоізоляційні будівельні матеріали

Теплоізоляційні будівельні матеріали класифікуються за наступними параметрами:

- теплопровідністю;
- структурою (зернисті, ніздрюваті, волокнисті);
- видом сировини, з якої виробляються (органічні і неорганічні);

- середньою густиною (особливо низької густини − 15÷75 кг/м^3; низької густини − 100÷175 кг/м^3; середньої густини − 200÷350 кг/м^3; щільні − 400÷600 кг/м^3;
- за можливістю загорання від відкритого вогню або високої температури та підтримувати горіння (вогнетривкі, вогнестійкі і горючі).

Залежно від форми і зовнішнього вигляду теплоізоляційні матеріали розділяють на рулонні, штучні (цегла, блоки, сегменти), сипкі або пухкі (спучені мінерали, гранули пінополістиролу, керамзитовий пісок, гравій).

Показником теплової ефективності матеріалів є коефіцієнт теплопровідності, який характеризує інтенсивність передачі теплової енергії від предметів з вищою температурою до предметів з нижчою температурою за одиницю часу через одиницю площі. Чим менша теплопровідність будівельного матеріалу – тим в більшій мірі він забезпечує збереження тепла в спорудах різного призначення.

Найбільш ефективним утеплювачем у будівництві вважається повітря. Теплопровідність стінового матеріалу, його питома вага та міцність пов’язана прямою залежністю з об’ємом наявних пор. Чим більше повітряних пір містить будівельний матеріал, тим нижче його коефіцієнт теплопровідності. Повітря у формі макропустот всередині будівельного матеріалу (наприклад, канали всередині керамічної цегли) може бути самостійним елементом утеплення у стінах та забезпечувати теплоізоляцію. Відповідно, енергоефективність будівельних матеріалів в значній мірі визначається відношенням долі пор, заповнених повітрям, до загального об'єму виробі з даного будівельного матеріалу. Теплоізоляційні матеріали та вироби поділяють, залежно від коефіцієнту теплопровідності, на три класи: низької теплопровідності − ≤0,06 Вт/м·°С; середньої − 0,06…0,115 Вт/м·°С; підвищеної − 0,115…0,175 Вт/м·°С.

Важливою характеристикою будівельного матеріалу також є паропроникність - здатність пропускати через себе певну кількість водяного пару за одиницю часу.

Згідно до будівельних норм товщина стін, що ідентично перешкоджають тепловтратам в будівлях, складає: цегла – 210 см; керамзитобетон – 90 см; дерево – 53 см; газобетон – 44 см; мінеральна вата – 18 см; пінополістерол – 12 см. В сучасному будівництві найбільш широко застосовуються наступні види утеплювачів: спінений та екструдований полістирол, пінополіуретан та мінеральна вата.

Спінений полістирол - екологічно чистий, нетоксичний тепло- та звукоізоляційний матеріал, що зарекомендував себе як найбільш економічний і зручний у застосуванні. Після процесу полімеризації і формування полістирольних гранул діаметром от 0,2 до 3,5 мм, проводиться їх насичення під тиском пентаном - газом, який виконує роль спінючого агента. Також до складу полістиролу додають речовини антипірени (найчастіше гексабромциклододексан) для збільшення пожежної безпеки виробів, а також термостабілізатори та антиоксиданти для захисту від термоокислювальної диструкції в процесі експлуатації, абіотичні добавки для попередження утворення плісняви.

Монолітні вироби із спіненого полістиролу виготовляється методом розширення (розбухання) при нагріванні гранул полістиролу у вигляді бісеру і їх подальшого злипання. У процесі формування монолітних виробів порція гранул, які засипані у блок-форму, розігріваються перегрітою водяною парою і розм'якшуються, внаслідок чого пентан переходить у летючий стан і випаровується. Під впливом внутрішнього тиску, гранули полістиролу збільшуються в об'ємі до 50 разів, перетворюючись у внутрішньому просторів легкі кульки, які злипаються у монолітний виріб. Високі термоізолюючі характеристики досягаються завдяки газовим порожнинам, що знаходиться всередині гранул спіненого полістиролу. Повітря становить не менше 98% від обсягу пінополістиролу.

Використання теплоізоляційних плит зі спіненого полістиролу знаходить поширення для проведення утеплювальних робіт зовнішніх стін. 75% європейських житлових будинків, виробничих і офісних приміщень мають пінополістирольне утеплення фасаду. Цей матеріал можна використовувати для роботи у широкому діапазоні температур. Таке утеплення попереджує промерзання стін, структура плит залишається незмінною навіть після 120 циклів періодичного заморожування і відтавання. Існують числені приклади 50 - річної експлуатації будівель з теплоізолюючим покриттям із плит зі спіненого пінополістиролу. Вироби із такого утеплювача також використовуються при монтажі вентильованих фасадів і горищних перекрить. Незамінним цей матеріал є при утепленні та облаштування підвальних приміщень, ізоляції цокольних приміщень і фундаментів, які знаходяться в зоні впливу грунтових вод.

а б

Рис.101. Сировинні гранули для виробництва пінополістиролу (а), структура зламу теплоізоляційної плити з пінополістиролу (б)

До переваг теплоізолюючих виробів із спіненого полістиролу відноситься:

1.Низька теплопровідність пінополістиролу. Лист із спіненого полістиролу товщиною 30 мм за ступенем теплопровідності є еквівалентним наступним матеріалам:

- дерев'яна стіна товщиною 98 мм;
- пінобетон - 250 мм;
- цегляна кладка – 425 мм;
- залізобетон – 1065 мм.

2. Експлуатаційні властивості. Теплоізоляційні плити зі спіненого полістиролу є інертними до дії ряду агресивних хімічних речовин (сольових розчинів, кислот, лугів, спиртів). Структура теплоізоляційного матеріалу не пошкоджується при впливі хлорного вапна, газобетону, цементу та штукатурки. Цей матеріал не піддається біологічному впливу, а також гниттю. Пінополістирол досить легко піддається обробці ручним ріжучим інструментом.

4. Висока вологостійкість, низький ступінь водопоглинання (не більше 4%).

5. Збереження властивостей в умовах дії низьких температур.

6. Високі звукоізоляційні показники плит з пінополістиролу.

7. Довговічність, низька вартість.

8. Високі гігієнічні властивості, які забезпечують стійкість до утворення цвілі, росту та розмноження бактерій на поверхні пінополістиролу.

9. Низька горючість спіненого полістиролу . Матеріал здатний затухати самостійно. При горінні пінополістиролу кількість тепла, що виділяється, в 7 разів менше, ніж при горінні дерева.
10. Полістирол є не шкідливим для здоровя людини матеріалом, який використовується як пакувальний матеріал для продуктів харчування, виготовлення іграшок тощо.
11.Полістирол є продуктом переробки нафти і може бути утилізованим для повторного використання, відходи зі спіненого полістиролу нетоксичні і не наносять значної шкоди ґрунтам, воді та атмосфері.

Рис.102. Утеплення стін спіненим полістиролом

Вироби зі спіненого полістиролу характеризуються наступними недоліками:
1. Розчинність в нафтопродуктах, ацетоні, спиртах та лаках. Виділення при горінні летких токсичних речовин.
2. Під під дією прямих сонячних променів та атмосферних опадів поверхні виробів з пінополістиролу, які незахищені шаром штукатурки, втрачають міцність та еластичність.
3. Робоча температура виробів з пінополістиролу не повинна перевищувати +60^{0}С, оскільки матеріал починає розмякшуватися.

Ри.103. Вироби з пінополістиролу

Названі недоліки спіненого полістиролу в меншій мірі проявляються у екструдованого пінополістиролу, який виробляють з гранульованого полістиролу методом екструзії. Завдяки екструзійній переробці, вироби з пінонополістиролу здатні витримувати значно вищі механічні навантаження, мають нижчий рівень водопоглинання (не більше 0,4–0,5 %) та високу морозостійкість (понад 1000 циклів заморожування-відтавання) і біостійкість. Зовнішні поверхні екструдованого пінополістиролу є гладкими, що забезпечує його вищу естетичну цінність в архітектурному оформленні споруд. Цей матеріал в основному використовується для утеплення місць, де є наявні значні втрати тепла, таких як підлоги, дахи, горища, зовнішні та внутрішні стіни.

При виробництві екструдованого пінополістиролу проводять попереднє спінювання гранул у передспінювачі при температурі 100-110°С за рахунок подачі перегрітого водяного пару. У процесі спінювання при обробці парою сировинні гранули збільшується у розмірі, при цьому замкнутість пустотних осередків не порушується. Спінені гранули вивантажуються у бункер вилежування, де вони проходять висушування в потоці повітря. Після вилежування спінені гранули піддаються повторному нагріванню у замкнутому просторі і додатково збільшуються в об'ємі, та при контакті між собою злипаються в однорідну масу. Отримане полотно проходить через калібратор, що складається з двох охолоджуємих пластин, або через охолоджувані формуючі валки. Після попереднього охолодження і

формування полотно проходить через тянучий пристрій. Утвореному полотну дається час для остаточного охолодження за рахунок обдування повітрям. Заключною операцією виготовлення плит з екструдованого пінополістиролу є вирівнювання листів для досягнення рівної поверхні і розрізання їх на вироби необхідних розмірів. Листи складаються в стопи і пакуються у пачки завтовшки по 5 - 10 листів.

Таблиця 12

Порівняльна характеристика властивостей екструдованого пінополістиролу та спіненого полістиролу

Характеристика	Екструдований пінополістирол	Спінений полістирол
Водопоглинання, % по об'єму за 30 діб.	0,4	4,0
Паропроникність, мг/м.г.Па	0,018	-
Теплопровідність в сухому стані, Вт/м·°С	0,028	0,036 – 0,050
Межа міцності при статичному вигині (кгс/м^2) Мпа	0.4 – 1.0	0,02 – 0,20
Міцність на стискання при 10% лінійної деформації, Мпа	0,25 – 0,50	0,05 – 0,20
Щільність, кг/м^3, в межах	28 – 45	15 – 35
Діапазон робочих температур, ^{0}С	від -50 до +75	від -50 до +70

Основні області застосування листів з ексирудованого пінополістиролу: утеплення фундаменту та виготовлення незнімної опалубки, утеплення фасадів, балконів та лоджій, цокольних поверхів, підвалів, покрівлі може застосовуватися як для зовнішньої, так і для внутрішньої теплоізоляції будівель.

Пінополіуретан – це гідроізоляційний, теплоізоляційний та звукоізоляційний матеріал, що є різновидом газонаповненої пластмаси.

Створення теплоізолюючого пінополіуретанового шару відбувається з використанням розпилювача, у якому два рідкі компоненти окремо один від одного подаються в розпилювач і змішуються. Після попадання на основу, що утеплюється, суміш у результаті протікання хімічної взаємодії компонентів спінюється та твердне. При цьому по

всій поверхні захищаємій поверхні виникають сили адгезії до сухої і чистої основи, що дозволяє не використовувати спеціальне кріплення теплоізолюючого шару. Нанесення пінополіуретанового шару шляхом пошарового напилення може застосовуватися для теплоізоляції зовнішніх та внутрішніх стін, покрівлі, віконних пройомів, утеплення фундаменту.

Рис.104. Нанесення теплоізолюючого пінополіуретанового шару на труби теплової мережі

Переваги пінополіуретанового шару: можливість обробляти стіни і стелі складної конфігурації, монолітність і відсутність швів у покритті, високі гідроізолюючі, теплоізолюючі та шумоізолюючі властивості, міцність, мала вага, щільне прилягання до поверхні, що утеплюється, стійкість до впливу кислот і лугів, відсутність «містків холоду», екологічність, стійкість до впливу мікроорганізмів, за правильних умов тривалий термін експлуатації (більше 30-50 років). Недоліками такого покриття є: горючість, низька стійкість до ультрафіолетового випромінювання, низька паропроникність, висока вартість та трудомісткість нанесення,.

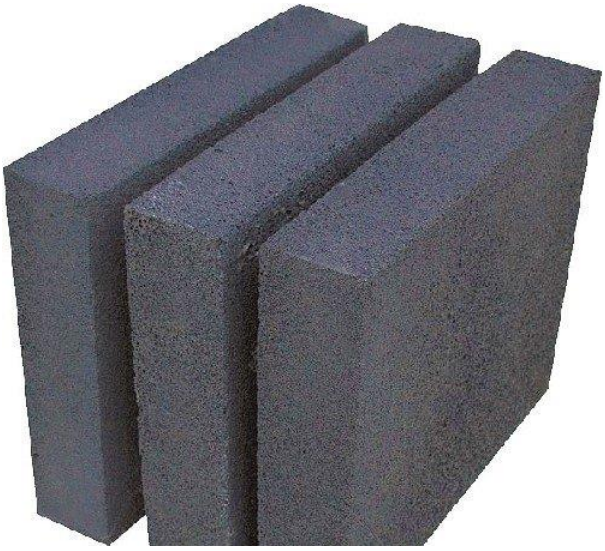
Піноскло - це неорганічний негорючий теплоізоляційний матеріал з комірчастою (пористою) структурою. Структура піноскла являє собою

просторово-об'ємну конфігурацію, здатну при мінімальній щільності витримувати значні механічні навантаження. Піноскло характеризується низькими показниками об'ємної маси, теплопровідністі і водопоглинання, високими показниками механічної міцності, вогнестійкості, морозостійкості, шумопоглинання і стійкістю до хімічно агресивних середовищ. Оскільки в структурі піноскла пори мають замкнутий характер, це виключає попадання вологи всередину матеріалу та дозволяє виробам з цього матеріалу переносити значні коливання температури без руйнування. Газова фаза в об'ємі піноскла займає 80…95 %. Діаметр пор, які рівномірно розподілені у скляній основі. складає 0,1… 0,5 мм. Данний матеріал нерозчинний у воді і не схильний до взаємодії з кислотами і органічними розчинниками, є міцним, вологостійким, довговічним (термін служби не менше 70 років), екологічним, морозостійким. Піноскло не горить і не виділяє диму та токсичних речовин. Спільне використання утеплювача з піноскла та захисної штукатурки дозволяє створити незалежну від кліматичних зон теплоізоляційну систему. Як правило, піноскло застосовується при утепленні будівлі ззовні.

Сировиною для виробництва піноскла служить шихта з тонкоподрібненого скляного бою з пороутворювачами, які при нагріванні виділяють гази. Для отримання піноскла із замкнутими порами застосовують вуглецьвміщуючі пороутворювачі (подріблені до порошкоподібного стану кам'яне вугілля та кокс, сажу). Піноскло отримують шляхом поєднання одночасного спіненням скляного порошку під дією пороутворювачів та спікання при температурах 700 - 800°С. Завдяки процесам газоутворення та спінювання скла об'єм скломаси збільшується до 15 разів.

Технологічні операції виробництва піноскла включають приготування шихтової суміші, розігрів і спінювання скломаси, відпалу і механообробки виробів. Скляний бій у суміші з пороутворювачем розмелюють у кульових млинах у тонкий порошок з розміром часток 2…10 мкм та завантажують у форми з жаротривкої сталі. При нагріванні у печі відбувається розм'якшення часток скляного порошку і їх спікання. Гази, що виділяються при розкладанні пороутворювача, спінюють в'язку скломасу. В результаті об'єм матеріалу збільшується, повністю заповнюючи прожнину форми. Виробами з піносла є блоки, плити, фасонні деталі, гранули (будівельний пісок або гравій) і безформні шматки (будівельний щебінь).

Блоки з піноскла виробляють з наступними розмірами (мм): довжина - від 200 до 475 мм; ширина - від 125 мм до 400 мм; товщина - 60, 80, 100 і 120 мм. Застосовують блоки з піноскла для термоізоляції поверхонь при робочих температурах від -200^{0}С до +400^{0}С при відносній вологості до 96 %. Піноскло легко піддається механічній обробці. Для надання виробам необхідної форми та розмірів блоки з піноскла можуть розпилюватися, розрізатися, свердлитися тощо. Завдяки низькому коефіцієнту водопоглинання даний утеплювач використовується для гідроізоляції цокольних частин будівель і підвалів. Воно є екологічно безпечним матеріалом. Піноскло не піддається руйнуванню гризунами та не може бути укриттям для комах, тому його доцільно застосовувати при будівництві складів, сховищ харчових продуктів, котеджів, ізоляції холодильних камер тощо.



а) б)

Рис.105. Вироби з піноскла: а - облицьовувальні блоки; б - облицьовування стін блоками з піноскла.

До недоліків піноскла відноситься:

1. Для виготовлення спіненого скла необхідно застосовувати високотехнологічне обладнання, робота якого вимагає значних енерговитрат, що призводить до порівняно високої собівартості матеріалу.
2. Піноскло, незважаючи на високу міцність, є крихким матеріалом, що призводить до втрат від розтріскування при монтажі. Низька ударна

міцність приводить до пошкодження матеріалу під час перевезення, розвантаження та встановлення.

3.Більша вага у порівнянні з полімерними теплоізоляційними матеріалами, наприклад, пінополістиролом.

Всі види утеплювачів, які виготовлені з тонких волокон на мінеральній основі – відносяться до мінеральної вати. Мінеральна вата – це узагальнена назва волокнистих утеплювачів, які виробляються з мінералів. Мінеральна вата виготовляється наступних видів:

1. Базальтова (кам'яна) – на основі гірської породи базальту з незначними домішками інших порід
2. Скловата – на основі вторинного скла (склобою) і кварцового піску.
3. Шлаковата – виробляється зі шлаку, який є побічним продуктом металургійних процесів.

Рис. 106 - Зовнішній вигляд матів із базальтової вати

При виробництві мінеральної вати вихідну сировину розплавляють при температурі від 900 до 1500^{0}С. Розплавлену масу за рахунок обертання у центрифузі та під дією потоків повітря роздувають на волокна, товщина яких не перевищує 7 мікрон, а довжина - до 5 см. Волокна осаджуються на екранну поверхню, одночасно на них розпилюють сполучні смолисті речовини. При стискання переплетені волокна склеюються між собою сполучною речовиною, в результаті формується суцільний мат. В залежності від призначення мати з

утеплювача розрізають на плити або згортають в рулони та пакують у полімерну плівку.

На відміну від базальтової вати скляна вата має більш товсті і довгі волокна, що забезпечує її підвищену пружність і міцність. Волокна в утеплювачі на основі мінеральної вати не мають певної однорідної орієнтації, а розташовані досить хаотично, тому утворюється структура насичена повітрям. Значна кількість прошарків повітря між мінеральними волоконами забезпечує високі теплоізоляційні властивості мінеральної вати. Тому коефіцієнт теплопровідності у даного матеріалу дуже малий - його значення знаходяться в межах від 0,032 до 0,048 Вт/м·°С, що відповідає показникам спіненого полістиролу. За показником термічного опору шар скловати товщиною 50 мм замінює 1 м товщини стіни з керамічної цегли. Утеплювачі на основі мінеральної вати, незалежно від їх щільності, мають відмінну паропроникність. Волога, яка міститься в повітрі, легко проникає крізь шар утеплювача, не утворюючи всередині нього конденсату.

Основною властивістю утеплювачів на основі мінеральної вати, що відрізняє його від інших теплоізоляційних матеріалів, є негорючість в поєднанні з високою тепло- і звукоізолюючою здатністю, стійкістю до температурних деформацій, негігроскопічностю, хімічною та біологічною стійкістю, екологічністю і легкістю виконання монтажу. За вимогами пожежної безпеки вироби з мінеральної вати відносяться до класу негорючих матеріалів, вони ефективно перешкоджають поширенню полум’я і застосовуються як протипожежна ізоляція та у системах вогнезахисту. Ця група матеріалів є стійкою до впливу біологічно активного середовища. Наприклад, утеплювачам з мінеральної вати гризуни не наносять шкоди.

Утеплювачі на основі мінеральної вати можуть застосовуватися практично у всіх будівельних конструкціях. За їх допомогою можна теплоізолювати як покрівлю, так і стіни, перегородки, перекриття. Утеплювачі з мінеральної випускаються у вигляді м'яких матів та плит, у тому числі армованих та фольгованих, а також у вигляді жорстких циліндрів та плит з армуванням та фольгуванням для утеплення труб, димоходів та повітроводів. Використання мінеральної вати дозволяє здійснювати утеплення нерівних поверхонь і конструкцій різноманітної форми.

Особливо доцільним є використання даного матеріалу для:

- утеплення приміщення з високою вологістю;

-утеплення фасадів навісного вентильованого типу та «мокрих» фасадів;
- утеплення кают на кораблях, а також інших корабельних конструкцій;
- теплоізоляція трубопроводів різного типу, температура поверхні яких може складати від -120^{0}С до +1000^{0}С.
-захист від пожежі вентиляційних труб і будівельних конструкцій.

Процес утеплення плитами з мінеральної вати є максимально простим, що суттєво скорочує фінансові витрати при проведенні їх монтажу. До недоліків використання мінеральної вати у якості утеплювача відносяться:

1. Наявність швів в тих місцях, де з'єднуються окремі плити утеплювача, робить ізоляційний шар недостатньо суцільним.
2. В процесі монтажу від волокон можуть відколюватися тонкі гострі шматочки, що створює загрозу потрапляння подріблених мінеральних часток в шкіру та в органи дихання. Відповідно, в процесі укладання плит мінеральної вати працівникам необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту.

На сьогодні на територіях з достатньо теплими кліматичними умовами розширюється застосування легкого бетону, що виконує одночасно як конструкційну так і утеплювальну функції. Легкі пористі бетони дозволяють економити тепло і знижувати енерговитрати приблизно на 20%. Основним призначенням легкого бетону стало висотне монолітне будівництво, де одним із ключових завдань є зниження загальної маси будівлі. Використання легкого конструкційного бетону для внутрішніх перегородок дозволяє знижувати до 30-50% маси при будівництві висотних будівель.

Легкі бетони мають щільність до 1800 кг/м^3 і являють собою суміші цементу, піску і пористого заповнювача,. Теплоізоляційні якості у легкому бетоні отримуються завдяки його підвищеній пористості, що складає до 40% від об'єму матеріалу.

До головних особливостей легких бетонних розчинів відносяться:

- підвищені показники теплоізоляції;
- високі звукоізоляційні властивості;
- невелика щільність;
- універсальність (матеріал можна використовувати в приватному, і промисловому будівництві для виготовлення як міжкімнатних перекриттів, так і для утеплення зовнішніх стін;
- простота укладання бетонних блоків з фіксацією будівельними розчинами на основі цементу;

- морозостійкість (бетонні конструкції можуть витримати до 300 циклів заморожування та відтавання);
- тривалий гарантійний період експлуатації.

Залежно від рецептури, легкі бетонні розчини класифікуються на:

- звичайні склади на основі цементу, води та пористих заповнювачів (шлаку або керамзиту). Для виготовлення деяких видів легкого бетону застосовують органічні заповнювачі, починаючи від деревини і закінчуючи спіненими гранулами полістиролу. Щільність легких бетонів на пористих заповнювачах знаходиться в межах від 500 до 1800 кг/м³ в порівнянні зі звичайними бетонами, щільність яких складає від 2000 до 2500 кг/м^3. Найбільш відомим різновидом легкого бетонного розчину вважається керамзитобетон, який широко затребуваний у будівництві;
- високопористі різновиди без піску (повітряні пори займають до 25% від загальної маси матеріалу);

комірчасті будівельні вироби, до складу яких входять спеціальні речовини, що сприяють утворенню в бетонному розчині герметичних пор сферичної форми діаметром 1 – 3 міліметри, які заповнені повітрям (пінобетон) або газом (газобетон).

Сучасний газобетон виробляють з цементної суміші з додаванням вапна, кварцового піску та води, яка вводиться в вже перемішану суміш з добавкою газоутворювача — алюмінієвої пудри. Утворення водню, який формує і заповнює пори, відбувається в результаті хімічної взаємодії алюмінію із гідроксидом кальцію. Виділення водню викликає розпушування цементного розчину, який заливають для затвердівання у металеву форму. У результаті бетонні вироби тверднуть зі збереженням характерної комірчастої пористості. Сформовані вироби з газобетону для прискореного набирання міцності додатково обробляють в актоклавах при підвищеному тиску і температурі до 200^{0}С. Метод автоклавної обробки дозволяє знизити витрати цементу за рахунок його повної або часткової заміни вапном.

Виготовлення пінобетону здійснюється шляхом насичення при перемішуванні цементно-піщаного розчину бульбашками повітря за рахунок добавок поверхнево-активної речовини (піноутворювача). Піноутворювачі знижують поверхневий натяг води, що дозволяє утримувати бульбашки повітря всередині матеріалу і забезпечує рівномірний розподіл повітря в бетоні по всьому об'єму виробу. Піну готують шляхом інтенсивного перемішування води з рідким піноутворюючем - каніфольним милом на основі тваринного клею. Заздалегідь приготовлена піна поєднується з підготовленим

будівельним розчином, що забезпечує після застигання отримання пористої структури кінцевого продукта. Компоненти для пінобетону змішують усередині спеціальних пристроїв, після чого розчин закладають у форми, дають витримку для затвердівання піноблоків і відправляють для зміцнення в автоклавні печі.

а б

Рис.107. Високопористий різновид бетону (а) та легкий бетон з комірчастою структурою

Рис.108. Кладка стіни з газобетонних блоків

При однаковій щільності газобетон міцніший за пінобетон, проте собівартість виробництва пінобетону приблизно на 20–25 % нижча, ніж у газобетону. Крім того, пінобетон менш гігроскопічний, у порівнянні з газобетоном. Піноблоки є оптимальною заміною цегли і застосовуються для кладки несучих стін, перегородок в будівництві

малоповерхових житлових об'єктів, сучасних монолітно-каркасних багатоповерхових будівель, комерційних багатопрофільних споруд, реконструкції старих будівель, зведення сільськогосподарських об'єктів тощо. Блоки з пористим бетоном легко пиляються.Такий матеріал ідеально підходить для будівництва арок та будівельних елементів необхідної конфігурації.

До недоліків пористого бетону відноситься:

- підвищене вологопоглинання матеріалу;
- нижчий рівень міцності, у порівнянні з цеглою та важким бетоном;
- для укладання блоків необхідно використовувати спеціальний клей, а не цементний будівельний розчин;
- у кладці з пінобетону з часом відбуваються деформаційні процеси усадки, що можуть викликати її розтріскування;
- сорбційна вологість і повітропроникність пористого бетону є в 5-10 разів більшою, ніж у важкого бетону, тому зовнішня поверхня огороджувальної конструкції з пористого бетону повинна бути покрита щільнішими шарами розчину, керамічною плиткою, або гідрофобними покриттями. Зведення з пінобетону стін підвалів допускається лише при забезпеченні надійної гідроізоляції фундаменту та при низькому рівні ґрунтових вод.

7.2.3. Зовнішнє утеплення фасадів будівель

Енергоефективність будівель значно підвищується за рахунок створення фасадних систем, що включають зовнішнє розміщення додаткового шару теплоізоляційного матеріалу. У разі зовнішнього розташування утеплювача досягаютьться наступні переваги:

– утеплюється вся поверхня стіни разом з вузлами прилягання плит перекриття (ліквідуються промерзаючі теплові містки);
– підвищуються теплоакомуляційні властивості стін;
–досягається утеплення без зменшення корисної площі будинку;
– роботи з утеплення будинку проводяться без погіршення життєдіяльності його мешканців.

До найбільш поширених будівельних стінових систем відносяться:

1) навісні вентильовані конструкції утеплення зовнішніх стін;
2) невентильовані конструкції утеплення зовнішніх стін з використуванням мінераловатних та полістирольних плит із кріпленням їх безпосередньо на поверхні стіни;

3) різні поєднання двох попередніх варіантів систем з використуванням утеплювачів.

Високу теплову ефективність забезпечує застосування навісних вентильованих фасадних систем. Вентильована фасадна система – це додаткове огороджувальна конструкція з облицювального матеріалу, що монтується до основної стіни таким чином, що між ними залишається повітряний простір. Навісні фасади будівель кріпляться за допомогою спеціального каркаса зі збереженням вентиляційного зазору між шаром утеплювача і зовнішнім фасадним матеріалом. Навісні вентильовані фасади застосовують у тих випадках, коли фасад будівлі або споруди піддаються інтенсивному впливу навколишнього середовища (опади, вітер), а також коли необхідно виконати художнє оформлення фасаду. Така вентильована фасадна система складається:

- із металевої або дерев'яної конструкції, прикріпленої до несучої стіни;
- закріпленого теплоізоляційного шару вогнестійкого, паропроникного та жорсткого утеплювача. У якості утеплювача у таких фасадних системах найбольш часто застосовується базальтова вата;
- вентильованого повітряного прошарку між стіною та утеплювачем;
- зовнішнього облицювання (вініловий, дерев'яний або металевий сайдинг, полівінілхлоридні панелі, керамограніт, фіброцементні плити, алюмінієві композитні панелі тощо), яке виконує роль захистного екрану.

До складу кріпильної конструкції входять кронштейни, вертикальні та горизонтальні напрямні, що монтуються на кронштейни, а також комплектуючі, за допомогою яких кріпиться облицювальний матеріал. Завдяки такому облаштуванню утеплювач зберігає свої теплоізоляційні властивості.

Широко поширеним варіантом підвісного вентильованого фасаду є дерев'яний каркас, на якому закріплений полівінілхлоридний сайдинг. Дерев'яний каркас дозволяє надійно зафіксувати плити мінеральної вати на зовнішній поверхні несучої стіни. Для захисту мінеральної вати від атмосферної вологи теплоізоляційні плити додатково покриваються вітрозахисною плівкою. Плівка кріпиться контррейками, на яких монтується полівінілхлоридний сайдинг. Для вентиляції та видалення зайвої дифузної вологи у нижніх кромках панелей сайдингу виконують спеціальні отвори.

Теплоізоляція у вигляді вентильованої фасадної системи ефективно захищає стіну від поперемінного відтаювання та замерзання, знижує

амплітуду температурних коливань. За рахунок перепаду тиску між нижньою частиною та верхом стіни, відбувається постійний рух повітря знизу вгору, що дозволяє виводити конденсовану вологу з внутрішньої поверхні облицювального матеріалу і дифузійну вологу з шару утеплювача. Іншою перевагою навісного вентильованого фасаду є підвищення здатності стіни акумулювати тепло. Завдяки утеплювачу, укладеному під облицювання, втрати тепла через стіну скорочуються в 2-3 рази, що дозволяє помітно знизити витрати на опалення будівлі. У випадку відключення теплопостачання будівлі, при зовнішній теплоізоляції цегляна стіна остигає значно повільніше в порівнянні з з не теплоізольованою стіною. Будучи температурним буфером, повітряний проміжок знижує теплові втрати. У літній період зовнішній екран виконує сонцезахисну функцію, відбиваючи теплові промені, що знижує передачу тепла до поверхні утеплювача. Це дозволяє досягнути скорочення витрат на кондиціювання повітрч всередині приміщення.

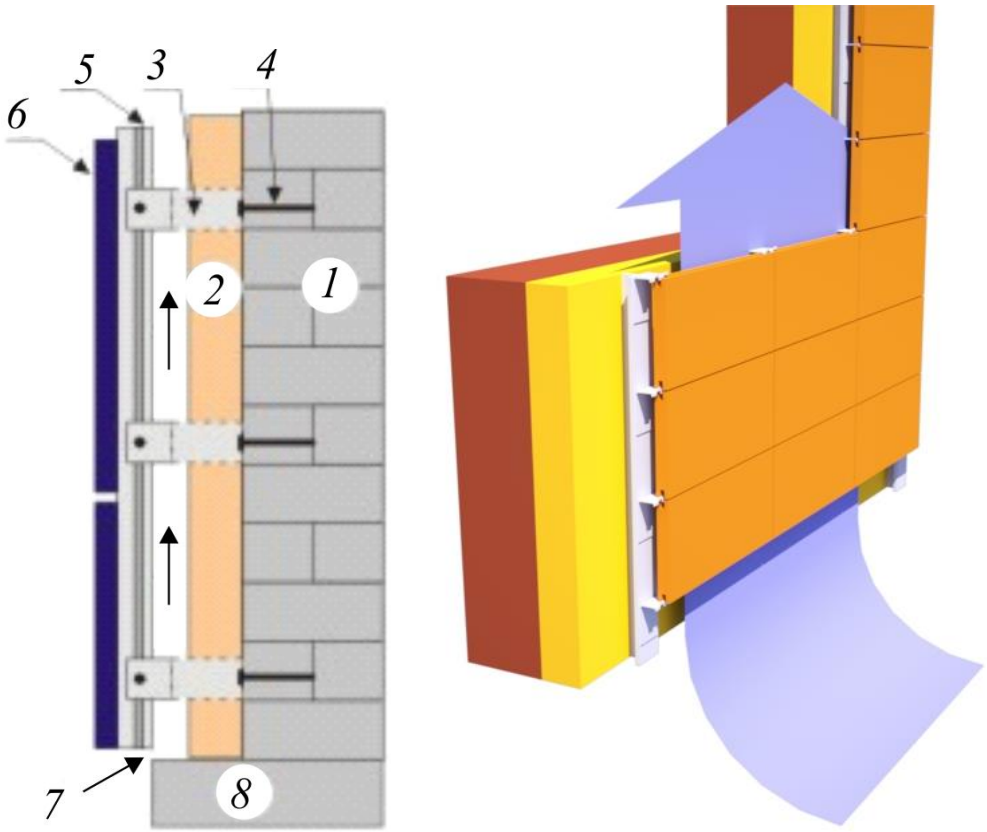


Рис. 109. Схема облаштування вентильованого фасаду: 1 – стіна; 2 – утеплювач; 3 – кронштейн; 4 – анкерні болти для кріплення кронштейну; 5 – профіль-основа для закріплення зовнішнього облицювання; 6 – панелі зовнішнього облицювання; 7 – повітряний потік; 8 – цоколь будівлі

До переваг утеплення будівель за допомогою вентильованих фасадих систем:

- високі тепло- і звукоізоляційні характеристики системи;
- ефективна вентиляція стін будівлі;
- стійкість фасадної системи до атмосферних впливів, надійний захист стін від атмосферних опадів;
- можливість застосування в оптимальному поєднанні в фасадній системі різних матеріалів (полімерні, металеві та композитні матеріали, рейкові профілі тощо);
- можливість реалізації необхідних колірних комбінацій фасаду.

Вентильовані фасадні системи складніші у виготовленні і дорожчі за системи штукатурного фасаду, проте вони дозволяють виконувати найрізноманітніше архітектурно-мистецьке оформлення фасаду. Вентильовані теплоізоляційні фасадні системи ускладнено застосовувати для утеплення висотних будівель, пам'ятників архітектури, а також при виконанні робіт у зимовий період.

Найбільш поширеним в Україні є варіант підвищення теплоефективності будівель за рахунок використання зовнішнього невентильованого утеплення стін з застосуванням пінополістирольних або мінераловатних плит. Для утеплення будівель до стіни з зовнішньої поверхні щільно прикріпляють додатковий теплоізоляційний шар. Панелі з пінополістиролу лідирують серед тепло- та звукоізоляційних матеріалів. За умови правильного монтажу і надійного захисту від зовнішніх факторів гарантований термін служби пінополістирольного утеплюючого шару складає до 30 років. Розширюється використання у якості стінового утеплювача блоків з базальтової вати.

Плити утеплювача закріплюють безпосередньо на поверхні стіни клеєм, спеціальною мастикою або цементним розчином. Додатково їх прикріплюють до стіни механічним способом – дюбелями та шурупами. На фасадну поверхню будівлі наноситься клейовий шар, далі встановлюється плита утеплювача на дюбелях. За допомогою штукатурного шару до зовнішньої поверхні плити утеплювача кріпиться армована сітка. Поверхню теплоізоляційних плит захищають від дії атмосферних опадів та ультрафіолетового випромінювання шляхом нанесення шару штукатурного розчину, який наноситься на додатково розміщену армуючу сітку. Лицьова частина будівлі покривається декоративно-оздоблювальних штукатурним шаром за допомогою фасадної фарби або декоративної штукатурки, поверх

штукатурного шару. Ця система утеплення називається системою утеплення фасадів «мокрого» типу, тому що останні шари в такій конструкції наноситься у вигляді водних розчинів.

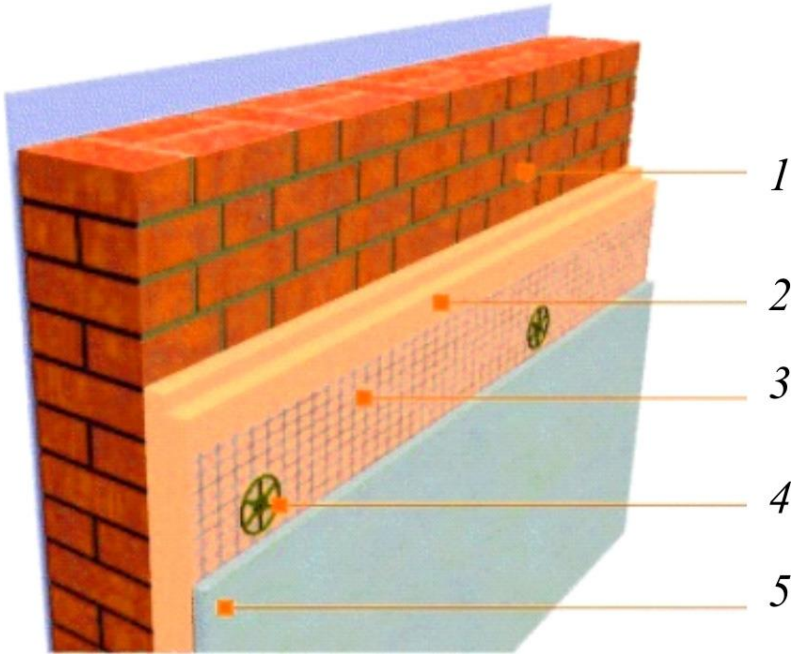


Рис.110. Схема невентильованої теплоізоляції фасаду: 1 – стіна; 2 – утеплювач; 3 – армуюча сітка; 4 – кріпильний дюбель; 5 – фасадна штукатурка

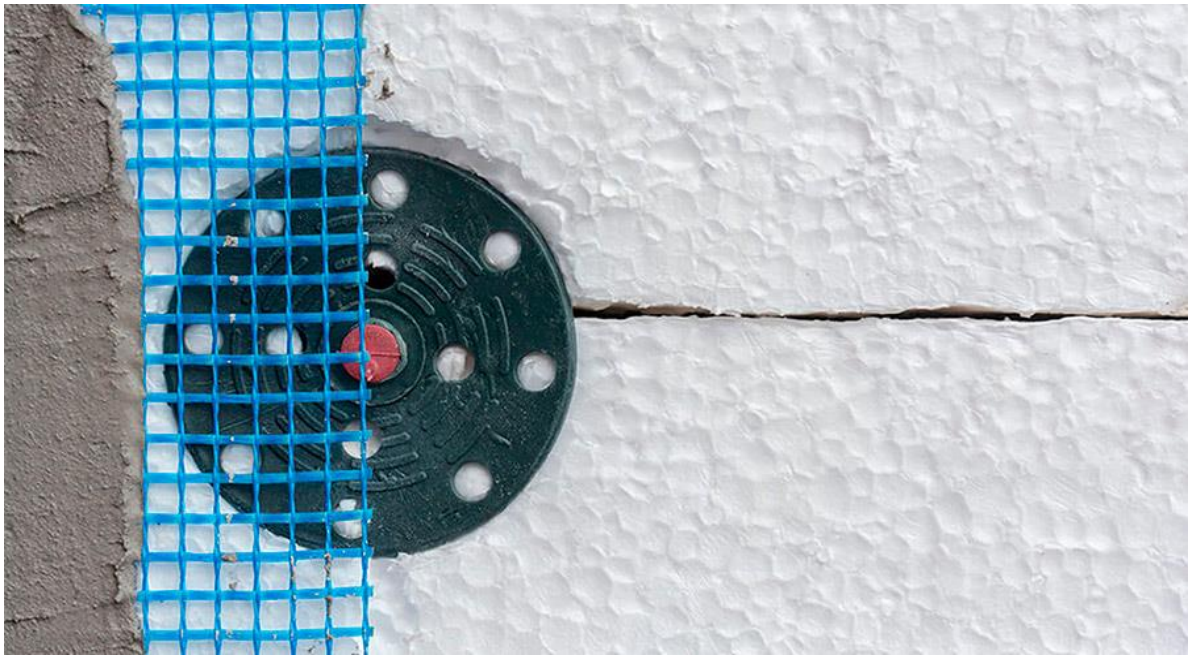


Рис.111. Прикріплення теплоізоляційної пінополістиролової плити до стіни за допомогою дюбеля

Рис.112. Зовнішнє утеплення стін багатоквартирного будинка плитами з пінополістиролу за «мокрим» типом

7.2.4.Теплоізоляція відбиваючого типу

У більшості квартир та житлових будинків радіатори опалення встановлюються під віконними пройомами. Ділянка стіни за радіаторами опалення завжди обігрівається найбільш інтенсивно (до 35–40°С). Для мінімізації втрат теплової енергії у вигляді інфрачервоного випромінювання, яке витрачається на нагрівання стін будівлі, на внутрішній поверхні стіни за радіаторами доцільно розміщувати тепловідбиваючий екран. Відбивна теплоізоляція здатна повернути всередину приміщення більше половини тепла, що втрачається, стає можливим застосування легких огороджувальних конструкцій. Екран дозволяє за рахунок скорочення теплових втрат домогтися підвищення ефективності роботи радіатора майже на 20%. Такий захід дозволяє підвищити температуру в приміщенні в середньому на 2 – 3 градуси.

Для цього у якості теплоізоляційних матеріалів додатково використовують внутрішню тонкошарову відбиваючу теплоізоляцію. Найчастіше тепловідбиваючі екрани для опалювальних радіаторів виконуються з фольгопласту. Відбиваюча теплоізоляція з цього матеріалу являє собою поліровану алюмінієву фольгу, яка комбінована з тонкими спіненими шарами поліетилену. Алюмінієва фольга товщиною 20 мікрон виконує функцію «теплового дзеркала»,

відбиває до 97% теплової енергії і перенаправляє потік теплової енергії в приміщення. Такий матеріал одночасно служить і пароізолятором.

Рис.113. Фольгована теплоізоляція

Теплоізоляцію відбиваючого типу широко застосовують для ізоляції зовнішніх стін, покрівель, перекриття над холодними підвалами. Також використовують відбиваючу теплоізоляцію при монтажі теплих підлог, бань і саун, у складах і ангарах.

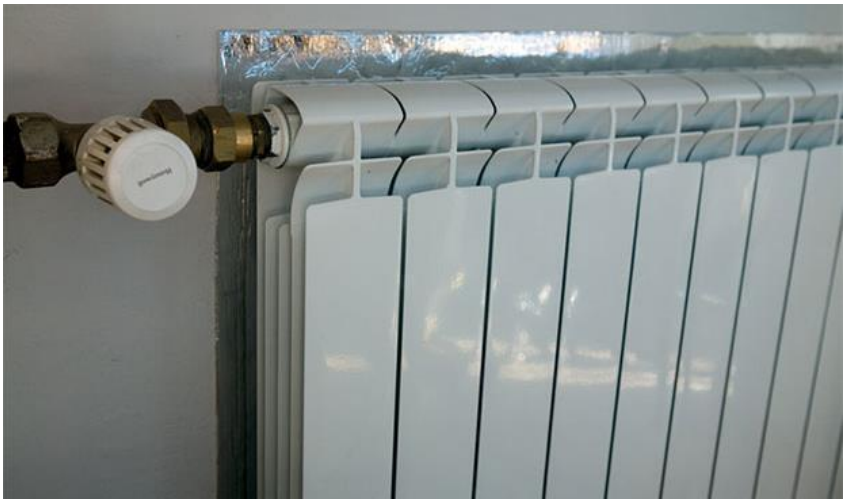


Рис.114. Тепловідбиваючий екран, який встановлено позаду батареї опалювання.

Всі види тепловідбивної теплоізоляції умовно поділяють на три типи, які маркуються літерами «А», «В» і «С». Тип «А» – це теплоізоляційний матеріал, виготовлений із спіненого поліетилену, з одного боку якого нанесена фольга. У більшості випадків це

універсальний матеріал, який може встановлюватися на будь-які поверхні. Найчастіше його прикріплюють до стіни будівельним клеєм. Тип «В» – це спінений поліетилен товщиною до 5 мм, який покритий фольгою з двох сторін. Його використовують для теплоізоляції стінок холодильних камер, що мають призначення ззовні не пропускати тепло, а з зсередини - зберігати холод. Тип «С» – на відміну від типу «А» має самоклеючуюся основу, що спрощує її закріплення.

До переваг теплоізоляції відбиваючого типу відноситься:

-простота у використанні - кріплення рулонного матеріалу здійснюється на поверхню стіни подібно до клейкої стрічки;

- компактність (незначна товщина);
- безпека та екологічність в процесі експлуатації;
- довговічність.

До розповсюджених енергоефективних опалювальних рішень також відносяться:

- облаштування у житлових приміщеннях теплих підлог, які є ефективними опалювальними приладами. Тепле повітря, яке піднімається вгору від підлоги, рівномірно обігріває все приміщення та створює комфортні житлові умови. Тепла підлога являє собою електричний нагрівальний мат, що укладається під зовнішнє фінішне покриття. Така підлога забезпечує надійне, легко регульоване опалення, але потребує підвищених витрат нлектричної енергії;
- заміна систем об’ємного опалення на точкові інфрачервоні обігрівачі є ефективним рішенням для великих приміщень типу виробничих цехів. Застосування таких приладів для опалення дозволяє передавати тепло безпосередньо на необхідні ділянки, не прогріваючи при цьому весь об’єм повітря в приміщенні.
- для зниження надходження в приміщення холодного зовнішнього повітря через дверні отвори громадських будівель та багатоповерхових житлових будинків і, відповідно, витрат енергії на їхнє нагрівання, застосовують повітряно-теплові завіси. Їх влаштовують у відкритих пройомах при вхідних дверях, що часто відкриваються, або при значних площах виїздних воріт з приміщень. Вони можуть працювати як з електричним або водяним підігрівом, так і без підігріву (при невеликих перепадах температур зовнішнього та внутрішнього повітря).

7.2.5.Теплозберігаючі вікна

Екологічне будівництво передбачає використання пасивної сонячної енергії для обігріву та освітлення будинку. Віконні пройоми є основним каналом енергообміну між будинком та вулицею. Важливим напрямком енергозбереження в житлових будинках є заміна застарілих зношених вікон і дверей. Через нещільності огороджувальних конструкцій нових дерев'яних вікон з подвійним склінням в житлову кімнату надходить зовнішнє повітря в кількості, при якому за 1 годину замінюється половина об'єму приміщення (кратність повітрообміну 0,5). Однак з часом в таких вікнах можуть утворюватися різні нещільності, в результаті чого виникає зайва інфільтрація. Це призводить до збільшення річних втрат теплоти в двокімнатній квартирі з 5,2 ГДж при кратності повітрообміну 0,5 до 20,8 ГДж при дворазовому воздухообміні. В результаті через вікна з приміщень втрачається до 40% тепла.

Суттєве зменшення теплових втрат через віконні пройоми будинків досягається при використанні герметичних металопластикових вікон, які виготовлені з полівінілхлориду (ПВХ). Металопластикові вікна отримали свою назву завдяки використанню металевих вставок для їх внутрішнього армування.

Модульна конструкція металопластикових вікон передбачає, що практично всі ці конструкції збираються із стандартних комплектуючих. Металопластикові вікна включають рами і стулки, які виготовлені з пластикових профілів, фурнітуру і склопакети. Вони можуть відрізнятися за розміром, дизайном і характеристиками - проте загальна схема конструкції у них є практично незмінною.

Основою металопластикового вікна є рама, яка складається з металопластикового віконного профілю по периметру виробу. Рама сприймає і рівномірно розподіляє навантаження на конструкцію вікна. Для вікон використовують багатокамерний профіль ПВХ - така внутрішня структура не лише знижує теплопровідність, а й підвищує жорсткість конструкції. Міцність рами забезпечується за рахунок розташованого усередині оцинкованого стального армуючого профілю товщиною 1,5 - 2 мм, що є основою і головним компонентом пластикових вікон. Крім того, армування, яке розміщене всередині вікнного профіля, забезпечує надійне закріплення елементів фурнітури, віконних петель. Таке кріплення запобігає вириванню петель з пластмаси та їх провисанню. Для поділу рами на окремі

сегменти, її розділяєть перегородками - імпостами, а частини вікна, які відкриваються або відкидаються, називаються стулками.

Відкривання стулок вікна у різних режимах, а також притискання стулки до рами і її фіксація у закритому положенні забезпечує фурнітура. З її допомогою досягаються різні функції і варіанти відкриттів, наприклад, поворотний: це коли стулка відкривається в звичайному положенні; поворотно-відкидний: стулка відкривається в двох площинах тощо.

До основних елементів фурнітури входять:

- петлі, які з'єднують раму зі стулкою і забезпечують рух частин, що відкриваються;
-запірний механізм на стулці;
-планки (зачіпи) на рамі, які утримують стулку в закритому положенні і забезпечують її щільне притискання до рами;
- ручка, яка приводить в рух запірний механізм і використовується для керування основними функціями фурнітури.

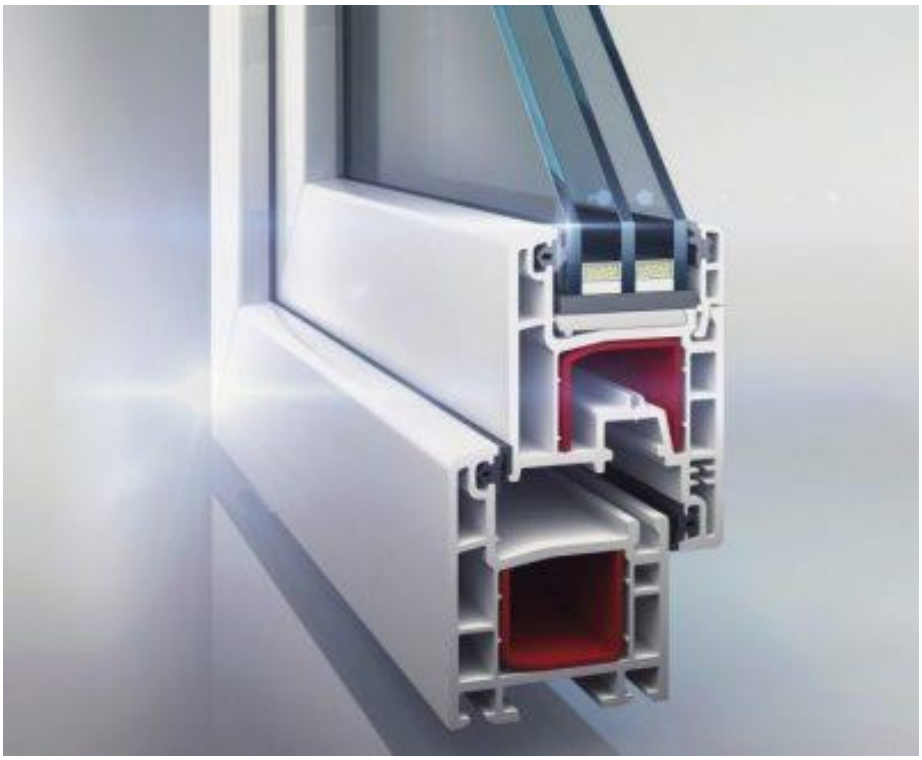


Рис.115. Розміщення стальної арматури в пластиковому профілі вікна

У раму вікна встановлюються склопакети, що кріпляться за допомогою штапиків. Склопакети в найбільшій мірі визначають теплостійкість вікна. Однією з характеристик профілю є максимальна

товщина встановлюваного склопакету - чим товщим є профіль, тим товстіший склопакет в нього можна встановити, що знижує теплопровідність конструкції. Сучасні склопакети мають щонайменше два скла, які розділяються дистанційною рамкою.

Значну роль в забезпеченні тепло- і шумоізоляції грають гумові ущільнювачі, які розміщуються по периметру відкриваємих частин, а також між склом, рамою і штапиками по периметру склопакета. Ущільнювачі з каучуку або еластичного полімеру перекривають зазор і забезпечують герметичність конструкції.

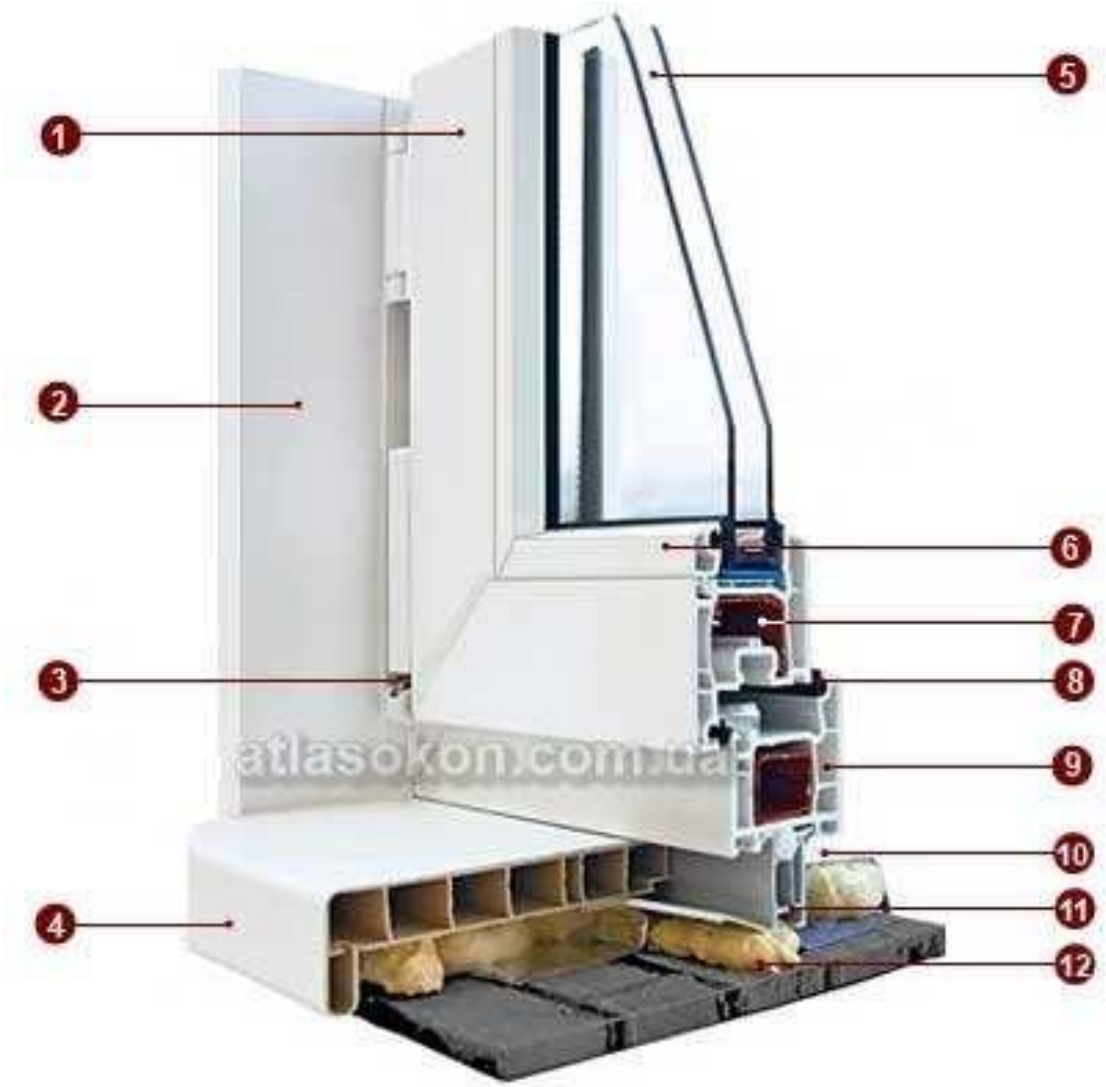


Рис.116. Основні елементи конструкції металопластикових вікон:
1 - стулка вікна; 2 - відкіс; 3 - фурнітура; 4 - підвіконня; 5 - склопакет; 6 - штапик; 7 - стальне армування; 8 - гумове ущільнення; 9 - рама; 10 - відлив; 11 - підвіконний профіль; 12 - монтажна піна.

Листи скла герметично склеюють по периметру склопаката. Герметики, що застосовуються для утворення склеюючих швів у склопакеті, повинні забезпечувати міцність склопакетів, а також перешкоджати проникненню водяної пари у внутрішній міжскляний простір. В склопакетах між листами скла знаходиться сухе повітря. Для заповнення міжскляного простору замість повітря часто використовують інертні гази, що дещо покращує тепло- та звукоізолюючі властивості цих елементів. Найчастіше заповнення між скляного простору використовуються аргон (Аг).

Склопакети можуть бути виготорленим з тонованим, енергозберігаючим, сонцезахисним, ударостійким склом та склом триплекс. Установка подібних видів спеціального скла, надає виробам додаткових енергозберігаючих, шумопонижуючих та захисних властивостей.

Триплекс (ламіноване скло) - багатошарове скло з розташованою всередині полімерною плівкою. Основне завдання триплексу – перешкоджати насильницькому вторгненню у приміщення. При ударному впливі таке скло руйнується, але уламки залишаються міцно зчепленими з проміжним ним шаром, тому воно безпечне для оточуючих.

Найбільшу енергоефективність забезпечує використання для виготовлення склопакетів низькоемісійне скло (LOW-E - скло) зі спеціальним покриттям. На поверхню такого скла шляхом напилення наноситься тонкий шар срібла, що не приводить до зміни прозорості до видимого світла. Дане тип скла відбиває теплове випромінювання назад у житлове приміщення, скорочуючи втрати тепла. У скандинавських країнах цей вид скла використовують в склінні близько 90% будівель. Також на ринку з'явилася новітня ефективна технологія «теплового дзеркала». У склопакеті усередині між листами скла розміщується натянута прозора полімерна плівка товщиною 0,075 мм з низькоемісійним покриттям. Затримуючи теплове випромінювання, теплове дзеркало практично не знижує рівень пропускання світла.

Головною перевагою металопластикових вікон є високі показники теплоізоляції. Скління з використанням металопластикових вікон дає можливість зменшити тепловтрати та заощадити на опаленні. Використання сонцезахисного скління дозволяє економити не тільки на опаленні, а й на кондиціонуванні - за рахунок зменшення перегріву в спеку. До переваг металопластикових вікон також відносять:

- механічна міцність та надійність;

- простота монтажу, обслуговування і очищення;
- широкий спектр продукції як за колірною гамою, так за габаритними розмірами та формами (арочні, круглі, трикутні);
- естетичний зовнішній вигляд і відсутність необхідності періодичного ремонту (фарбування, шпаклювання, утеплення);
- не складна технологія заміни склопакетів;
-тривалий термін гарантійний ксплуатації (більше 20 років);
- матеріал металопластикових вікон (полівінілхлорид) є малогорючим і при загоранні швидко гаситься;
- установка пластикових вікон лише в незначній мірі здорожує будівництво (до 8%).

Установка герметичних пластикових вікон в ряді випадків призводить до порушення обміну повітря в приміщеннях, де використовується система природної вентиляції і, як наслідок, виникає підвищена вологість. Збільшення вологості повітря викликає необхідність частого провітрювання, а це на 50-70% знижує ефективність застосування теплозахисних вікон. Сучасні віконні конструкції оснащуються регульованими приладами вентилювання (спеціально виготовленими отворами в віконному профілі, поворотно-відкидними пристроями, фіксаторами), які можуть забезпечити будь-який варіант провітрювання приміщення за бажанням користувача. Якісне вирішення питання ефективного повітрообміну в таких умовах потребує застосування систем механічної вентиляції.

Великі вікна допомагають обігрівати будинок в холодну пору, але є потреба захисту від сонячних променів в літній час. Маркізи, навіси і звиси даху можуть скоротити кількість вхідного світла. В сучасних будівлях застосовують механізми автоматично керованого відкриття та закриття жалюзі, від яких залежить освітлення, поглинання і віддача тепла. Наприклад, якщо в приміщенні відсутня необхідність в освітленні, смужки жалюзі розгортаються «поглинаючою» темною стороною до скла.

Ефективним рішенням у сучасному будівництві є використання «розумних вікон» з електрохромного скла, яке є різновидом рідкокристалічного матеріалу. При цьому плівковий прошарок з рідкокристалічною будовою знаходиться між шарами звичайного скла. При подачі електричної напруги 12 - 36 В на електроди, які розміщені у рідкокристалічному прошарку, відбувається заряджання іонів у плівковому шарі, що викликає зміну прозорості і кількості пропускаємого світла. Під впливом електричного струму, кристали

приймають паралельну по відношенню до електричного поля орієнтацію і молочно-матове електрохромне скло стає прозорим. В прозорому стані електрохімічне скло поглинає не більше 10% світла. Такі вікна використовують у висотних будівлях, де автоматизована система керування дозволяє регулювати рівень пропускання світла в приміщення.

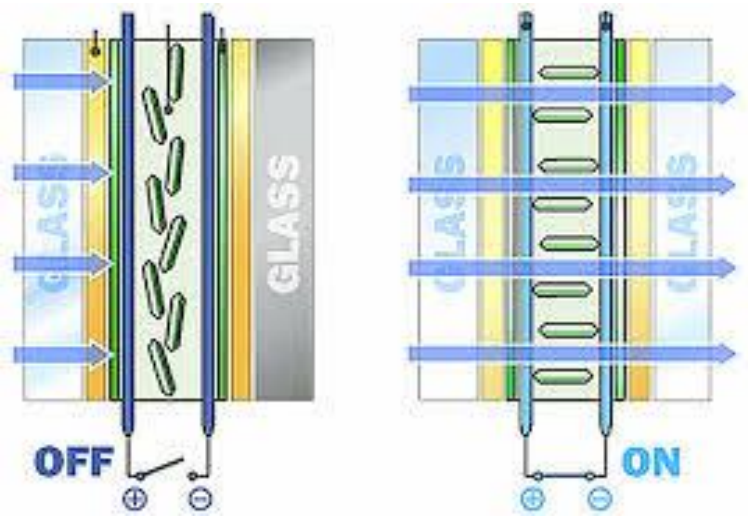


Рис.117. Схема зміни прозорості електрохромного скла під дією електричного струму

Основні властивості електрохромного скла:
- можливість змінювати ступінь прозорості і затемнення;
- скорочуються витрати на кондиціонування повітря, рідкокристалічний шар служить альтернативою жалюзі та шторам;
- у прозорому стані електрохромне скло не пропускає ультрафіолетове випромінювання;
- електрохромне скло піддається миттю аналогічно звичайному склу.

7.2.6. Підвищення енергоефективності освітлювальних систем

Якість освітлення визначає комфортність довкілля, самопочуття, людини та її працездатність. Вплив світла на людину визначається, з одного боку, кількісними та якісними параметрами світлового середовища, з іншого - закономірностями фізіологічної оптики, вікової анатомії, фізіології зору та фотобіології. Статистичні дані свідчать, що 19% електроенергії, що використовується у світі, витрачається на освітлення. Сучасний крупний супермаркет споживає за місяць понад 150 тис кВт електроенергії. При цьому безпосередньо на освітлення

витрачається до 50% всієї споживаної електричної енергії. Освітлення також займає суттєву частку споживаної енергії в побуті. У глобальному масштабі економія 40% електроенергії, що витрачається на освітлення, еквівалентна щорічній економії 1,5 млрд. барелів нафти (зниження потрібної електричної потужності приблизно на 2 ТВт), скорочення викидів вуглекислого газу в атмосферу на 555 млн. т на рік.

Правильне використання денного освітлення дозволяє скоротити кількість споживаної енергії, домогтися або зменшення інтенсивності електричного освітлення, або його вимикання, при цьому зберегти комфорт мешканців. Щоб досягти ефективного використання денного освітлення, під час проектування будівлі передбачають ряд дизайнерських розробок. Так, розміщення вікон та їх форма, внутрішнє оздоблення приміщення, розташування розділових стін повинні сприяти оптимальному проникненню та розподілу денного світла, електричне освітлення має доповнювати наявне денне освітлення. Необхідно уникати небажаних відблисків та накопичення тепла від сонячного випромінення.

Існують різні варіанти оптимізації денного освітлення будинків у вигляді вікон. Це використання жалюзі, штор, вікогнниць тощо. Однак, зміннювання інтенсивністі природного освітлення протягом доби не дозволяє повністю відмовитися від використання штучного освітлення. Деякі ділянки будівлі, де немає доступу до денного освітлення, повністю залежать від наявності штучного освітлення.

Для економії електроенергії на освітленні використовують наступні заходи:

- використання менш потужних джерел світла та скорочення часу їх горіння;
- застосування більш економічних і надійних джерел світла та сучасної пускорегулюючої апаратури. Перший варіант, через недостатнє освітлення, може може бути причиною втоми очей у співробітників, а у клієнтів компанії знижується концентрація уваги і наноситься шкода іміджу компанії, тому що клієнт, потрапляючи з яскравого денного світла в приміщення, де напівтемне освітлення, буде відчувати дискомфорт. Другий варіант є більш доцільним, оскільки при невеликих додаткових капітальних вкладеннях, він дозволяє досягнути помітного скорочення витрат на електроенергію.

Скорочення витрат електроенергії на освітлення може досягатися за рахунок встановлення датчиків інтенсивності освітлення, а також

датчиків, які забезпечують включення освітлення при наявності у приміщення рухомих обєктів. Використання подібних датчиків може забезпечити автоматичне регулювання яскравості освітлення. Застосування таких регулюючих систем є ефективним для оснащення дворових світильників, складських приміщень тощо. У деяких випадках це дозволяєє заощадити до 20% електроенергії.

Основним типом освітлювальних приладів тривалий час були лампи розжарювання, люмінесцентні та газорозрядні лампи.

Електричний струм, що передається через контакти лампи розжарювання, разігріває тонку вольфрамову спіраль до 3000^0С градусів, в результаті чого утворюється видиме світло жовтуватого відтінку. Лампи розжарювання мають низьку ефективність – в діапазоні 15-20 лм/Вт. Традиційна лампа розжарювання 95**%** споживаної енергії перетворює в тепло. Цикл роботи традиційної лампи розжарення становить близько 1000 годин.

В Україні впродовж останніх років в побуті, комунальному господарстві та на виробництві активно проводиться модернізація освітлювальних систем із використанням енергозберігаючих засобів. За рахунок цього досягається заощадження до 80% енергії.

Оскільки лампи розжарювання дуже неефективні, у багатьох приміщеннях їх останні тридцять років намагалися замінювати компактними люмінісцентними лампами, знижуючи споживання енергії приблизно на 75%. Люмінесце́нтна (флуоресцентна) ла́мпа, лампа денного світла — газорозрядне джерело світла, світловий потік якого визначається в основному світінням люмінофорів під впливом ультрафіолетового випромінювання електричного розряду в парах ртуті. Люмінесцентні лампи оснащені запаяною з обох боків трубкою, покритої зсередини шаром спеціального матеріалу - люмінофору і заповненою, інертним газом та невеликою кількістю ртуті. Ефективність люмінесцентних ламп є вищою і становить від 55 до 100 лм/Вт. Головними перевагами люмінесцентних ламп у порівнянні з лампами розжарення, є висока світловіддача і тривалий термін служби (6000...8000 годин). Усі типи люмінесцентних ламп містять від 40 до 70 мг ртуті, яка є отруйною речовиною і відносяться до І класу небезпеки для довкілля. Ця кількість може заподіяти шкоду здоров'ю, коли лампа розбилася.

.

Рис.118. Лампа розжарення та енергозберігаюча люмінісцентна лампа

Світлодіодні прилади (LED) - один із сучасних видів освітлювальних пристроїв, яким пророкують майбутнє. Світлодіоди - це напівпровідникові прилади, які виділяють світло під час проходження через них електричного струму. Живлення здійснюється від мережі змінного струму. Сучасна світлодіодна лампа це складний електронний освітлювальний прилад із блоком живлення на мікросхемах для перетворення мережевої енергії в постійний струм низької напруги та високотехнологічних напівпровідникових кристалах.. Світлодіодні освітлювальні прилади високу світловіддачу за порівняно низького енергоспоживання. Світлодіодні лампи виробляють світло інтенсивністю від 50 до 100 лм/Вт. Залежно від складу напівпровідника змінюється спектр світла, що випромінюється світлодіодними лампами. Технологічно можливо виробляти світлодіодні лампи з різною передачею кольорів - і лампи з «холодним світлом» (5000-6500К), і більш «теплі» (2700-3200К). Світлодіодні лампи для побутових потреб в залежності від призначення зазвичай складаються з 1 - 30 світлодіодних чіпів, потужністю 1 - 7 Вт . При необхідності збільшити кут розсіювання світла застосовують рефлектори або збирають освітлювальний прилад з більшої кількості світлодіодів. Світлодіодні лампи виготовляються в різних типах корпусів: випускаються як побутові лампи з цоколем E14, E27, G13, і стельові з

цоколями GU5.3, GU10, а також промислові світильники в різноманітних варіантах. Світодіодні світильники знаходять застосування для освітлення доріг, парків та вулиць, використовуються в екстремальних польових умовах.

Рис.119. Сучасні світлодіодні лампи

Таблиця 13

Порівняння робочих показників різних типів освітлювальних приладів

Світловий потік, Лм	Еквівалентна потужність, Вт		
	Світлодіодна лампа	Люмінісцентна лампа	Лампа розжарення
50	1	4	20
100	2	5	25
300	4	9	40
600	8	14	70
Термін служби, годин	1000	8000	50000

До незаперечних переваг світлодіодних освітлювальних приладів належить відсутність у їх складі, на відміну від люмінісцентних ламп, ртуті, що позитивно позначається на витратах на їх подальшу утилізацію. Термін служби світлодіодних ламп майже у 10 разів вищий, ніж у люмінесцентних ламп, оскільки в них відсутні швидкоперегораючі вольфрамові нитки розжарення. У порівнянні з люмінесцентними лампами, світлодіодні лампи здійснюють перехід до повної яскравості без проходження етапу "розігріву" і затримок у часі, добре переносять

перепади напруги. Світлодіоди випромінюють яскраве світло без мерехтіння Коефіцієнт корисної дії у світлодіодів відсоток досягає 90%, що значно перевищує показник стандартних ламп. Світлодіодне освітлення скорочує затрати на освітлення в 4-10 разів та скорочує загальне споживання енергії в 3-15 разів.

На сьогоднішній день виробництвом світлодіодних ламп займаються не тільки відомі компанії, такі як General Electric та Philips, але і дрібніші виробники, основну масу яких на світовому ринку представляють тайванські та китайські компанії.

До недоліків світлодіодних ламп відноситься - вузькоспрямований світловий пучок (зазвичай від 30 до 60 градусів), що звужує сферу застосування світлодіодних ламп у побуті; неможливість регулювання світлового потоку за допомогою регуляторів освітлення та висока вартість. Завдяки результатам науковіх досліджень щодо розробки органічних (OLED) та полімерних (PLED) світлодіодів, їх вартість і витрати на виробництво постійно скорочуються, що впливає на поступове зменшення їх кінцевої ціни в роздрібних мережах.

7.2.7.Рекуперація тепла у вентиляційних системах

Вентиляційна система є одним з найскладніших елементів при обладнанні пасивного житла. При будівництві пасивного будинку має виконуватися розділення системи вентиляції на 3 зони:

- зона приточного повітря в житлових і робочих кімнатах;
- перехідна зона, яка охоплює коридори і сходи;
- зона витяжного повітря, яка об'єднує вологі приміщення і кімнати з специфічною експлуатацією, наприклад, кухні та туалети.

Традиційним елементом житлових та промислових споруд є застосування природної або механічної вентиляції та природного припливу повітря. Європейські норми передбачають мінімальну витрату повітря у приміщенні на одну людину 20 м^3 за годину. Кухня обладнана газовою плитою додатково потребує щонайменше 70 м^3 за годину надходження свіжого та видалення забрудненого повітря; у ванні до 50 м^3 за годину; в туалеті до 30 м^3 за годину. Для житлового будинку кратність повітрообміну має складати в середньому 0,3 – 0,8 загального об’єму за годину.

У більшості житлових будинків, які зведено за застарілими неенергоефективними проектами, передбачені системи вентиляції з природною циркуляцією повітря. При цьому рух повітря відбувається

за рахунок природної тяги, що виникає в результаті різниці тисків і температур. Зовнішнє повітря надходить через відкриті кватирки житлових кімнат та шпарини і видаляється у вентиляційні канали через витяжні решітки, які встановлені в кухнях, ванних кімнатах і туалетах. Системи з природною циркуляцією не потребують енергозатрат та не створюють шуму в процесі експлуатації. Однак, в теплу пору року, коли різниця між температурою всередині приміщення та назовні відрізняється менше ніж на 12°С, така вентиляція працює незадовільно і не в змозі забезпечувати нормативні показники обміну повітря. У цей період обмін повітря в приміщеннях може бути забезпечений лише за рахунок відкривання вікон та при наявності вітру на вулиці. Природна вентиляції погано узгоджується з сучасними вимогами енергозбереження, оскільки виноситься значна кількість тепла. Так, природня вентиляція з продуктивністю 150 $м^3$/годину, що функціонує за умов температури назовні 0°С та всередині будинку 17°С, виносить з вентиляційним повітрям з приміщення у зовнішній простір з нагрітим повітрям за добу понад 20 кВт·г теплової енергії.

При експлуатації енергоефективних та пасивних будинків часто виникає проблема з якістю повітря в герметичних непровітрюваних житлових приміщеннях. Розвиток будівельних технологій призвів до розширеного використання герметичних вікон та дверей зі склопакетами. Такі елементи дозволяють значно економити теплову енергію, але ускладнюють ефективний обмін повітря у приміщеннях. До того ж, внаслідок застосування бетонних та полімерних будівельних матеріалів, значно знижується повітропроникність стін і теплоізолюючих покрить. Проблема поглиблюється при широкому використанні синтетичних будівельних матеріалів (утеплювачів, оздоблювальних матеріалів, пластиків, смол), які в процесі експлуатації можуть виділяти в повітря приміщень шкідливі випаровування. Перебування у таких приміщеннях без ефективної системи повітрообміну може наносити шкоду здоров'ю людини.

В сучасному екологічно чистому та енергоефективному будинку обов'язковою вимогою є облаштування примусової механічної витяжної вентиляції, експлуатація якої веде до підвищених втрат теплової енергії. Для громадських будівель та підприємств в опалювальний період втрати тепла через системи примусової вентиляції можуть досягати 40 - 60% від загальних теплових витрат споруди.

Витяжні системи можуть бути центральними із загальним витяжним вентилятором, або з індивідуальними вентиляторами у кожному вентиляційному каналі. Пристрої механічної витяжної вентиляції повинні забезпечувати наступні вимоги:

- відсутність дискомфорту за температурним режимом та рухом повітря в приміщенні;
- герметичність пристрою у закритому положенні;
- можливість плавного регулювання припливу повітря від повністю відкритого до повністю закритого положення пристрою;
- естетичність.

Повне виключення інфільтрації повітря через огороджувальні конструкції та використання механічної припливної вентиляції дозволяють знизити теплові втрати приблизно на 1/3 від загальних тепловтрат будівлі. При цьому витрати на ефективну роботу вентиляції сучасних будівель будуть залишатися на рівні 20–40 % всіх витрат за опалення. Вдсутність системи примусової вентиляції, обладнаної системою рекуперації теплової енергії, буде нівелювати ефективність усіх заходів по утепленню будинку.

Частковим рішенням для підвищення енергоефективної вентиляції було застосовано при будівництві пасивних будинків в Німеччині, коли застосували подачу припливного повітря через встановлені підземні пластикові труби. Це дозволило взимку попередньо підігрівати припливне морозне повітря за рахунок відбору теплової енергії у неохолоджених шарів грунту.

Стабільна всесезонна економія енерговитрат при застосуванні механічної вентиляції досягається лише за рахунок нагріву припливного повітря теплом, яке відбирається від витяжного повітря шляхом (рекуперація. Рекуперація тепла - це процес утилізації теплової енергії витяжного повітря. Рекуперація тепла у вентиляційних системах це процес, під час якого повітря, що видаляється з примішення, взимку передає тепло приточному повітрю, а влітку навпаки – охолоджує його. Рекуператор (лат. *recuperator* - той що повертає) - теплообмінник поверхневого типу, який встановлюється у притоково - витяжній системі вентиляції. Рекуператори складаються з рекуперативних пластинчастих теплообмінників, в яких відбувається передача теплової енергії між розділеними металевими пластинами потоками повітря з різною температурою.

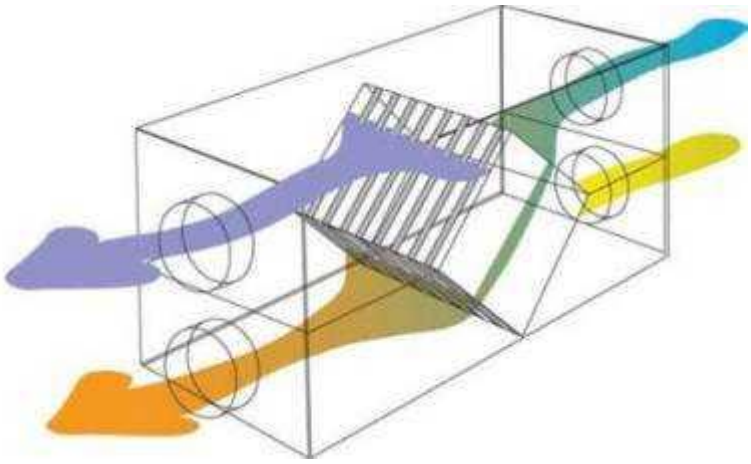


Рис.120. Схема руху теплого і холодного повітряних потоків у рекуператорі

Суть поєднання вентиляційних і рекупераційних систем полягає в тому, що зовнішнє холодне повітря, проходячи через рекуператор, нагрівається і подається у приміщення підігрітим, що забезпечує зниження втрат тепла. Використане, насичене вологою, запахами та іншими забрудненнями повітря з кухні, санвузла і ванної кімнати відводиться через витяжки за допомогою системи повітропроводів та поступає в теплообмінник рекуператора. Одночасно ззовні в теплообмінник поступає свіже повітря. Потоки повністю розділені між собою і внаслідок перехресно-проточного обміну в рекуператорі безперервним чином відбувається передача тепла від вихідного повітря свіжому зовнішньому повітрю. Наприклад, повітря виводиться з будинку із температурою 21^{0}С, а приточне повітря з зовні має температуру -10^{0}С. Повітря, що виводиться з будинку, віддає приточному повітрю до 70% тепла і на виході з рекуператора має температуру 2 - 6^{0}С, а приточне повітря, свою чергу, має температуру на виході з рекуператора 12 - 16^{0}С. Відповідно, опалювальні прилади мають нагрівати приточне повітря вже не з -10^{0}С , а з +12^{0}С, що дозволить значно скоротити витрати теплової енергії на обігрів повітря.

Рекуперацію доцільно використовувати у всіх типах будівель із примусовою вентиляцією, що забезпечує формування комфортного та здорового мікроклімату і забезпечує здорову атмосферу для дихання та високий рівень енергозбереження. За допомогою рекуперації можна зберегти до 90% тепла вентиляційного повітря.

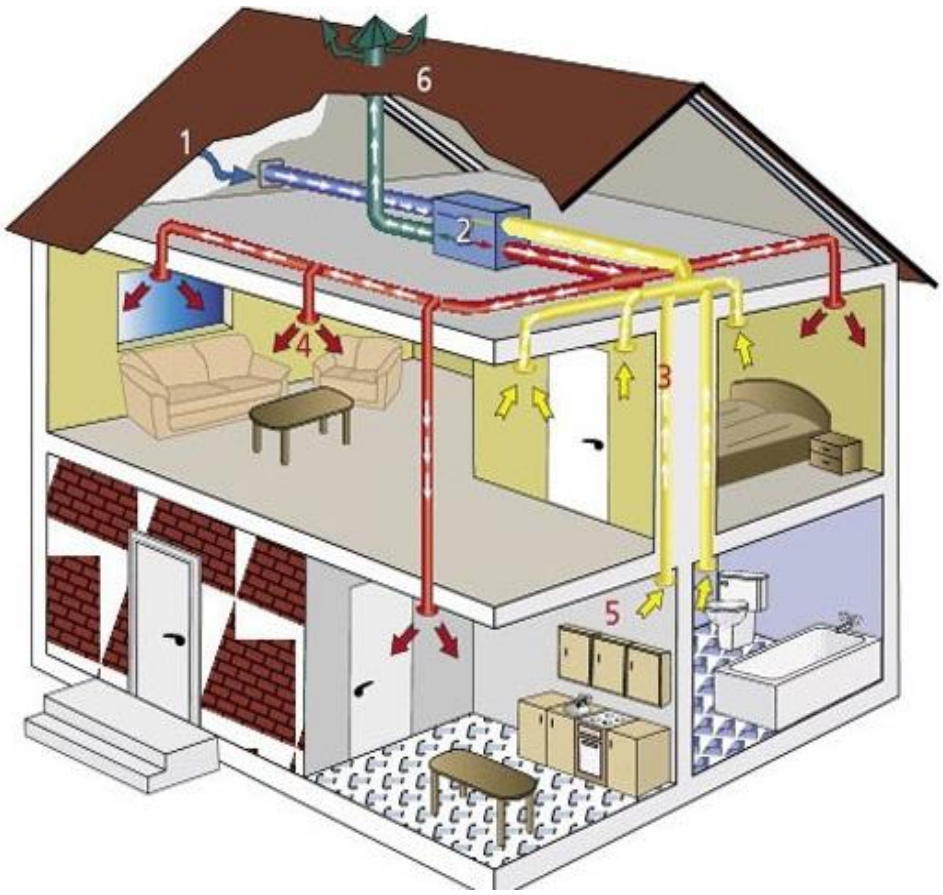


Рис.121. Схема рекуперації повітря у житловому будинку: 1 - забір холодного повітря; 2 - рекуператор; 3 - повітропровід; 4 - дифузор, через який подається підігріте приточне повітря; 5 - вентиляційна решітка для забору забрудненого повітря; 6 - викид забрудненого повітря

У системах вентиляції та кондиціювання переважно застосовуються рекуператори трьох типів: роторні, пластинчасті та прилади з проміжним теплоносієм.

Пластинчасті рекуператори - найпоширеніший вид рекуператорів для вентиляційних систем. Принцип їх дії полягає в перетині повітряних потоків приточного і витяжного повітря. Відбувається теплообмін за рахунок одночасного нагрівання й відбору тепла від пластинчастих елементів із різних сторін. Пластинчастий рекуператор являє собою касету, що складається з набору нерухомо закріплених металевих пластинчастих елементів, в якій приточний і витяжний потоки повітря проходять по каналах, розділеним пластинами. Витяжний потік повітря підігріває пластини і виходить назовні будівлі, а приточне повітря відбирає тепло від пластин, підігрівається і подається безпосередньо в приміщення.

. В результаті одночасного контакту з теплим і холодним повітрям при значній різниці температур на пластинах осідає волога, яка при зниженні температури може перетворюватися на лід. Тому для ефективної роботи в морозних умовах пластинчасті рекуператори повинні додатково оснащуватися системою відведення конденсату та системою відтаювання.

Дахові рекуператори – це різновидність пластинчатих рекуператорів систем припливно-витяжної вентиляції, які встановлюються на дахах споруд. В основному такі рекуператори використовуються для теплозбереження в торгових центрах, цехах підприємств, опалюємих складах, ангарах тощо. Використання дахових рекуператорів дозволяє економити підстельовий простір за рахунок розміщення теплообмінників зовні приміщення.

Варіанти, коли приточне повітря в достатній мірі нагрівається за рахунок відібираного тепла, є найбільш енергоефективними. Однак, в деяких випадках досягти цього не можлово. Наприклад, якщо температура зовнішнього повітря становить -25°С, то теплової енергії видаляємого повітря буде недостатньою, щоб зігріти приточне повітря до комфортної температури. У зв'язку з цим дахові рекуператори обладнуються електричною системою додаткового підігріву повітря, що подається всередину приміщення. Якщо відібраного тепла недостатньо для підігріву припливного повітря відповідно до заданих температурних параметрів, система автоматичного керування включає нагрівальні елементи.

Рис.122. Даховий рекуператор

Принцип дії роторного рекуператора полягає у проходженні повітряних потоків приточного і витяжного повітря через спеціальний обертовий роторний теплообмінник. Роторний рекуператор являє собою обертовий ротор – теплообмінник з тонких гофрованих металевих пластин. Обертання ротора здійснюється за допомогою клинопасової передачі. Частина барабану регенератора спочатку пропускає через себе тепле витяжне, а далі по мірі провертання - холодне приточне повітря. Пластини по черзі прогріваються й охолоджуються, віддаючи теплову енергію вхідному холодному повітрю, безперервно підігріваючи його. Роторні рекуператори є досить ефективними тепообмінними пристроями, однак їх конструкція доволі громіздка. Тому такий тип рекуператорів найчастіше застосовують на великих об'єктах, де є можливість розташувати припливно-витяжну систему в просторій вентиляційній камері. У вузлах поділу потоків через їх негерметичність відбувається перетікання витяжного повітря до припливного. Відсоток перетікання може бути від 5 до 20% залежно від якості виготовлення обладнання.

До недоліків роторного рекуператора відноситься:

- великі габарити теплобмінного обладнання;
- необхідність використання електричного струму для забезпечення роботи обладнання;
- наявність рухомих частин і електричного приводу визначає необхідність проведення періодичного технічного обслуговування.

Рекуператор вентиляційного повітря із проміжним теплоносієм - вид теплообмінного обладнання до складу якого входять два теплообмінники заповнені рідким теплоносієм, які об'єднані в єдину систему. Циркуляція теплоносія по системі забезпечується за допомогою циркуляційного насосу. Перший теплообмінник відбирає тепло у припливного повітря та передає другому теплообміннику за допомогою рідкого теплоносія (води, антифризу тощо). Завдяки використанню антифризу рекуператори такого типу можна використовувати навіть у сильні морози. У рекуператорах із проміжним теплоносієм забезпечується можливість регулювання ефективності теплообміну шляхом регулювання швидкості перерекачування рідкого теплоносія. Ризик передачі запахів та забруднень у такій системі повністю виключається. Рекуператори вентиляційного повітря із проміжним теплоносієм зазвичай використовуються, якщо відбір тепла здійснюється від токсичних або сильно забруднених потоків, змішування яких є неприпустимим.

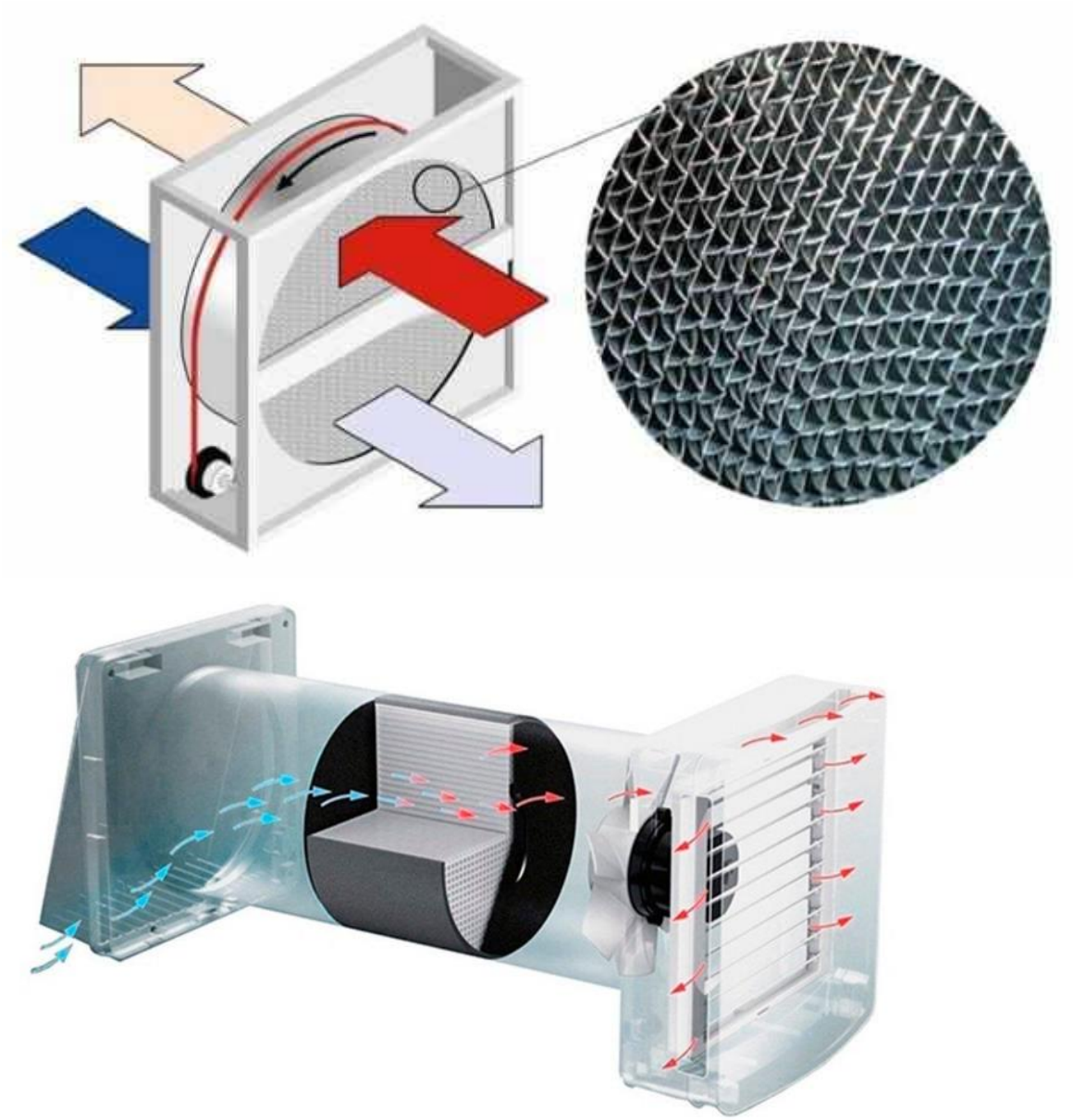


Рис.123. Принцип роботи роторного рекуператора

На відміну від роторних та пластинчастих рекуператорів головною перевагою рекуператорів з проміжним теплоносієм є можливість розміщення приточної та витяжної систем у різних місцях, коли ці секції відокремлені одна від одної на деякій відстані і з'єднані теплоізольованим трубопроводом. При цьому з'являється можливість об'єднання декількох витяжних і декількох припливних систем в одну систему рекуперації теплової енергії повітря.

Головними недоліками рекуператорів із проміжним теплоносієм є порівняно невисокий коефіцієнт корисної дії (близько 40%) та потреба у витратах електроенергії для забезпечення роботи циркуляційного насоса.

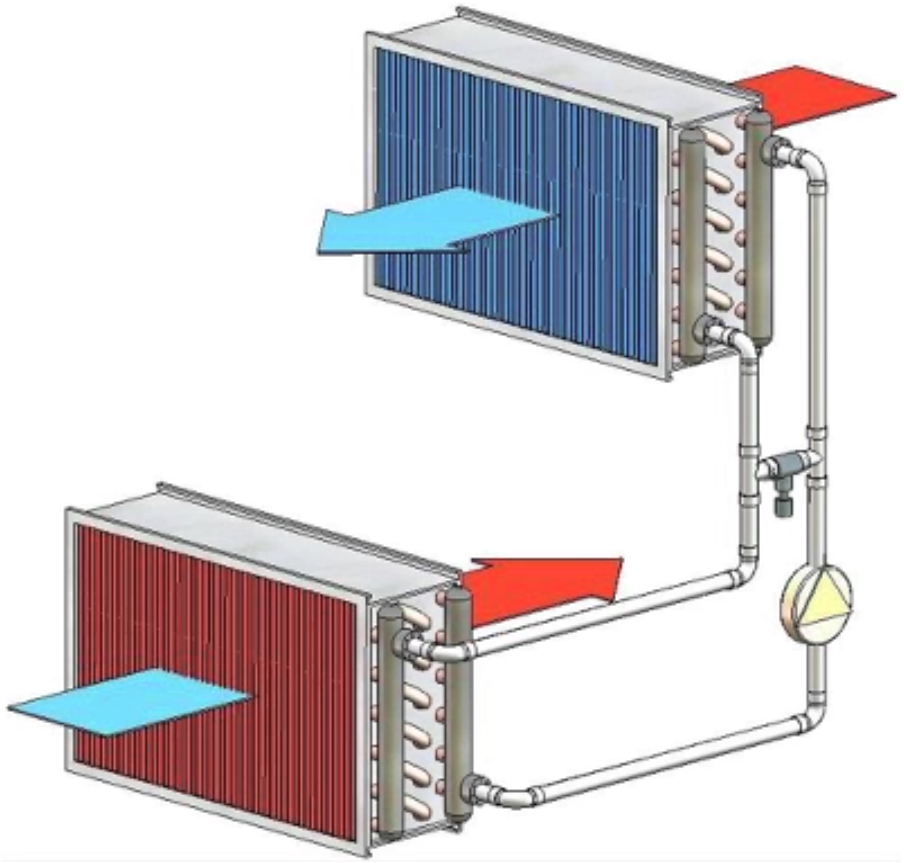


Рис.124.Рекуператор вентиляційного повітря із проміжним теплоносієм

Сучасним видом вентиляційного теплообмінного обладнання є рекуператори на базі трубчастих теплообмінників (теплових трубок), аналогічних тепловим трубкам Super Heat Pipe у вакуумних сонячних колекторах. В основу таких рекуператорів покладено принцип відбору тепла від припливного потоку за рахунок випаровування робочої рідини. Такий рекуператор складається з ряду паралельно розміщених мідних чи алюмінієвих теплових трубок, частково заповнених легкокиплячою рідиною, яка виконує роль теплоносія. Залежно від інтервалу робочих температур у якості теплоносіїв можуть бути використані: аміак (–60...+100°С), фреон - 11 (–40...+120°С), ацетон (0. .+120°С) тощо. Теплові трубки розміщуються вертикально – їх нижній кінець знаходиться у витяжному каналі, а верхній кінець - в приточному повітроводі. Вихідні теплі повітряні потоки омивають кінець трубки – теплоносій нагрівається, закипає і випаровується. Пари теплоносія піднімаються вгору і віддають теплову енергію повітрю у приточному повітропроводі. Після цього охолоджений теплоносій конденсується і стікає в нижню частину теплової трубки. Термічний цикл повторюється по колу.

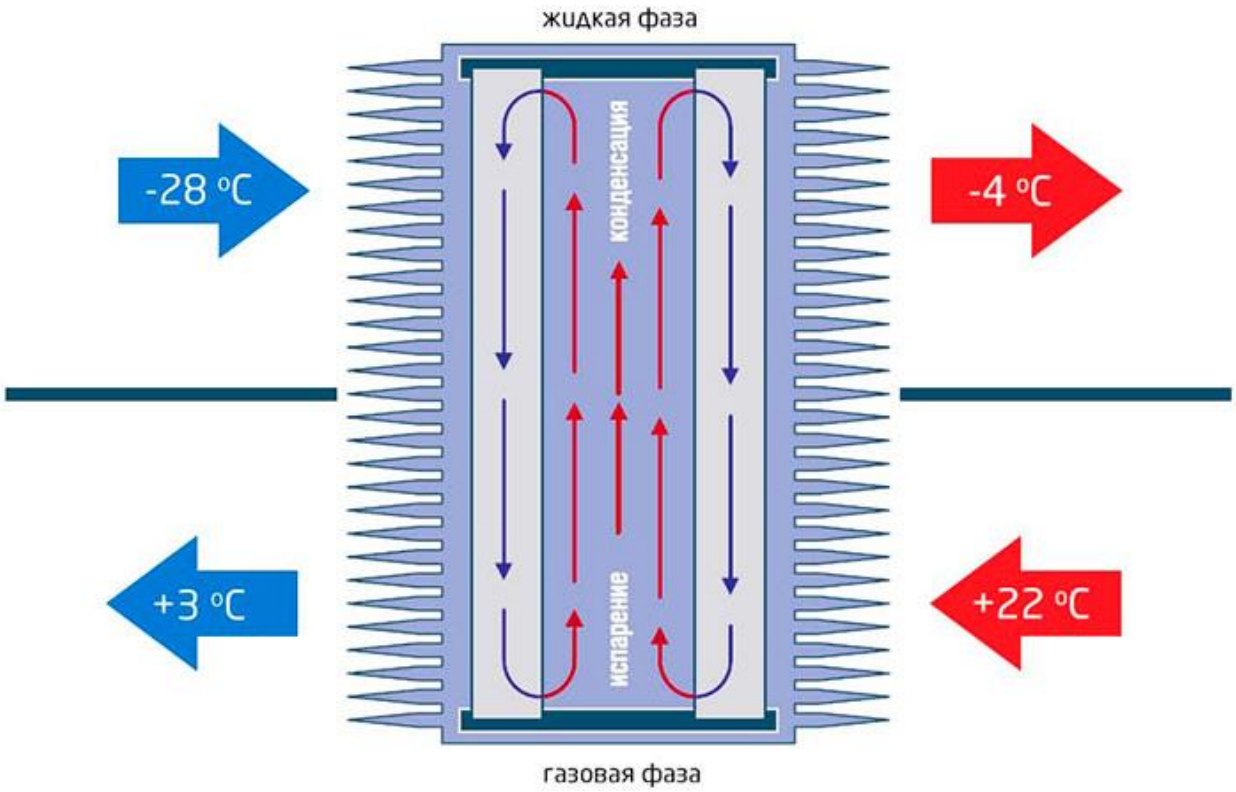


Рис.125. Схема роботи рекуператора на основі теплових трубок

До переваг рекуператорів на основі теплових трубок відноситься:
- високий коефіцієнт корисної дії трубчастого теплообмінника (до 65%);
- безшумність роботи завдяки відсутності рухомих елементів;
- простота конструкції і невибагливість в обслуговуванні;
- компактність (невеликі габарити і незначна вага);
-теплоносій циркулює природним шляхом без використання електричної енергії;
-повітряні потоки припливного потоку і витяжного каналу не перемішуються.

До недоліків рекуператорів на основі теплових трубок відноситься:
- вузький температурний робочий діапазон теплових трубок (при значному перегріванні весь теплоносій випаровується, а при недостатньому нагріванні пароутворення сповільнюється), що приводить до різкого зниження ефективності таких регенераторів;
- невисока міцність та можлива розгерметизація теплових трубок знижує надійність роботи рекуператора.

Значні можливості для економії енергоносіїв дає використання рекуперації теплової енергії у виробничих процесів. Застосування систем рекуперації теплоти дозволяє знижувати навантаження на печі,

парові підігрівачі та інші теплотехнічні прилади. Економію на енергоносіїв у виробничих процесах, переважно, здійснюють у трьох напрямках:

- оптимізація системи теплообміну;
-залучення до рекуперації максимальної кількості основних технологічних та допоміжних потоків;
- використання високоефективних теплообмінних апаратів.

Рекуператори знаходять широке застосування на промислових нагрівальних печах і високотемпературних реакторах. Гази, які утворюються при роботі пічного обладнання, як правило мають стабільно високу температуру. Розжарені гази, що відводяться від плавильних печей, виносять у вигляді фізичного (висока температура) і хімічного (наявність горючих компонентів) тепла до 40% від загальної кількості енергії, отриманої при спалюванні палива. Промислові рекуператори є більш складними складними теплотехнічними пристроями, порівняно з приладами, які використовуються у комунальному господарстві. При їх розробці необхідно вирішувати не лише завдання досягнення інтенсивного теплообміну, а й герметизації, очищення від осілого пилу на теплообмінних поверхнях, постійного технічного обслуговування тощо. У країнах Заходу під час енергетичної кризи в середині 1970-х років було розроблено та застосовано метод оптимізації системи теплообміну у виробничих технологічних процесах, який отримав назву пінч-аналіз (англ. pinch - вузьке місце). За результатами проведення пінч-аналізу з’являється реальна можливість виявлення доступної для рекуперації та утилізації теплоти, суттєво підвищується ефективність використання енергії та зменшується її вартість.

Пінч-аналіз починається із складання на основі вихідних даних графічних зображень енергетичних потоків процесу у вигляді діаграм “температура-ентальпія”. Ентальпія (Н) - це кількість енергії, яка доступна для перетворення в теплоту за певної температури і тиску. Криві на діаграмах відображають потоки енергії всередині виробничого процесу (рис.126). Верхня крива, що характеризує гарячий потік (крива 1), – це сума всього доступного тепла процесу в апараті. Воно може бути передано іншому потоку або спрямоване на холодне споживання, наприклад, передати тепло холодній воді. Нижня крива (крива 2) характеризує холодний потік і становить суму всіх теплот, потрібних для проведення технологічного процесу.

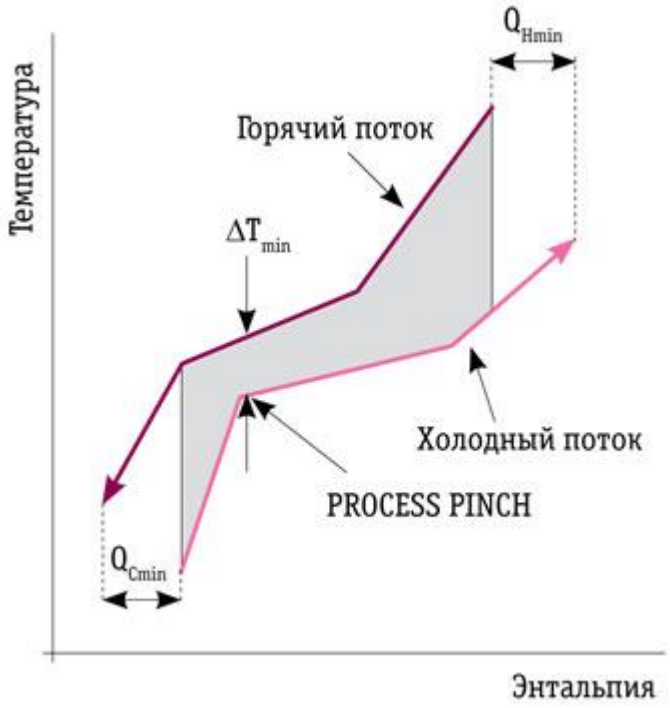


Рис. 126. Відображення складових кривих технологічних теплових потоків на Т–Н-діаграмі**:** Q_{Hmin} - необхідне зовнішнє джерело теплової енергії; Q_{Cmin} – необхідне джерело охолодження

Точка найбільшого зближення отриманих кривих вздовж вертикальної температурної осі – це мінімальна різниця температур (ΔTmin) між гарячим та холодним потоком у теплообмінній мережі, що відповідає даній діаграмі, а сама область зближення називається пінчем. Через точку "pinch" не повинні проходити потоки теплообміну. Тепло, яке відводиться від гарячої складової кривої, може бути використане для нагрівання холодної складової кривої за допомогою організації передачі тепла між потоками. Однак, у кожної зі складових кривих існує ділянка, проекція якої на вісь ентальпії не перекривається проекцією другої кривої. Це означає, що у своїй верхній частині холодна складова кривої потребує зовнішнього джерела тепла (потужністю $Q_{H,min}$), а гаряча складова крива у своїй нижній частині потребує зовнішнього джерела охолодження (потужністю $Q_{C,min}$). Ці величини є теоретичними додатковими потребами в гарячих і холодних енергоресурсах. У якості основних теплообмінних апаратів в блоках теплообміну установок широко використовують пластинчасті теплообмінники. Величина ΔT істотно впливає на площу теплообмінної поверхні.

За результатами проведеного пінч-аналізу:

- виконується проектування теплообмінної мережі, розміщення теплообмінників, розробляються заходи по оптимізації теплової мережі;
- проводиться аналіз роботи систем з комбінованим виробленням теплоти і електричної енергії;
- за необхідності змінюються параметри технологічного процесу (зокрема, в реакторах, ректифікаційних колонах, випарниках, сушарках тощо) з метою збільшення енергозбереження.

Результатом застосування пінч-методу є істотне скорочення витрат за рахунок мінімізації споживання зовнішніх енергоносіїв, як на процеси, що підводять енергію, так і процеси, що її відводять. Мінімізація використання зовнішніх енергоносіїв здійснюється шляхом досягнення максимально можливого відсотка рекуперації теплоти в рамках проаналізованої енерготехнологічної системи. При цьому дана методика дозволяє мінімізувати площу теплообмінної поверхні і кількість теплообмінних апаратів, мінімізувати кількість стічних вод та викиди вуглекислого газу.

7.3. Теплові насоси

Теплові насоси - це пристрої, які призначені для відбору теплової енергії від джерела з низькою температурою, з її послідуючою передачею теплоносію з більш високою температурою. Ці пристрої, на відміну від електронагрівачів не виробляють теплову енергію, а використовують електричну енергію для того щоб «перекачувати» теплову енергію від одного тіла до іншого.

Всі тіла з температурою вище абсолютного нуля мають певний запас потенційної теплової енергії, який прямо пропорційний масі, а також питомої теплоємності тіла. Подібно до електричного насоса, що за рахунок витрат електричної енергії перекачує воду з рівня джерела на споживчий рівень, тепловий насос відбирає низькопотенційне тепло повітря, води або ґрунту, охолоджує це середовище та переносить відібрану теплову енергію до споживачів. Теплові насоси передають теплову енергію рідині, що знаходиться у системах опалення або гарячого водопостачання.

Кількість тепла, що виділяється при охолодженні тіла, визначається за формулою: $q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1)$,

де q - отримане тепло,

c – теплоємність матеріала тіла,

m – маса тіла,

t_2 - t_1 - різниця температур тіла до і після його охолодження.

Аналіз даної залежності дозволяє зробити висновок, що охолоджуючи 1 кг теплоносія від 100 ^oC до 0^oC, можна отримати стільки ж тепла, скільки дає охолодження 100 кг від 1^oC до 0^oC. Впродовж літнього періоду шар земної поверхні накопичує достатню кількість тепла, для того щоб ґрунтовий тепловий насос зміг обігрівати приміщення протягом усього зимового періоду. На глибині близько 20 м температура грунту протягом року у помівних широтах знаходитися на рівні до +12 °С.

Тепловий насос являє собою замкнутий контур, заповнений холодоагентом. Холодоагент це особлива рідина, яка здатна закипати і випаровуватися в умовах низьких температур (фреон, аміак, пропан тощо). В основу принципу дії теплових насосів покладено наступні фізичні явища:

- поглинання теплової енергії при випаровуванні холодильного агенту та виділення теплової енергії при його конденсації;
- зміна температури випаровування і конденсації холодильного агенту при зміні тиску.

У 1928 році було відкрито перший холодильний агент - дихлордифторметан, що відноситься до групи хлорфторвуглеців і має оптимальні для холодоагентів властивості: низька температура кипіння, неотруйний і негорючий, не має запаху. У 1930 році компанією «Кінетік Кеніканз Інк» (США) були випущені перші партії діхлордіфторметана під торговельною маркою ФРЕОН 12. У 1986 році сумарне виробництво фреонів становило 1,123 млн т. В цей період було виявлено шкідливий вплив фреону на навколишнє середовище, а саме вплив на розвиток парникового ефекту та сприяння руйнуванню озонового шару у верхніх шарах атмосфери. В подальшому було розроблено ряд холодильних агентів з групи гідрофторвуглеців, для яких не характерна озоноруйнуюча дія.

Роботу теплового насоса можна порівняти з роботою побутового холодильника. Він забирає теплову енергію зсередини холодильної камери від продуктів і повітря та видаляє її через теплообмінник, який, як правило, знаходиться на задній стінці холодильника, тобто обігріває приміщення, в якому знаходиться. При використанні теплового насосу, проводячи аналогію з холодильником, морозильна камера вкопується в землю або занурюється у свердловину з грунтовими водами поруч з будівлею.

Тепловий насос має чотири основні складові вузли: випарник, конденсатор, компресор і дросельний клапан. Холодильний агент, який в умовах підвищеного тиску знаходиться у рідкому стані, проходить через дросельний клапан і при попаданні у випарник за рахунок різкого зниження тиску холодоагент скипає і переходить з рідкого стану в газоподібний. Процес скипання і випаровування супроводжується поглинанням теплової енергії, різким зниженням температури холодильного агенту та інтенсивним відбором тепла з навколишнього середовища. Ця теплова енергія передається холодильному агенту, який циркулює по внутрішньому контуру. Наприклад, якщо температура зовнішнього повітря складає +5°С, а температура холодильного агенту у системі випарника -10°С, то повітря буде віддавати частину своєї енергії холодильному агенту.

З випарника газоподібний холодильний агент потрапляє в компресор, де відбувається його стискання, що супроводжується підвищенням його температури до 85-125°С. Від компресора розігрітий холодильний агент у газоподібному стані подається у конденсатор, де він віддає своє тепло в систему опалення, охолоджується і при температурі +55 ˚С в процесі циркуляції переходить у рідкий стан. Зконденсований рідкий холодильний агент знову циклічно надходить до розширювального клапану, де його тиск знижується до початкового низького значення. Після цього холодоагент повертається у випарник.

Процес стиснення холодильного агенту потребує витрат електричної енергії для приведення в дію компресора, кількість якої залежить від потужності нагрівального приладу, а також від необхідної температури опалення.

У циклі роботи теплового насоса виділяють наступні етапи:

1. Закипання фреону у випарнику.
2. Стиснення холодоагенту компресором, конденсація холодильного агенту.
3. Передача тепла від зконденсованого холодильного агента до опалювального контуру та конденсація холодильного агенту.
4. Проходження рідкого холодильного агенту через дросельний клапан у випарник.

Головною особливістю теплових насосів є універсальність по відношенню до виду первинної енергії. Для виробництва тепла тепловий насос повинен мати свій теплообмінник, що розташований у зовнішньому середовищі, наприклад, у свердловині, у резервуарі для води поблизу (наприклад, озері) або у навколишньому повітрі.

Тепловий насос використовує альтернативні джерела енергії, які дозволяють отримувати недороге і постійно доступне тепло без шкоди для навколишнього середовища. Теплові насоси можуть отримувати теплову енергію від:

- підземних ґрунтових вод на глибині до 15 - 20 м;
- майданчики ґрунту з глибиною укладання горизонтального колектора до 1,5 м;
- глибоких свердловин глибиною до 40 - 50 м;
- озера, річки, штучні водойми;
- навколишнього повітря;
- ґрунтові та підземні води (колодязі, свердловини);
-технологічні джерела низькопотенційного тепла (витяжне вентиляційне повітря, каналізаційні та стічні води, теплова енергія технологічних та побутових процесів).

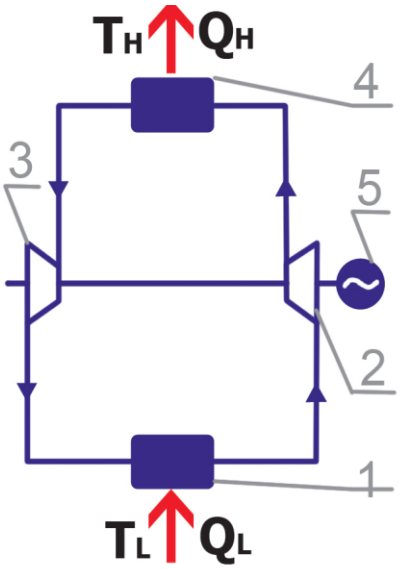


Рис. 127. Принципова схема парокомпресійного теплового насоса: 1 – випарник; 2 – компресор; 3 – конденсатор; 4 - дросельний клапан; 5 – електродвигун.

Пристрої теплових насосів різних типів схожі між собою, але мають і деякі відмінності.

В опалювальній системі «вода-вода» і «грунт–вода» тепловий насос включає систему трьох контурів:

-зовнішній контур, який через теплоносій передає тепло від грунту чи грунтових вод до випарника;

-контур теплового насоса;

- контур системи опалення;
-контур гарячого водопостачання.

Перший (зовнішній) контур – це інтегрований у грунтове або водне середовище трубопровід з теплоносієм. Теплова енергія за допомогою теплообмінника (колектора) передається через циркуляційну схему теплового насоса. Теплоносій, що отримав теплову енергію з грунту через замкнутий колектор, циркулює і поступає в теплообмінник випарника теплового насоса. Роль теплоносія в даному випадку виконує незамерзаюча, екологічно безпечна та нешкідлива рідина (суміш гліколю або припіленгліколю з водою).

Другий контур є системою теплового насосу з холодильним агентом, в яку інтегровані теплообмінні елементи - випарники, конденсатори, регулятори тиску – дросельні клапани і компресори. Третій (внутрішній) контур є системою опалення та постачання гарячої води. Тепловіддаючим вузлом у тепловому насосі виступає конденсатор, у якому відбувається конденсація холодильного агенту і відбір тепла вода системою теплопостачання.

У повітряного теплового насоса у зовнішньому теплообмінному блоці використовуються вентилятори, які продувають зовнішнє повітря через систему випарника. Принцип теплового насоса «Повітря-повітря» використовують дворежимні побутові кондиціонери, що працюють як на охолодження так і на обігрів приміщень. Такі теплові насоси в режимі опалення відбирають тепло з атмосфери або відпрацьованого вентиляційного повітря, і передають його на нагрів повітря у приміщенні. Наприклад, забираючи теплову енергію від повітря вентиляційних викидів з температурою 20 ° С (відповідно охолоджуючи їх), тепловий насос, витративши 1 кВт електроенергії, може отримати і передати в систему опалення до 4 кВт теплової енергії з температурою 80 - 90°С. Враховуючи, що температура повітря в опалювальному періоді значно змінюється, застосування даного джерела не завжди є доцільним для якісного та надійного теплопостачання споживача. В той же час, у ряді будівель вентиляційні викиди мають підвищену температуру. Залежно від конкретних умов відпрацьовану теплову енергію можна утилізувати тепловими насосами для теплопостачання цехів, майстерень, складів промислового підприємства тощо.

В теплових насосах «грунт-вода» по розташованим під шаром грунту трубах циркулює теплоносій, який через зовнішній

теплообмінник відбирає тепло від грунту і передає його до випарника теплового насосу в системі опалювання будинку.

Ґрунтовий колектор являє собою систему довгих стальних або пластикових труб, які горизонтально розміщуються під шаром ґрунту. Труби укладаються в спеціально підготовлених траншеях на глибині 1,5 - 3 м, нижче рівня промерзання грунту. Окремі циркуляційні теплообмінники укладаються на відстані від 0,5 до 0,8 м один від одного. Для насоса потужністю 10 кВт необхідна площа відбору тепла складає приблизно 400 м^2. При цьому на кожен 1 м^2 площі відбору повинно бути укладено 1,4 - 2 погонних метрів труб. Тому для облаштування теплового насосу заданої теплової потужності необхідне укладання труб довжиною 400 × 1,4 = 560 м.

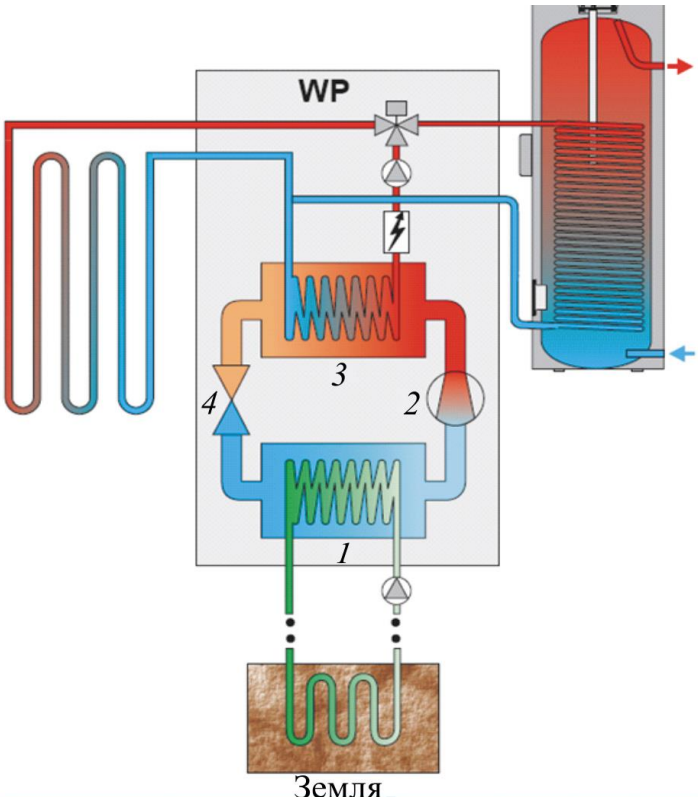


Рис.128. Схема роботи грунтового теплового насосу:
1 – випарник; 2 – компресор; 3 – конденсатор; 4 – дросельний клапан

Головним недоліком такої схеми є необхідність відведення великих площ під грунтовий колектор – 25 - 50 м^2 на 1 кВт потужності геотермального теплового насоса. Для забезпечення теплом приватного будинка з опалювальною площею близько 200 м^2 необхідно укладати грунтовий колектор на ділянці з площею 4-6 соток.

Рис.129. Укладання грунтового колектора

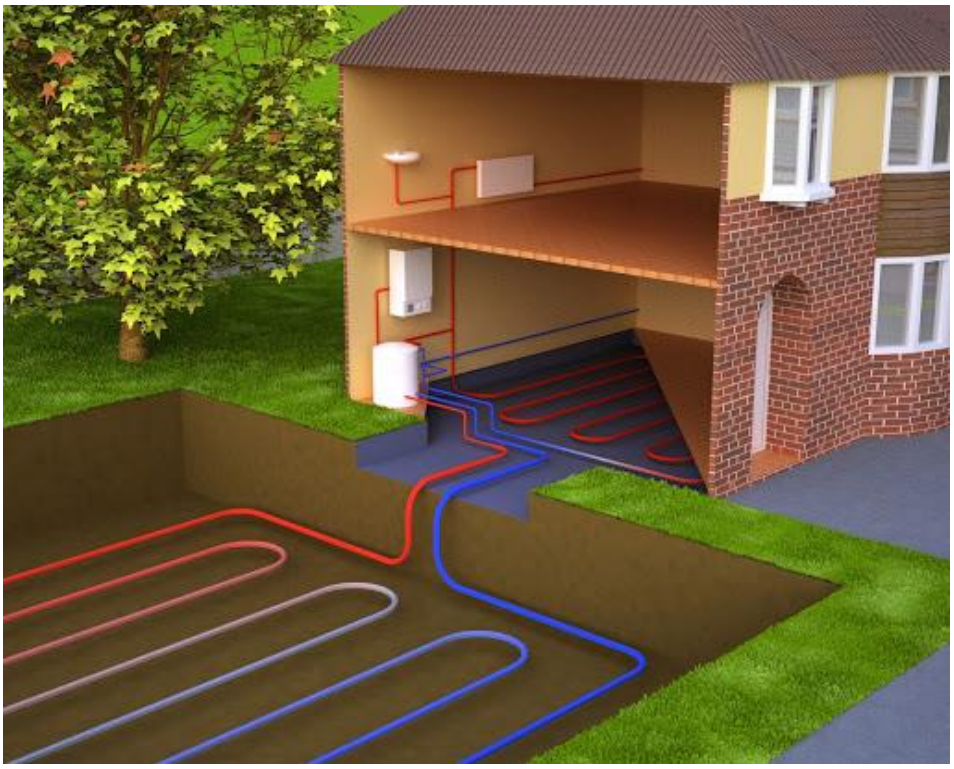


Рис.130. Схема розміщення елементів теплового насосу «грунт-вода»

Охолодження шару землі над грунтовим колектором відбувається досить швидко, що призводить до відчуження землі для рослинництва і порушення екологічної рівноваги. Місце над колектором не підлягає забудові, асфальтуванню або бетонуванню. Зазвичай грунт повністю

відтаює до середини березня, а у випадку розміщення горизонтального грунтового колектора його відтаювання зміщується до середини травня, внаслідок чого, після відтаювання вся ця площа буде мати болотистий вигляд.

Найбільш надійним способом стабільної роботи теплових насосів є система «вода – вода». В теплових насосах «вода-вода» теплова енергія вилучається з підземних вод через зовнішній теплообмінник і передається до випарника теплового насоса. Для розміщення колекторних теплообмінників типу «труба в трубі» проводять буріння свердловин глибиною 100-150 м. На такій глибині завжди витримується незмінна температура води – близько 10°С, тому такі теплобмінники мають вищу потужність порівняго з грунтовими колекторами. Крім того, функціональні можливості та продуктивність теплових насосів «вода – вода» не залежать від атмосферних умов та сезону експлуатації. Тепловий насос грунт-вода з використанням вертикальних колекторів потребує невеликої ділянки землі, але потрібні дорогі роботи по бурінню свердловин.

В проведенні технологічних процесів на промислових підприємствах утворюється велика кількість теплих стоків. Теплова енергія таких стічних вод здатна задовольнити певну частину виробничих потреб і скоротити витрату палива при використанні теплових насосів «вода-вода».

Альтернативним джерелом теплової енергії є теплова енергія шахтних вод. В середньому шахта щорічно відкачує на поверхню і скидає в природні водойми від 400 до 7000 тис. м^3 шахтної води з температурою від 10 до 16°С. Відбір теплової енергії від відкачуваних шахтних вод при використанні теплового насоса дозволяє забезпечити потреби гарячого водопостачання адміністративних будівель до 100 м^3 гарячої води на добу з температурою 45°С. Вартість вироблення 1 Гкал тепла від теплового насоса буде в 3 рази нижчою у порівнянні з шахтною котельнею. Використання теплових насосів дозволяє в літню пору року повністю відключити шахтну котельню, тим самим виключити шкідливі викиди в атмосферу.

Головною перевагою теплових насосів є значно вища ефективність з паливними котлами. Тепловий насос є єдиним технічним приладом, який виробляє в 3 - 7 разів більше теплової енергії від спожитої електричної енергії, яка потрібна для приведення у дію компресора для стискання холодильного агента. Тепловий насос при роботі не виділяє в атмосферу парникові гази. Основним критерієм оцінки

теплових насосів є коефіцієнт перетворення (COP), який характеризує відношення утвореної теплової енергії до спожитої електричної енергії, виражене у Вт/Вт. Для водяного теплового насоса величина даного коефіцієнта складає близько 5. Це означає, що при споживанні 1 кВт/год електричної енергії установка виробляє 5 кВт/год теплової енергії. Для грунтових теплових насосів ця величина знаходиться у діапазоні від 4 до 4,5.

При роботі побутових кондиціонерів на обігрів існують температурні рамки, що обмежують їх застосовування у якості повноцінного опалювального приладу. Так, при значному зниженні зовнішньої температури теплообмінник з холодоагентом покривається інеєм, знижуючи ефективність роботи теплового насосу.

Коефіцієнт перетворення повітряних теплових насосів знижується зі зниженням температури оточуючого середовища, і якщо при температурі повітря 0°С ефективність системи «повітря-повітря» приблизно така ж, як у ґрунтових систем (близько 4), то при - 20 ° С значення цього коефіцієнта не перевищує 1,5. В цьому режимі тепловий насос на кожен витрачений кіловат електроенергії видає 1,5 кВт теплової енергії. Повітряні теплові насоси в режимі опалення не можуть працювати при температурі зовнішнього середовища нижче -25°С. В такому випадку для опалення приміщень буде економічно більш ефективним буде встановлення електричного нагрівального котла.

Системи опалення на основі теплових насосів «повітря-повітря» широко використовуються переважно в країнах, де взимку не буває значних морозів - південних штатах США, Греції, Японії тощо. У США понад 30% житлових будинків обладнані суміщеними системами опалення та кондиціонування на базі теплових насосів. У вітчизняних умовах теплові насоси системи «повітря-повітря» ефективно використовувати для опалення у міжсезонні періоди.

Теплові насоси є вибухово- і пожежобезпечними опалювальними приладами. Теплові насоси не вимагають прокладання паливних (газових) магістралей та облаштування систем димовидалення. Робота теплового насоса не веде до утворення вуглекислого газу і не приводять до поглиблення процесів глобального потепління. Деталі теплових насосів не нагріваються до високих температур, здатних стати причиною пожежі. Зупинка теплового насоса не веде до його поломки, він легко відновлює роботу після тривалого простою. Теплові

насоси мають тривалий термін служби без капітального ремонту (20 - 30 років).

Рис.131. Ефективність роботи теплового насосу «повітря – повітря»

За наявними даними у 2015 році у світі працювало понад 30 млн теплових насів різної потужності - від декількох кіловат до сотень мегават. В Японії щорічно продається до 3 млн теплових насосів.

7.4.Когенерація та тригенерація енергії

Зношеність тепло- і електромереж, а також низька якість електроенергії є головними чинниками, які змушують комунальне господарство на окремих територіях переходити на альтернативні засоби постачання теплом і електроенергією. Одним з таких джерел є когенераційні установки малої потужності, які здатні забезпечувати тепловою та електричною енергією окремі будівлі або підприємства. Слово "когенерація" утворена від слів - КОмбінована та ГЕНЕРАЦІЯ. Когенерація являє собою процес спільного вироблення електричної і теплової енергії з єдиного первинного джерела енергії. Поєднання виробництва теплової та електричної енергії застосовується енергетиками з метою збільшення ефективності використання палива та значного збільшення коефіцієнта корисної дії енергогенеруючих установок.

Закон України «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу» № 2509-IV від 5 квітня 2005 року дає визначення:

когенераційна установка - комплекс обладнання, що працює за способом комбінованого виробництва електричної і теплової енергії або перетворює скидний енергетичний потенціал технологічних процесів в електричну та теплову енергію. Під скидним енергетичним потенціалом технологічних процесів розуміють вторинні енергетичні ресурси, які можуть бути використані для виробництва електричної та теплової енергії в когенераційних установках.

У когенераційних установках для вироблення теплової енергії використовуються тепло від згорання палива та вихлопних газів теплових двигунів, які приводять в дію генератор електричної енергії При використанні ефекту когенерації значно зростає загальний коефіцієнт використання палива. При цьому для отримання теплової енергії не витрачається додаткова кількість палива - даний продукт є попутним при технологічному виробленні електричної енергії. При роботі когенераційної установки вихлопні гази перед викидом в атмосферу проходять через теплообмінник, де відбувається передача частини теплової енергії рідинному теплоносію. Скидна теплота теплового двигуна утилізується за допомогою котла - утилізатора, який служить підігрівачем води в системі опалення та гарячого водопостачання.

До складу когенераційної установки входить:

- силовий агрегат (газопоршневий двигун, газова турбіна, дизельний двигун);
- електричний генератор, який приводиться у дію силовим агрегатом;
- система утилізації тепла;
- система контролю та управління.

Когенераційні системи, як правило, класифікуються за типом первинного двигуна, типом електричного генератора, а також за типом палива, що споживається. Сучасні установки комбінованого вироблення теплової та електричної енергії базуються на двигунах невеликої (0,5–2 МВт) та середньої (до 30–40 МВт) потужності.

Силовий агрегат когенераційної установки обертає ротор електричного генератора, який перетворює механічну енергію вихідного валу двигуна в електричну енергію. Принцип роботи утилізатора теплової енергії заснований на використанні теплової енергії відпрацьованих гарячих газів від силового агрегата електрогенератора. Теплова енергія, що виділяється при роботі двигуна, відводиться через систему утилізації тепла, яка включає теплообмінники охолоджувальної рідини і відпрацьованих газів (водо-

водяний теплообмінник, газо-водотрубний котел-утилізатор тепла вихлопних газів тощо). Роль первинного двигуна в когенераційних установках може виконувати: поршневий двигу, парова турбіна, газова турбіна.

В умовах широкого переходу в 90-і роки минулого століття на використання природного газу в електроенергетиці, газові турбіни зайняли суттєвий сегмент ринку когенераційних установок. Принцип роботи газових турбін полягає в наступному: горючий газ, що нагнітається турбокомпресором в камеру згоряння, змішується з повітрям, утворює паливну суміш, і, відповідно, високотемпературний потік продуктів згорання у формі факела. Утворені продукти горіння, тиснуть на лопатки турбіни, створюють крутний момент, що забезпечує обертання валу турбіни та ротора електричного генератора. Газотурбінні установки здатні забезпечити широкий діапазон електричної потужності - від десяти до декількох десятків мегават. Температура газів, що виходять з турбіни, знаходиться в межах 450°С - 550°С, ефективно утилізуються у теплообміннику. Коефіцієнт корисної дії газових турбін не перевищує 35%, онак у складі когенераційної установки, враховуючи утилізації теплової енергії, цей показник може у сумі може складати до 90%.

Відмінною рисою когенераційних установок на базі газових мікротурбін є компактність конструкції, що дає можливість їх розміщення в обмеженому просторі, наприклад, в будівлях реконструйованих котелень. Вся когенераційна система компактно розташовується всередині шумозахистного кожуха, назовні виводяться лише система вихлопу і теплова магістраль. До переваг газотурбінних когенераційних установок також відноситься:

- низька маса та матеріаломісткість когенераційних установок, що дозволяє їх виготовляти у мобільному варіанті;
- швидкий монтаж та терміни введення в експлуатацію порівняно з тепловими електростанціями;
- екологічність роботи когенераційних установок дозволяє їх використовувати їх без обмежень у межах населених пунктів;
- можливість використання у важкодоступних районах, де відсутнє центральне електропостачання.

До недоліків газотурбінних когенераційних установок відносять:

- значний рівень шуму при роботі;
- для обслуговування газотурбінних установок персонал повинен мати високий рівень кваліфікації;

- складність в обслуговуванні та ремонті установок.

Газотурбінні когенераційні установки знаходять переважне використання в нафто- і газовидобувній сферах.

Значне розповсюдження також мають когенераційні системи на базі газопоршневих двигунів. Основою газопоршневих установок є когенераційні агрегати на основі двигунів внутрішнього згоряння, у якості палива для яких використовують горючі гази. Утворена при роботі двигуна механічна енергія передається через колінчастий вал на електричний генератор. Когенераційні газопоршневі установки можуть бути адаптованими до роботи на природному газі, шахтному газі, попутному нафтовому газі, біогазі, звалищному газі, коксовому газі тощо.

При роботі газопоршневої установки в режимі когенерації вироблення електричної енергії є пріоритетною задачею. При виробленні електричної енергії в когенераційній установці паралельно виділяється тепло від відпрацьованих продуктів згорання, а також масла і антифризу, що охолоджують двигун. Циркулююча по замкнутому контуру системи охолодження газопоршневого двигуна охолоджувальна рідина надходить у водо-водяний теплообмінник, де підігріває мережеву воду. Підігріта вода передається у газо-водотрубний котел-утилізатор, де здійснюється її догрівання до температури 90-115°С за рахунок охолодження вихлопних газів двигуна, температура яких досягає 450-500°С. Охолоджені до температури 120-130^{0}С вихлопні гази видаляються в атмосферу.

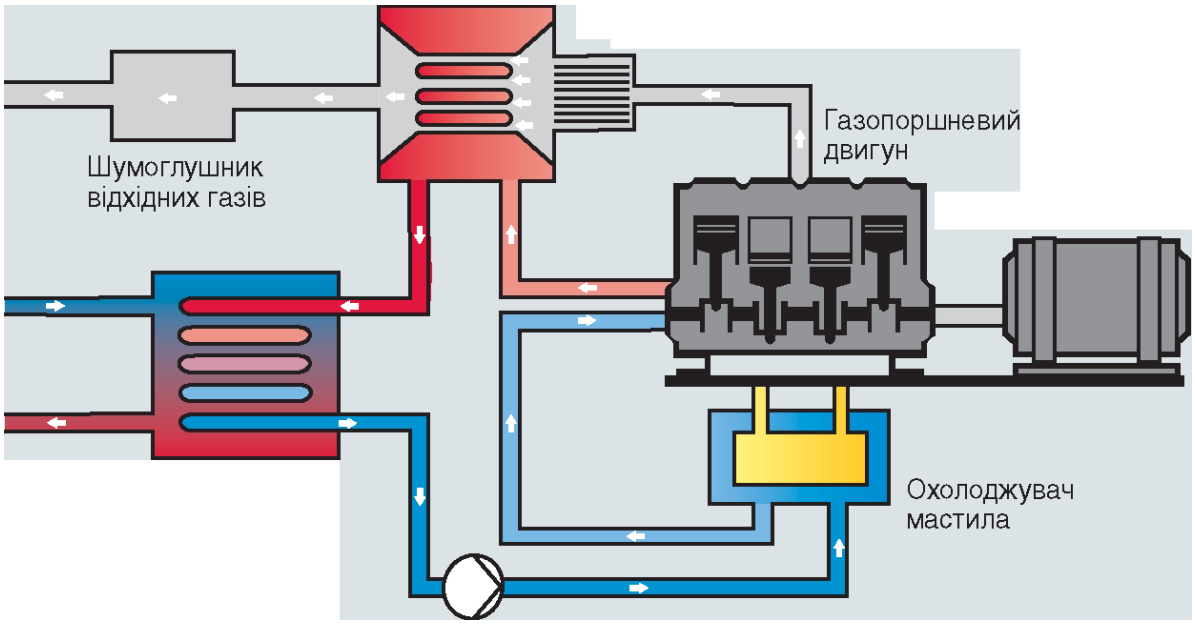


Рис.132. Схема газопоршневої когенераційної установки

Газопоршневі установки потужністю близько 9 МВт завоювали популярність за рахунок відносної простоти обслуговування, легкості управління, більш низької вартості і високого показника повного коефіцієнта корисної дії. (сума електричного і теплового ККД). Електричний коефіцієнт корисної дії газопоршневих установок складає 40%, а тепловий коефіцієнт корисної дії знаходиться на рівні 50%. У сучасних когенераційних установках на базі газопоршневих двигунів сумарний коефіцієнт використання теплоти згорання палива досягає 85 ... 90%.

При використанні когенераційної установки з електричною потужностю 1 МВт споживач отримує від 1 до 2 МВт теплової потужності у вигляді пари та гарячої води для промислових потреб, опалення та водопостачання. Економія палива при виробленні енергії в когенераційних циклі може досягати до 40% в порівнянні з роздільним виробництвом аналогічної кількості електроенергії (конденсаційна електростанція) і теплової енергії (водогрійна котельня). Наприклад, використовуючи тепло вихлопних газів і охолоджуючої рідини газового двигуна потужністю 500 кВт для опалення, можна забезпечити опаленням площі розміром в 4 - 4,5 тис. $м^2$. Споживачі отримують можливість ефективного використанння утилізованого тепла (сушіння, охолодження, кондиціювання тощо).

Комунальні водогрійні котельні успішно реконструюються у когенераційні ТЕЦ на базі газопоршневих двигунів. Електричний струм, який виробляється когенераційною установкою, використовується, в першу чергу, для покриття власних потреб господарчого об'єкта. Якщо немає потреби у виробленій електроенергії, її надлишок передається до зовнішньої електричної мережі, за що власник установки отримує грошові кошти. Термін окупності когенераційних установок на природному газі складає 3 - 4 роки.

Вітчизняне машинобудування має потужності з випуску газотурбінних двигунів («Мотор-Січ», «Сумське машинобудівне НВО»), а також газопоршневих дизельних когенераційних установок («Первомайськдизельмаш»). Когенераційні установки, які випускає підприємство «Первомайськдизельмаш» електричною потужністю 500 та 630 кВт створені на базі газових двигун-генераторів і дизель-генераторів з утилізацією теплоти газо-повітряної суміші після турбокомпресора, охолоджуючої води, мастила та випускних газів двигуна. Повний ресурс роботи когенераційних установок складає 240

тис годин. Період роботи між їх капітальними ремонтами складає близько 80 тис мотогодин.

Рис.133. Загальний вигляд газопоршневої когенераційної установки

Когенераційні установки на базі газопоршневих електрогенераторних установок можуть становлять значний інтерес для житлово-комунальних господарств. При використанні таких установок витрати на будівництво комунікацій зменшуються в 1,5 – 4,0 рази в порівнянні з підведенням тепла і електроенергії від віддалених великих централізованих джерел. Як правило, такі установки монтують на базі існуючих котелень, з яких видалено старе водогрійне обладнання. Теплова енергія постачається жителям ближніх будинків, а електроенергія передається в централізовану мережу. Когенераційна електростанція потребує для розміщення лише виділення приміщення або ділянки землі під установку контейнера і спорудження димової труби.

Часто через віддалення споживача від лінії електропередач виникають складності з підключенням нових промислових споживачів. Когенераційні установки є альтернативою централізованим системам

тепло- та енергопостачання і можуть бути основою для швидкого розвитку нових виробництв і розширення існуючих.

Рис.134. Розміщення когенераційних установои ДвГА-630 виробництва «Первомайськдизельмаш» в пристосованному приміщенні колишнього теплопункту

Зменшення витрат палива при виробленні теплової та електричної енергії дозволяє скоротити викиди парникових газів та шкідливих речовин у навколишнє середовище, що є на сьогоднішній день потужнім стимулом для будівництва когенераційних установок.

Надлишкове тепло від технологічних процесів за потреби доцільно використовувати для виробництва холоду на абсорбційних холодильних машинах. Така технологія носить назву тригенерація.

Тригенерація - це процес спільного вироблення електричної енергії, тепла та холоду. Тригенераційний комплекс – це комбінація когенераційної установки, що виробляє електричну та теплову енергію, з абсорбційною холодильною машиною, що виробляє холод за рахунок споживання виробленої теплової та незначної кількості електричної енергії. Тригенерація дозволяє ефективно утилізувати тепло, яке утворюється при роботі двигуна, взимку для опалення, а в літній період для кондиціювання приміщень та технологічних потреб.

Абсорбційна холодильна машина - промислова холодильна установка, яка призначена для відбору та видалення надлишкового тепла і підтримки заданого температурного режиму при роботі виробничого обладнання, а також технологічних процесів, пов'язаних з підвищеними тепловими навантаженнями. Робота холодильної машини ускладі тригенераційних установок базуються на принципі абсорбції - поглинанні газу рідким поглиначем (абсорбентом). Випаровування – це основний процес у роботі адсорбційної холодильної машини. Робочою речовиною в абсорбційних холодильниках служать розчини двох компонентів з різними температурами кипіння при однаковому тиску. Компонент, який закипає при нижчій температурі, виконує функцію холодильного агента, а другий компонент служить абсорбентом. При випаровуванні рідини відбувається поглинання тепла від оточуючого середовища. При температурах охолодження вище 0°С переважно використовують абсорбційні машини, що працюють на водному розчині броміду літію. У цьому розчині роль холодильного агенту виконує вода. Під дією тепла в генераторі з підігрітого розчину броміду літію виділяються пари води, які переносяться в конденсатор. Водяна пара конденсується, що супроводжується віддаванням теплової енергії воді охолоджуючого контуру. Охолоджена вода з конденсатора поступає у випарник, де в умовах створеного розрідження закипає при температурі + 6 ° С і відбирає тепло в охолоджуваному контурі. Пари води поступають в абсорбер, де відбувається процес їх поглинання розчином броміду літію. Процес абсорбції супроводжується виділенням певної кількості теплоти, яка відводиться у довкілля.

Основною перевагою абсорбційних холодильних установок є можливість реалізації холодильного циклу без значних затрат електричної енергії.Теплову енергію, яка необхідна для забезпечення роботи абсорбційної холодильної машини, одержують від утилізації тепла гарячої води, яке надходить від когенераційної установки. Перевагою адсорбційних установок також є відсутність рухомих компонентів в холодильній камері, що усуває необхідність проведення постійного технічного обслуговування.

На сьогодні тригенерація досить широко використовується на заводах та різних підприємствах (торгових центрах, на холодо- та молочних комбінатах, пивоварних заводах тощо).

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ТА КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Перелічіть шляхи зниження витрат теплової енергії на опалення.
2. Назвіть основні причини високого теплоспоживання будівель? Шляхи зменшення втрати тепла в будівлях.
3.Які заходи застосовуються для забезпечення високого рівня теплозбереження в пасивних будинках.
4. Охарактеризуйте основні види теплоізоляційних будівельних матеріалів.
5.Проаналізуйте варіанти розташування утеплювача з зовнішньої поверхні будівлі.
6.Яким чином забезпечується підвищення теплоізоляційних якостей вікон?
7.Опишіть пронцип збереження тепла вентиляційного повітря за рахунок використання рекуператорів.
8. Поясніть принцип роботи парокомпресійних теплових насосів.
9.Порівняйте техніко-економічні показники застосування теплових насосів в опалювальних системах «вода-вода» і «грунт–вода».
8.Поясніть принцип енергозбереження при використанні когенераційних установок.

8.ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ МАТЕРІАЛЬНИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ В ЛИВАРНИХ ЦЕХАХ

В Україні на одиницю продукції, що випускається, витрачається в 3 рази більше енергетичних ресурсів, ніж в індустріально розвинених країнах світу. Це призводить до того, що продукція вітчизняного машинобудування є обмежено конкурентоздатною на світовому ринку, а її реалізації здійснюється переважно лише на внутрішньому ринку.

Сучасне виробництво складається з багатьох галузей, кожна з яких має свої технологічні особливості. Однією із найбільш ресурсо- та енергозатратних складових у машинобудівній промисловості є ливарне виробництво. Тому у якості прикладу можливих шляхів підвищення рівня ресурсо- та енергоефективності розглянемо це виробництво.

Вирішення задачі енергозбереження та підвищення екологічності у процесах ливарного виробництва можливе лише при комплексному застосуванні технологічних, енергетичних, екологічних, організаційно-технічних і фінансово-економічних заходів, що є єдиним ланцюгом.

До основних технологічних напрямків підвищення ресурсо- та енергоефективності у ливарному виробництві відносяться наступні заходи:

- збагачення дуття киснем при плавленні чавуну у вагранках;
- застосування рекуперативних радіаційних теплообмінників для нагрівання дуття до 500-550 ° С;
- допалювання газів у вагранках з дворядним розташуванням фурм;
- попередній підігрів шихти в завантажувальних баддях за рахунок теплоти газів, що відходять;
- проведення заміни вагранок індукційними печами для плавки чавуну
- перехід від лиття у піщано-глинисті форми на лиття у металеві форми;
- організація ділянок брикетування металевої стружки перед завантаженням у плавильні печі.

До основних напрямків зниження витрат енергоресурсів у ливарних цехах відносяться:

- впровадження організаційно-технічних заходів:
- підвищення ступеня утилізації вторинних енергетичних ресурсів;
- заміна та модернізація застарілих технологій та обладнання;
- вдосконалення діючих технологічних процесів;
- вибір найбільш економічних енергоносіїв.

Організаційно-технічні заходи є маловитратними і при їх правильному здійсненні можуть забезпечити економію теплових та енергетичних ресурсів від 10 до 20 %. До цієї групи заходів відносяться:

- суворе виконання технологічних карт на всі види випускаємої продукції;
- підвищення до нормативного рівня завантаженості технологічного устаткування;
- своєчасна профілактика та ремонт технологічного обладнання;
- підвищення рівня автоматизації технологічних процесів;
- розробка науково-обґрунтованих норм витрати теплових та енергетичних ресурсів на випускаєму продукцію;
- оснащення всіх систем енергопостачання автоматизованим системами обліку витрат теплових та енергетичних ресурсів;
- використання систем моніторингу витрат теплових та енергетичних ресурсів;
- розширене використання вторинних матеріальних та енергетичних ресурсів.

З перерахованих організаційно-технічних заходів значну економію теплових та енергетичних ресурсів дає підвищення завантаження технологічного обладнання, яке для багатьох ливарних цехів знаходиться на рівні 30 – 50 %. Доведення завантаження до проектних величин дозволить заощаджувати до 30 – 50 % теплових та енергетичних ресурсів.

Автоматизація технологічних процесів дозволяє заощаджувати до 10 – 15 % теплових та енергетичних ресурсів. Підвищення ступеня утилізації вторинних енергетичних ресурсів дозволяє заощаджувати до 10 % теплових та енергетичних ресурсів.

Вивчення витрат на енергоносії ливарних цехів показує:

- найбільш значними у всіх цехах є витрати на електроенергію, в залежності від виду плавильних агрегатів вони знаходяться в межах від 50 до 70 %;
- витрати на теплову енергію – 3 – 10 %;
- витрати на природний газ – 3 – 9 %;
- витрати на стиснене повітря – 9 – 19 %;
- витрати на воду та водовідведення – 8 – 20 %.

Основними напрямками використання вторинних енергетичних ресурсів є:

- використання безпосередньо у якості палива;

- використання безпосередньо як джерела тепла або для вироблення тепла в утилізаційних установках (фізичне тепло відхідних газів, тепло золи та шлаків, гарячої води та пари, що відпрацювали в технологічних установках, тепло робочих тіл систем охолодження технологічних установок);
- використання у вигляді електричної чи механічної енергії, одержаної в утилізаційних установках.

Використання вторинних енергетичних ресурсів, крім досягнення значного енергетичного і економічного ефектів, забезпечує збереження навколишнього середовища, у тому числі повітряного басейну, за рахунок зменшення кількості викидів шкідливих речовин.

На плавильних ділянках найбільш енерговитратним обладнанням є є:дугові та індукційні печі, а також вагранки з гарячим і холодним дуттям. На ділянках термообробки найбільшими енергоприймачами є електричні печі опору та полум'яні печі. Розглянемо шляхи економії теплових та енергетичних ресурсів при роботі цього енергоємного обладнання.

8.1. Економія електроенергії при роботі дугових печей

Дугові печі є найбільшим енергоємном обладнанням ливарних цехах. На металургійних підприємствах потужність дугових печей сягає 100 МВ·А, а в ливарних цехах машинобудівних підприємств - 30 МВ·А. Найбільше поширення мають дугові печі змінного струму, які застосовуються для плавки високоякісних марок сталей різних та чавуну.

Дугова піч - електрична плавильна піч, у якій використовується тепловий ефект електричної дуги для виробництва металевих сплавів. Плавку ведуть у робочому просторі, обмеженому зверху куполоподібним склепінням, знизу сферичним подом та з боків стінками. Робочий простір утворюється вогнетривкою футеровкою, зробленою з цегляної кладки та набивання. Вогнетривка кладка пода та стінок розміщується всередині металевого кожуха. Через три розташовані у склупінні отвори в робочий простір вводятся струмопровідні електроди з електродотримачами. Дугова піч містить механізми, що дозволяють відкривати (закривати) склепіння печі, завантажувати шлак та зливати розплавлений метал. Система регулювання електричних режимів включає комплекс засобів, що

забезпечують підтримки необхідних значень струму, напруги, потужності. Основу цієї системи складає регулятор потужності електричної дуги.Регулятор потужності дуги є механізмом переміщення електродів з приводом, керований програмно-адаптивним регулятором електричного режиму.

Результати енергоаудитів роботи дугових печей, свідчать що в Україні питомі витрати електроенергії ($\omega_{пит}$) знаходяться в межах від 600 до 900 кВт·год/т. В той же час ці показники на підприємствах в Японії перебувають на рівні від 320 до 360 кВт·год/т, а країнах Європейського Союзу - від 350 до 420 кВт·год/т. Високі питомі витрати на вітчизняних дугових печах пояснюються значними термінами їх експлуатації (20 - 30 років) і, відповідно, зношеністю, малими потужностями пічних трансформаторів, застарілими технологіями плавки, тощо.

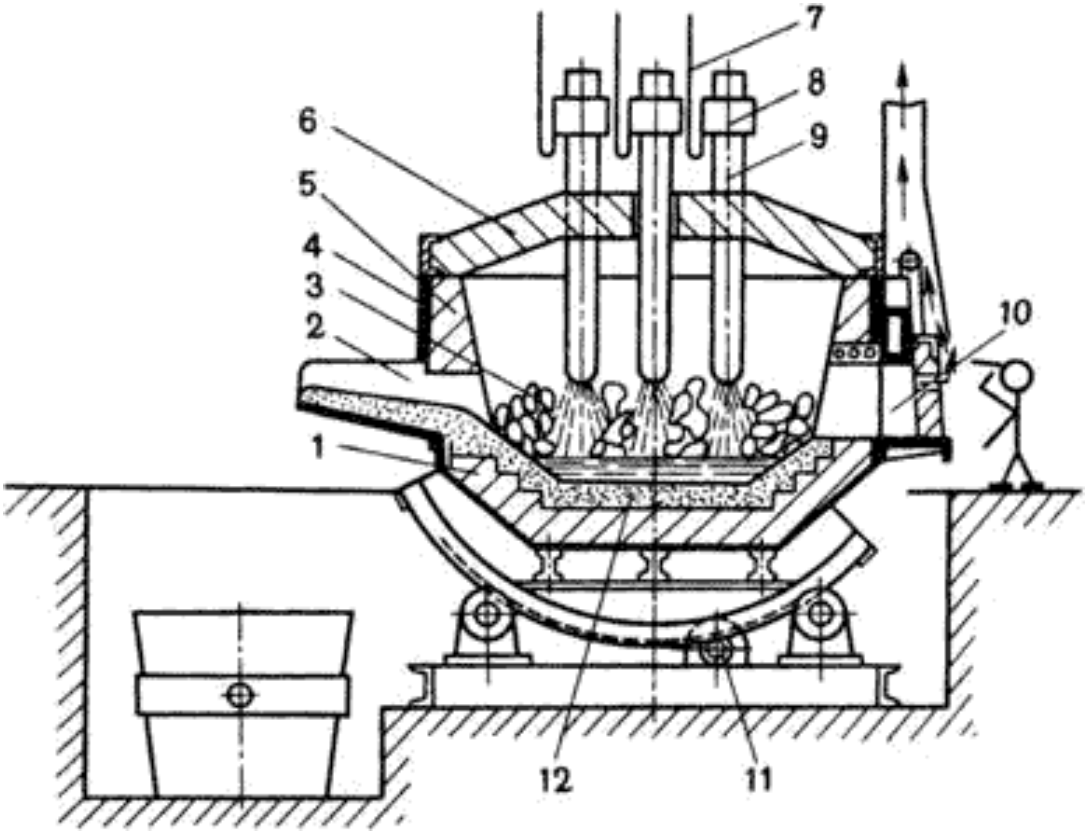


Рис.135.Електродугова сталеплавильна піч:1- под, який футеровано вогнетривкою цеглою; 2 - жолоб для зливання рідкого металу; 3 – електрична дуга; 4 – металевий кожух печі; 5 - стінка печі; 6 – склепіння з отворами для графітизованих електродів; 7 – струмопровід; 8 – електродотримач; 9 – графітизований електрод; 10 - завантажувальне вікно; 11 – механізм нахилу печі для зливання рідкого металу і шлаку; 12 – набивання з вогнетривкої суміші

Аналіз питань економії електроенергію при роботі дугових печей найбільш доцільно проводити на підставі їх енергетичних балансів. При роботі дугових печей з паливно-кисневими пальниками, але без утилізації тепла газів, які відходять, та охолоджуючої води енергетичний баланс для повного циклу плавки має вигляд:

$$W_{ес} + W_{ш} + W_{х} + W_{пкп} = W_{п} + \Delta W_{ел} + \Delta W_{вт} \pm W_{еф}, \qquad (1)$$

де $W_{ес}$ - електроенергія, яка споживається дуговою піччю з енергосистеми;

$W_{ш}$ - енергія, яка вноситься в піч з шихтою та продувними газами;

$W_{х}$ - хімічна енергія екзо- та ендотермічних реакцій окислення, відновлення та шлакоутворення;

$W_{ПКП}$ - енергія, яка вноситься в метал паливно-кисневими пальниками;

$W_{П}$ – енергія зливаємого металу і шлаку (корисна витрата електричної енергії);

$\Delta W_{ел}$ – втрати електричної енергії в дуговій печі;

$\Delta W_{вт}$ – втрати теплової енергії в дуговій печі;

$W_{ел}$ – зміна ентальпії (нагріву) футеровки (плюс при нагріванні, мінус при охолодженні).

У лівій частині виразу (1) найбільшою є величина $W_{ес}$, яка в залежності від особливостей технологічного процесу може змінюватися в широких межах. В процесах переплаву твердої, попередньо не підігрітої шихти, вона може наближуватися до 100 %. В процесах з використанням попередньо підігрітої металевої шихти, а також при використанні паливно-кисневих пальників і вдування великої кількості кисню, $W_{ес}$ може знижуватись до 60 % від загального притоку тепла за цикл.

Величина $W_{ш}$ практично повністю визначається ентальпією шихтових матеріалів, які завантажуються в піч. При попередньому підігріві шихти до температури 450 – 550 °С значення $W_{ш}$ становить 10 – 12%. Для дугових печей, що працюють без застосування підігріву шихти, величиною $W_{ш}$ можна знехтувати. Для визначення $W_{ш}$ проводиться попереднє складання матеріального балансу, за результатами якого конкретизують склад та кількість вихідних матеріалів та продуктів плавки. У сучасних дугових печей, які працюють із застосуванням кисню та паливно-кисневих пальників, $W_{ш}$ може досягати 30 – 35 %, що буде визначати енергетичну ефективність великих дугових печей для яких є характерним зростання частки $W_{ш}$ у загальному приході тепла.

Прихід тепла $W_{пкп}$ залежить від потужності та тривалості роботи паливно-кисневих пальників і може досягати значень, які можна порівняти з $W_{ес}$.

Зміна ентальпії футерування $W_{еф}$ відіграє роль для печей у період виходу з тривалих простїв після ремонтів, вихідних днів тощо). Для дугових печей, які працюють безперервно, величиною $W_{еф}$ можна знехтувати.

Корисне тепло $W_п$ визначається кінцевою температурою металу на випуску з печі та питомою кількістю шлаку, який утворюється при виплавлення 1 т рідкого металу. Залежно від цих факторів $W_п$ знаходиться в межах 400 – 500 кВт·год/т і становить 55 – 65 % від загальної витрати енергії.

Електричні втрати $\Delta W_{ел}$ залежать від конструкції вторинного струмопроводу дугової печі, параметрів електричного режиму та стабільності горіння електричних дуг. Значення цих втрат становлять 6 – 13 % $W_{еф}$.

Теплові втрати на сучасних дугових печей $\Delta W_{вт}$ досягають 30 – 35 %. Вони переважно складаються з:

- втрат через футеровку $\Delta W_ф$;
- втрат тепла з охолоджувальною водою $\Delta W_в$, з відхідними газами $\Delta W_г$;
- втрат тепла випромінюванням і конвекцією $\Delta W_{вип}$, відкритим робочим простором (при відведеному склепінні) і через відкрите вікно.

Одним з ефективних заходів, що забезпечують зниження $\omega_{пит}$ дугових печей, є скорочення тривалості циклу плавки $t_{цп}$ та часу їх знаходження під струмом $t_{ст}$. Час циклу плавки в дуговій печі визначається за виразом:

$$t_{цп} = t_р + t_{ок} + t_{рф} + \sum t_{ов} + t_{омп} \qquad (2)$$

де $t_р$ – тривалість розплавлення металу;

$t_{ок}$ - тривалість окислення металу;

$t_{рф}$ - тривалість рафінування та перегріву металу до температури випуску;

$t_{ов}$ - тривалості внутрішньоплавильних пауз (заміна електродів, поворот ванни, дозавантаження шихти тощо);

$t_{омп}$ - тривалість міжплавильної паузи.

Міжплавильна пауза складається з трьох операцій: випуску рідкого металу, заправки печі та завантаження шихти.

Час перебування печі під струмом визначається за виразом:

$$t_c = t_р + t_{ок} + t_{рф} \quad (3)$$

У виразі (1.2) визначальним є $t_р$, що становить від 0,5 до 0,7 t_c. Під час розплавлення дугова піч споживає від 50 до 70 % електроенергії, тому зниження $t_р$ є найбільш суттєвим фактором енергозбереження.

Розглянемо основні заходи щодо зниження питомих витрат електроенергії у дугових печах у ливарних цехах.

Збільшення завантаження дугових печей. Досвід експлуатації дугових печей свідчить, що при зниженні продуктивності (завантаження) $\omega_{пит}$ різко зростає. Це пояснюється тим, що теплові втрати, які залежать від продуктивності, розподіляються на меншу кількість металу. Відповідно, підвищення завантаження дугових печей до проектних значень дозволяє у 1,5 - 2 рази знизити їх питомі витрати електроенергії.

Підвищення питомої потужності пічних трансформаторів, яка припадає на 1 т ємності дугової печі.

За величиною питомої потужності дугові печі поділяються на три класи:

- надпотужні ($S_{уд}$ > 700 кВ·А/т);
- потужні ($S_{уд}$ = 400 – 700 кВ·А/т);
- середньої потужності ($S_{уд}$ = 200 – 400 кВ·А/т).

Застосування надпотужних печей дозволяє знизити час $t_р$ і відповідно $\omega_{пит}$. Із збільшенням питомої потужності пічних трансформаторів від 400 до 750 кВ·А/т $t_{цп}$ скорочується приблизно вдвічі, а $\omega_{пит}$ – на 11 %. Подальше зростання питомої потужності пічних трансформаторів до 1000 кВ А/т дає значно менший ефект: $t_{цп}$ зменшується на 28 %, а $\omega_{пит}$ на 3 %. Тому для кожної дугової сталеплавильної печі в залежності від умов експлуатації слід вибирати оптимальну потужність пічних трансформаторів, перевищення якої недоцільне як з технологічних, так і економічних міркувань.

Попередній підігрів металошихти, яка завантажується в дугову піч. При підігріві відхідними газами металошихти, яка завантажується у дугову піч, збільшується складова $W_ш$ у рівнянні (1) і відповідно знижуються питомі витрати електроенергії.

Фізичне тепло, яке накопичується шихтою, збільшується пропорційно температурі його підігріву. Однак зі зростанням температури шихти збільшується її окислення і підвищуються витрати енергії, яка витрачається на ендотермічне відновлення заліза. Встановлено, що з урахуванням сумарного ефекту скорочення

енерговитрат найбільш раціональним є нагрівання шихти до 400 – 500 °С. У цьому питомі витрати електроенергії знижуються на 60 - 70 кВт·год/т.

Усі установки попереднього нагрівання металевої шихти поділяються на дві групи. До першої групи належать автономні установки для нагріву металошихти пальниками, відхідними газами від дугових печей. Нагрів проводиться у завантажувальних кошиках. До другої групи відносяться пічні агрегати, поєднані з підігрівачами шихти (шахтні дугові печі). Друга група попереднього нагріву дає більш значне зниження $\omega_{пит}$, але є дороговартістною технологічною операцією, яку доцільно застосовувати лише для дугових печей великої ємності.

Інтенсифікація процесів плавлення паливно-кисневими пальниками. Застосування паливно-кисневих пальників для нагрівання металошихти є одним з найперспективніших способів, які дозволяють значно знизити питомі витрати електроенергії та загальні енергетичні витрати на плавку. Як правило, три паливно-кисневі пальники встановлюють у "холодних зонах" дугових печей.

Оптимальне співвідношення об’ємів кисню і природного газу, які подаються до паливно-кисневих пальників, становить 2:1. Кількість спалюваного природного газу та кисню залежить від об’єму печі та кількості підзавантажень шихти. Стандартні витрати на виплавлення на 1 т сталі становить 6 м^3 природного газу та 12 м^3 кисню.

За рахунок застосування паливно-кисневих пальників питомі витрати електроенергії у дугових печах знижуються на 60 – 100 кВт·год/т. При використанні паливно-кисневих пальників досягається:

- збільшення кількості тепла, яке вводиться в піч;
- підвищення температури у "холодних точках"робочого простору печі;
- економія електроенергії;
- скорочення часу проведення плавки, що зумовлює підвищення продуктивності печі;
- зменшення витрати електродів (на 0,4 кг/т) у зв'язку із зниженням тривалості роботи дугової печі під струмом;
- зменшення витрати вогнетривких матеріалів (на 0,5 кг/т) у зв'язку із скороченням тривалості плавки.

Пальники найефективніше застосовувати на початку плавлення, коли полум'я підігріває відносно холодну завалку шихтових матеріалів. У процесі плавлення коефіцієнт корисної дії пальників знижується,

тому що шихта опускається і полум'я з нею контактує дедалі менше. Тому оптимальною є тривалість використання пальників протягом 50 % часу плавлення (на початку плавлення).

Ефективність роботи пальників залежить від щільності шихти в печі, яка має бути не менше 1 т/м^3, та площі поверхні шихти в діапазоні 9 – 11 м^2/т. Пальники опускаються через водоохолоджувальні отвори в панелях, які розміщені в стінах печі, та дозволяють легко змінювати кут нахилу пальників.

Застосування інжекційних технологій. Одним із варіантів підвищення продуктивності дугових пальників та їх ефективності є впровадження інжекційних технологій, які передбачають подачу в розплавлений метал кисню та вуглецю. Хід хімічних реакцій у сталеплавильній ванні керується шляхом зміни температури, концентрації елементів, кисню, хімічного складу шлаку та співвідношення мас шлаку та металу. Метал необхідного хімічного складу за допомогою кисню можна отримати за більш короткий час. Введення вугільного порошку (вуглецю) підвищує вихід придатного металу за рахунок зниження вмісту FeO у шлаку, сприяє утворенню бульбашок CO, що є основою для формування спіненого шлаку. Об'єм спіненого шлаку збільшується, він закриває зону горіння дуг, робота яких стає більш стабільною, покращується теплопередача на межі шлак - метал, знижується утворення шуму працюючою дуговою піччю.

Застосування інжекційних технологій у дугових печах забезпечує:

- одночасне ефективне та гнучке використання електроенергії та додаткового палива;
- максимально ефективне використання газоподібного кисню при спалюванні природних паливно- енергетичних ресурсів для попереднього підігріву, підрізання, плавлення шихти, допалювання утворюючогося окису вуглецю CO, швидкого окиснення виплавляємого металу;
- формування стійких спінених шлаків за допомогою багатоцільової фурми для ефективної передачі енергії рідкому металу, і його перемішування, що дозволяє знизити витрату електроенергії та прискорити процес окислення;
- високу ефективність добавок вуглецю та природного газу в процесі інжекції;
- забезпечення низького вмісту азоту в сталі та попередження утворення оксидів азоту в умовах горіння електричних дуг в оточенні захистної атмосфери.

Кількість вдуваємого в піч кисню і вуглецю залежить від початкового і заданого кінцевого вмісту вуглецю в сталі. Вдування проводиться маніпулятором через дві витратні фурми. Протягом періоду плавлення кисень вдувається зі зниженою витратою (не більше 1200 $м^3$/год), під час нагрівання або окислення витрата підвищується до 1500 $м^3$/год. Вугільний порошок вдувається в шлак через фурму маніпулятора в той час, коли необхідно формувати спінений шлак. Подача вуглецю знаходиться у межах від 20 до 30 кг/хв, при питомій витраті 5 кг/т.

Застосування позапічної обробки сталі. Одним із методів ефективного скорочення $t_{цп}$ дугових печей є позапічна обробка сталі в агрегатах ківш-піч (рис.136). До методів позапічної обробки у ківшах рідкого металу, який злито з дугової печі, відносяться:

- обробка металу вакуумом;
- продувка інертним газом;
- обробка металу синтетичним шлаком, рідкими і твердими шлаковими сумішами.

Позапічну обробку використовують для легування, розкислення та десульфурація сталі, модифікування неметалевих включень та коригування хімічного складу. Коефіцієнт корисної дії агрегатів ківш-піч сягає 80 %. Їх застосування дозволяє на 25 – 30 % скоротити тривалість циклу плавки, зменшити витрати електроенергії на 20 %.

Зниження теплових втрат. Теплові втрати в дуговій печі визначаються за виразом:

$$\Delta W_{вт} = \Delta W_{г} + \Delta W_{вип} + \Delta W_{ф} + \Delta W_{в}, \qquad (4)$$

де $\Delta W_{г}$ - втрати тепла з відхідними газами;

$\Delta W_{вип}$ – втрати тепла на випромінювання;

$\Delta W_{ф}$ - втрати тепла через футеровку;

$\Delta W_{в}$ – втрати тепла з охолоджуючою водою.

В енергетичному балансі дугової печі (1) втрати тепла з відхідними газами $\Delta W_{г}$ становлять в середньому 15 – 17 %. Крім того, процеси видалення та очищення газів вимагають додаткових енергетичних витрат, що приводить до збільшення витрат електроенергії на виплавку сталі на 10 – 20 %. На рівень втрат теплової енергії з відхідними газами впливають наявність нещільностей в місцях прилягання дверцят робочого вікна до арки, у з'єднанні склепіння з кожухом, у місцях проходу електродів у склепінні. Створення надійних ущільнень у цих місцях дозволяє заощаджувати від 7 до 8,5 кВт·год/т електроенергії на одній дуговій печі.

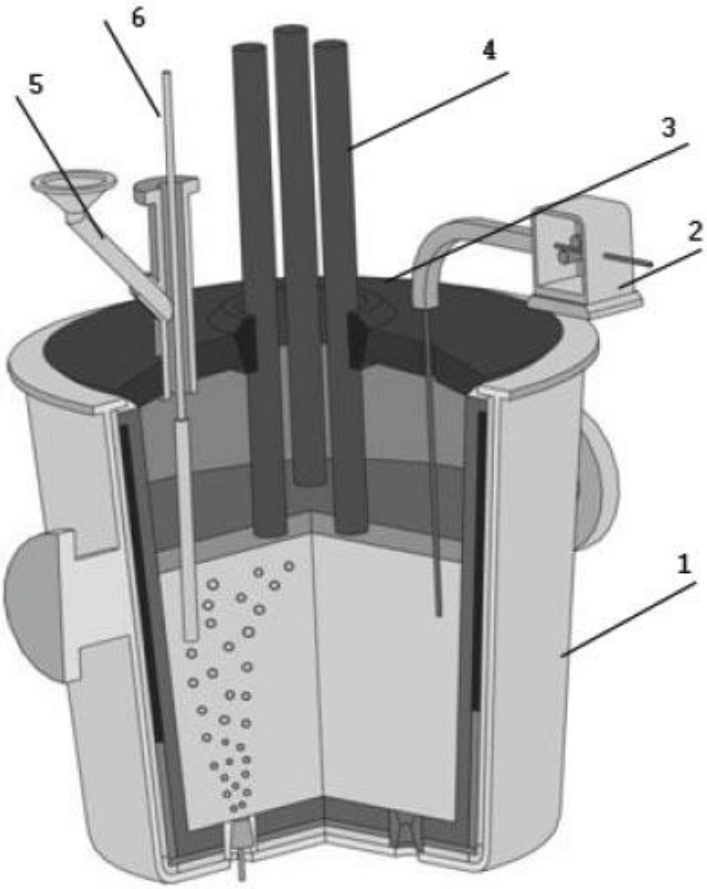


Рис.136. Схема установки ківш-піч: 1 – ківш; 2 – пристрій для подачі корегуючого матеріалу у вигляді дроту; 3 – кришка ковша; 4 – електроди; 5 – пристрій для засипки подріблених матеріалів;6 – пристрій вибору проб

Найбільший енергозберігаючий ефект забезпечує використання відхідних газів для підігріву шихти перед завантаженням у піч або для вироблення пари.

Втрати на випромінювання $\Delta W_{вип}$ можна визначити за виразом, кВт·год:

$$\Delta W_{вип} = C\alpha\left[\left(\frac{\Theta_2}{100}\right)^4 - \left(\frac{\Theta_1}{100}\right)^4\right]\frac{FT_1}{800}, \qquad (5)$$

де C = 4,95 - коефіцієнт випромінювання футеровки, кал/(м·ч);

α - коефіцієнт діафрагмування, який залежить від співвідношення розмірів технологічних вікон та товщини стіни;

Θ_1 - температура оточуючого піч повітря, К;

Θ_2 - температура печі, К;

F – площа відкритого технологічного вікна, м^2;

T_1 – тривалість перебування вікна у відкритому стані, год.

Значний вплив на $\Delta W_{вип}$ створюють простої печі з відкритим робочим простором. Кожна хвилина простою дугової печі з відкритим простором пов'язана з додатковими витратами електроенергії у межах 1,5 - 3,0 кВт·год/т.

Втрати через футеровку $\Delta W_ф$ суттєво впливають на умови теплообміну в робочому просторі і витрати електроенергії. Поверхневу густину результуючого теплового потоку $q_{рез}$, який проходить через внутрішню теплосприймаючу поверхню футеровки дугової печі та витрачається на зміну ентальпії (зміну $W_{ел}$), можна визначити з рівняння теплового балансу шляхом зіставлення поверхневих густин відповідних теплових потоків q_i:

$$q_{рез} = q_{пад} + q_{кон} - q_{від} - q_{влс}, \qquad (6)$$

де $q_{пад}$ - густина падаючого потоку від випромінювання електричних дуг, запилених газів, шматків нагрітої металошихти, рідкої ванни та ділянок футеровки, включаючи їх водоохолоджувані елементи;

$q_{кон}$ - густина теплового потоку конвекції від газів, які омивають футеровку;

$q_{від}$ - густина потоку випромінювання, відбитого від поверхні футеровки, коефіцієнт випромінювання якої менше одиниці;

$q_{влс}$ - густина потоку власного випромінювання футеровки при температурі Θ_2.

У випадку, якщо $(q_{пад} + q_{кон}) > (q_{від} + q_{влс})$, то потік $q_{рез}$ спрямований всередину футеровки, яка акумулює тепло. При цьому Θ_2 і температура внутрішніх шарів футеровки, а отже, і $W_{ел}$ зростають. При $(q_{пад} + q_{кон}) < (q_{від} + q_{влс})$ потік $q_{рез}$ спрямований від футеровки, яка віддає тепло в робочий простір. Температура футерування та $W_{ел}$ при цьому знижуються. Зниження втрат через футеровку можна досягти при використанні для виготовлення елементів футеровки сучасних вогнестійких теплоізолюючих матеріалів, скороченням простоїв печі. Застосування цих заходів підвищує стійкість футеровки печі в 1,5 - 3 рази і зменшує теплові втрати на 10 – 15 %. Фарбуванням зовнішніх поверхонь кожуха печі алюмінієвою фарбою також скорочує втрати тепла шляхом випромінювання від цих поверхонь на 3 – 5 % та знизити питомі витрати електроенергії на 1 - 2 кВт год/т.

Втрати тепла з охолоджувальною водою визначаються за виразом:

$$\Delta W_в = \frac{Q_в(\Theta_2 - \Theta_1)}{860}, \quad (7)$$

де $Q_в$ - кількість води, яка подається для охолодження дугової печі, л; Θ_1, Θ_2 – відповідно температура води на вході / виході з дугової печі.

Ефективним засобом зниження $\Delta W_в$ є застосування теплообмінних установок, в яких гаряча охолоджувальна вода віддає свою теплову енергію холодному теплоносію. Підігріта вода використовується для потреб цеху, і охолоджена вода подається знову у системі замкненого циклу до дугової печі.

Електричні втрати виникають пічних трансформаторах дугових печей та вторинних струмопроводах. Величини втрат залежать від сили струму I_c та конструктивних параметрів вторинного струмопроводу. Ділянками вторинного струмопроводу дугової сталеплавильної печі є трансформатор з виводами, шинний пакет, гнучкі кабелі, рухомі башмаки, струмопровідні електроутримувачі, ділянки графітових електродів від верхнього рівня електроутримувачів до робочої поверхні склепіння та контактні з'єднання між перерахованими елементами.

Розміри ділянок вторинного струмопроводу залежать від взаємного розташування дугової сталеплавильної печі та трансформатора, конструкції механізмів повороту склепіння та нахилу печі, а також від діаметра кожуха печі. Для зменшення втрат електроенергії необхідно проектувати мінімальну довжину ділянок вторинного струмопроводу та раціональну площу поперечного перерізу його елементів при допустимій щільності струму в елементах вторинного струмопроводу:

- мідні шини при площі перерізу пакета на фазу до 5000 мм^2 – 1,5 – 2 А/мм^2, понад 5000 мм^2 – 1 - 1,5 А/мм^2;
- мідні гнучкі кабелі при площі перерізу на фазу до 4000 мм^2 – 1,8 – 2,5 А/мм^2, вище 4000 мм^2 – 1,2 – 1,8 А/мм^2;
- мідні водоохолоджувані труби – 4 - 6 А/мм^2.

Значний вплив на активний та індуктивний опір, а також коефіцієнт корисної дії та коефіцієнт потужності дугової сталеплавильної печі визначає схема короткої мережі. Найпростішою є схема трикутника на ошиновці трансформатора та зірка на електродах (рис. 137, а). Однак ця схема має великий індуктивний опір та несиметричний розподіл навантаження по фазах, тому застосовується лише на печах малої ємності (до 20 т).

Значно вищі показники мають схеми короткої мережі – несиметричний трикутник на електродах (рис. 137, б) та симетричний трикутник на електродах з четвертим рукавом (рис. 136, в). Ці схеми мають такі переваги:

- зменшується середній активний опір пічної установки у 1,2 (у схемі рис. 137, б) та у 1,5 (у схемі рис. 137, в) рази;
- зменшується індуктивний опір у 1,1 та 1,4 рази відповідно;
- зменшується несиметрія струмів за фазами;
- скорочується тривалість плавки на 10 – 15 %;
- зменшується питома витрата електроенергії на 9 – 10 кВт·год/т.

Для зменшення довжини гнучких водоохолоджуємих кабелів доцільно застосовувати таке взаємне розташування дугової печі (ЕП на рис. 137) та трансформатора (ПТ), при якому виводи середньої фази трансформатора або трансформатор в цілому зміщені відносно зливного носка печі, що дає мождивість скоротити довжину кабелів на 0,8 - 1 м.

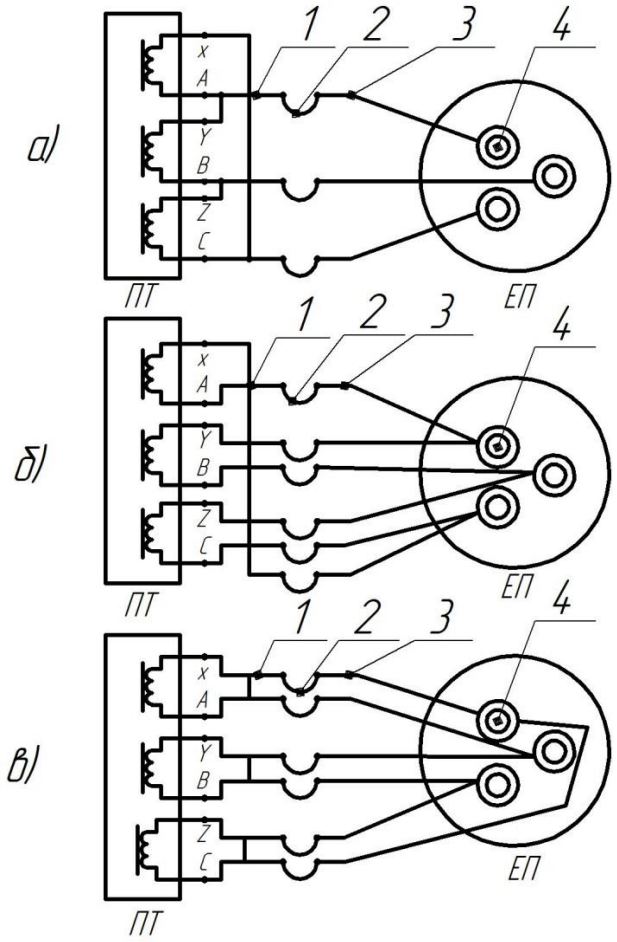


Рис.137. Варіанти схем короткої мережі: 1 - ошиновка трансформатора; 2 - гнучкий кабель; 3 – струмопровід; 4 - електроди

Довжина гнучких кабелів залежить також від відстані між дуговою сталеплавильною піччю і трансформатором, яка визначається:

- конструкцією механізму повороту склепіння та мінімально допустимим радіусом вигину кабелів; від висоти підйому електродів та траєкторії переміщення рухомих башмаків електротримачів при нахилі печі для зливу металу;
- від радіусу опорних сегментів механізму нахилу;
- від зміни укосів ванни, які визначають мінімальний кут нахилу дугової сталеплавильної печі, необхідний для повного зливу металу. Правильний вибір цих взаємопов'язаних конструктивних параметрів дозволяє скоротити довжину гнучких кабелів, їх електричний опір та втрати електричної енергії.

У металоконструкціях, які знаходяться поблизу струмопроводів, внаслідок електромагнітної індукції виникають вихрові струми. Для усунення додаткових електричних втрат через перемагнічування масивних металоконструкцій, струмопроводи віддаляють від металоконструкцій на відстань понад 0,4 - 0,5 м.

Втрати в електричному контакті електроутримува ч-електрод можуть складати 2 – 6 % активної потужності дугової сталеплавильної печі. Теплова енергія, яка виділяється в місці контакту, нагріває електроутримувач, що погіршує стан контактної поверхні і збільшує його електричний опір. Це веде до посиленого температури та може бути причиною виходу електроутримувача з ладу. Електричні втрати в електроутримачах залежать від матеріалу контактних щік, зусилля затиску електрода, форми та стану контактних поверхонь. Для забезпечення мінімальних електричних втрат зусилля затиску електрода в електротримачі має забезпечувати контактний тиск 2 - 3 МПа. Для зменшення контактних опорів проводять ретельне зачищення контактної поверхні, змащування тонким шаром мастила для запобігання окисненню тощо.

Оптимізація технологічних режимів роботи дугових печей. Витрата електроенергії в період плавлення значною мірою залежить від якості підготовки металобрухту, що визначає кількість підвалок, стабільність горіння електричних дуг та їх коефіцієнт корисної дії.

Використання великогабаритного брухту, особливо пакетів довжиною 1500 - 1600 мм, супроводжується нестабільною роботою дуг, зниженням потужності дуг $P_д$, подовженням періоду плавлення і збільшенням $\omega_{пит}$. Великогабаритний брухт, для запобігання поломок електродів, зазвичай розміщують у нижній частині печі,

Зниження $\omega_{пит}$ у період розплавлення шихти досягається за рахунок застосування вдування через водоохолоджувані фурми кисню. Такий метод дозволяє скоротити $\omega_{пит}$ від 3,0 до 5 кВт·год на 1 м^3 кисню.

На підприємствах Японії витрата кисню в дугових печах досягає 35 м^3, в Україні підприємства використовують витрату не більше 20 – 35 м^3 кисню.

При експлуатації дугових печей змінного струму створюються великі рівні електромагнітних випромінювань, які стають причиною збов систем автоматики ливарних цехів. Для усунення цих електромагнітних перешкод використовують дороговартістні електронні пристрої. Для зменшення рівня електромагнітного виромінювання проводиться поступовий перехід до виккористання дугових печей постійного струму (рис. 138).

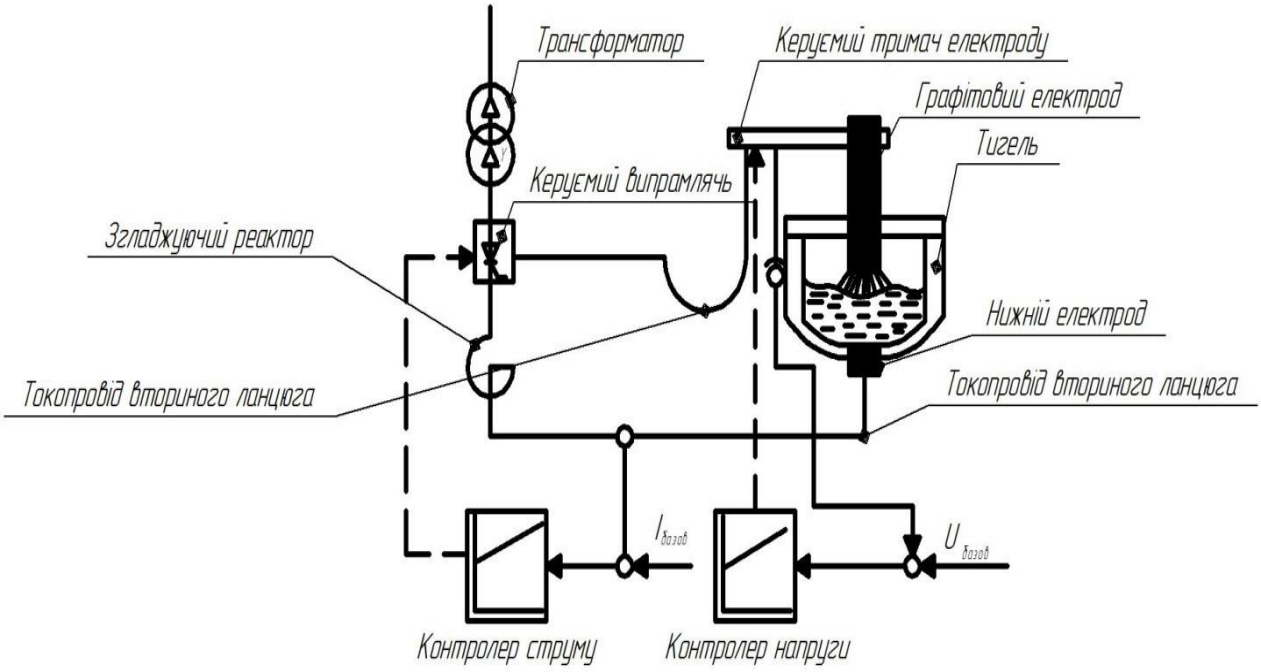


Рис. 138. Схема дугової печі постійного струму

Дугові печі постійного струму, у порівнянні з дуговими печами змінного струму, мають слідуючі переваги:

- суттєво (у 2 - 3 рази) знижуються витрати вугільних електродів, вартість яких у печах змінного струму можна порівняти з вартістю витрат на паливно-енергетичні ресурси;
- тривалість плавки скорочується на 15 - 20 хв, що призводить до зниження теплових втрат та, відповідно, економії електричної енергії;
- обсяг пилогазових викидів скорочується в 8 - 10 разів, що дозволяє спростити конструкцію дороговартістних систем пилогазоочищення;

- підвищується рівномірність зношування футеровки, що дозволяє підвищити її термін служби та знижує витрати на експлуатацію;
- зменшується вигорання металу в 2 - 3 рази, що забезпечує ресурсозбереження вихідних матеріалів;
- збільшується вихід придатного металу на 2 – 4 %, скорочуються витрати феросплавів та розкислювачів на 15 – 20 %;
- знижується рівень шуму при горінні електричних дуг;
- різко знижується рівень електромагнітних перешкод;
- розширюються можливості переробки шихти різного складу, у тому числі металевої стружки;
- з'являється можливість виплавки високолегованих сталей без використання агрегатів позапічної обробки, що значно скорочує вартість комплексу пічних агрегатів.

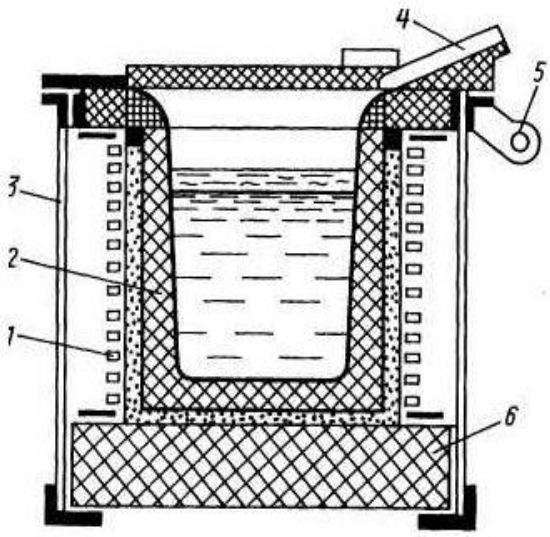
8.2. Економія електроенергії при роботі індукційних печей

Індукційні печі знаходять широке застосування при виплавці сталі та чавуну в ливарних цехах машинобудівних підприємств. Потужність індукційних печей у ливарних цехах досягає 30 МВ·А. В індукційних печах можливе отримання сталі та чавуну різноманітного складу, використовуючи у якості шихти відходів ковальської, прокатної листоштампувальної, токарно-фрезерної обробок. В індукційних печах можна виплавляти чавун із вмістом сталевого скрапу та стружки (найдешевшого шихтового матеріалу) до 100 % завдяки широким можливостям насичення розплавленого металу вуглецем та легування. Головна перевага застосування індукційної плавки полягає в можливості управляти процесом перегріву розплавленого металу у широкому інтервалі по температурі і часу, у спрощенні металургійної обробки розплаву і отриманні сталі та чавуну високої якості.

В індукційній печі метал розплавляють у вогнетривкому тиглі, розташованому усередині індуктора. Через індуктор пропускають струм високої частоти, який індуктує потужні вихрові струми в металі, що знаходиться у тиглі, при цьому метал швидко нагрівається й плавиться. Живиться індуктор від високочастотного генератора змінного струму. За частотою змінного струму, який подається на індуктор, індукційні печі поділяються на: високочастотні (100 - 200 кГц), середньої частоти (500 - 1000 Гц), промислової частоти (50 Гц). Циркуляція розплаву під дією електромагнітних сил в індукційній печі печі призводить до рівномірного температурного розподілу і хорошого

перемішування. У поєднанні з відсутністю забруднюючих речовин, це забезпечує можливість досягнення високої точності хімічного складу металу, який розплавляють індукційним методом.

Індукційна плавильна установка складається з печі з механізмом нахилу й живильного електрообладнання. Індуктор представляє собою спіраль із визначеним числом витків з мідної трубки, усередині якої циркулює охолоджуюча вода. Подача електроенергії та охолоджувальної води на індуктор здійснюється через гнучкі кабелі. Конструкція індукційної печі дозволяє разом з корпусом здійснювати нахил тигля для зливання через носок рідкого металу.



а б

Рис. 139. Індукційна тигельна піч: а) конструкція печі: 1- індуктор; 2 – вогнетривкий тигель; 3 – металевий каркас печі; 4 – носок для зливання рідкого металу; 5 - кронштейн механізму нахилу печі; 6 – подова плита печі; б) нахил індукційної печі для зливу рідкого металу

Корисна витрата електроенергії в індукційній печі визначається за виразом, Дж

$$W_п = \sum_{i=1}^{k} G_i \left[c_{1i} \left(\Theta_{пi} - \Theta_{нi} \right) + q_i + c_{2i} \left(\Theta_{вi} - \Theta_{пi} \right) \right], \quad (8)$$

де G_i - вага компонентів шихти, кг;

$\Theta_{нi}$, $\Theta_{пi}$, $\Theta_{вi}$ - температура компонентів шихти відповідно початкова, плавлення, випуску, °С;

q_i - прихована теплота плавлення компонентів шихти, Дж/кг.

Рівняння (8) свідчить, що на питомі витрати електроенергії індукційних печей визначаються:

– продуктивністю плавлення;

– температурою шихти, яка завантажується в піч;
– температурою футерування тигля;
– масоюзумпфа (рідкого металу, який залишається у печі після плавки);
– тепловими та електричними втратами.

На рис. 140 - 141 наведені залежності $\omega_{пит}$ від продуктивності, початкової температури шихти, величини зумпфу в індукційних тигельних печах для плавки чавуну ємністю 50, 25 і 5 т.

Сучасні промислові Індукційні тигельні печі переважно живляться змінним струмом з частотою 50 Гц, що значно знижує вартість використовуємого електрообладнання. Недоліком тигельних печей, які працюють на частоті 50 Гц, є низька продуктивність, що пов'язано з необхідністю неповного зливу розплавляємого металу. Завантажувана шихта має частково занурюватися у залишки розплаву, створюючи суцільне електропровідне середовище, в якому індуктором наводяться вихрові струми. Необхідність завантаження в рідкий метал (залишок від попередньої плавки, так зване «болото») повязане з тим, що при використанні електричного струму промислової частоти в окремих шматках шихти утворення вихрових струмів є малоефективним. Маса «болота» доходить до 50% від загальної маси металу в печі (ємності печі) і відповідно впливає на тривалість періодів плавки. Кількість металу, який залишається в печі, знаходиться на рівні 30 – 60 %. Крім цього, при роботі на частоті 50 Гц має місце низька питома потужність (близько 300 - 500 кВт/т), тому збільшується час розплавлення металу.

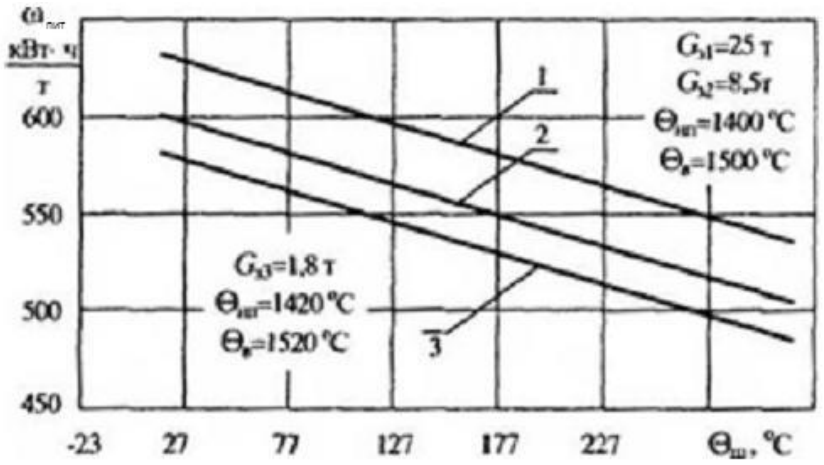


Рис. 140. Залежність питомої витрати електроенергії від величини початкової температури шихти: 1 – піч LFD-50; 2 - піч LFD-25; 3 - піч GSA-5

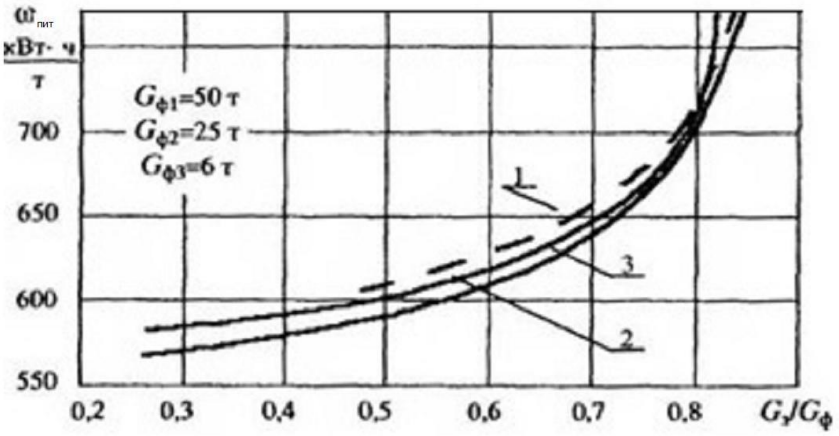


Рис. 141. Залежність питомої витрати електроенергії від величини «болота»: 1 – піч LFD-50; 2 - піч LFD-25; 3 - піч GSA-5

Для усунення таких недоліків вбачається перспективним розширення застосування індукційних печей середньої частоти, які, порівняно з печами промислової частоти 50 Гц, мають наступні переваги:

- можливість збільшення питомої потужності до 1000 кВт/т, що дозволяє скоротити час плавки та підвищити продуктивність в 2 – 3 рази;
- можливість ефективної роботи з повним зливом розплавленого металу, що дозволяє: виключити обов'язкове попереднє сушіння шихти перед завантаженням у піч та пов'язані з цим витрати; зупиняти піч з повним зливом розплаву на час перерв у роботі ливарного цеху (вихідні дні, 2-а та 3-тя зміни, зупинки виробництва через скорочення об’ємів замовлень тощо), тим самим виключити непродуктивні витрати, енергії та матеріалів, спрощувати перехід на виплавлення інших марок металу;
- скорочення питомих витрат електроенергії на 1 т виплавляємого металу завдяки більш високому тепловому та електричному коефіцієнту корисної дії оскільки, тепловий коефіцієнт корисної дії зростає внаслідок скорочення часу плавки, а електричний коефіцієнт корисної дії - через більш високий електричний опір твердої шихти;
- скорочення витрат на футерування, так як довговічність вогнетривких матеріалів при повному зливанні розплавленого металу зростає;
- скорочення часу плавки призводить до зменшення теплових втрат і відповідно до зниження питомих витрат електроенергії, яка при плавленні чавуну складає 500 – 550 кВт·год/т.

Індукційні печі середньої частоти набули широкого поширення як у технологічних процесах плавки, а і витримкирідкого металу перед розливанням. Однак, індукційні печі середньої частоти потребують застосування більш складного і вартістного генераторного обладнання. Перспективним плавильним агрегатом в даний час є двочастотні індукційні печі (плавка на середній частоті, доведення і витримка металу на промисловій частоті). Незважаючи на те, що зростають витрати на 1 т рідкого чавуну, проте забезпечується прискорення плавки на холодній завалці і дрібній шихті.

8.3. Економія електроенергії при роботі електричних печей опору

В електри́чних печах о́пору тепло виділяється в результаті проходження електричного струму через провідники з активним опором. Такі печі широко застосовуються при термічній обробці виливків, для сушіння різних матеріалів ливарного виробництва та плавлення легкоплавких металів. Потужності електричних печей опору в ливарних цехах сягають 10 МВт.

Величину корисної енергії печей опору можна визначити за виразом:

$$W_п = \sum_{i=1}^{k} G_п c\left(\Theta''_м - \Theta'_м\right), \qquad (9)$$

де k - кількість циклів термообробки;

$G_п$ - вага оброблюваної деталі;

c - питома теплоємність металу;

$\Theta''_м$, $\Theta'_м$ - температура на початку та в кінці нагрівання.

Основними шляхами зниження витрат електроенергії у печах опору є:

- зниження теплових втрат, покращення теплоізоляції, підвищення продуктивності печей;
- зменшення втрат на акумуляцію тепла та попереднє нагрівання виробів;
- оптимізація та автоматизація електричних та технологічних режимів роботи печей.

Теплові втрати у видатковій частині енергетичного балансу електричних печей опору можуть досягати 75 %. Знизити втрати теплової енергії можна шляхом поліпшення теплової ізоляції, герметичності та зменшенням часу простою печі. Для теплової ізоляції печей опору використовують ультралегкі матеріали у поєднанні з асбовермікулітовими плитами огородження. Показником теплової

ізоляції печей є температура кожуха печі. Теплову ізоляцію вважають задовільною, якщо при робочій температурі в печі 700 – 800 °С температура кожуха печі не перевищує 30 – 40 °С, а при робочій температурі 800 – 1200 °С - не вище 40 – 50 °С. Печі, які працюють періодично, можуть повністю охолоджуватися між окремими циклами, тому для таких печей рекомендується застосовувати легкі вогнетривкі та теплоізоляційні матеріали. Від 10 до 15 % електроенергії, яка споживається піччю, йде на нагрівання жаротривких підтримуючих деталей (піддонів, візків та ін.). По можливості, необхідно скорочувати масу та розміри цих деталей.

Питомі витрати електроенергії $\omega_{пит}$ і продуктивність П печей визначаються з наступних співвідношень

$$W_{пит} = \frac{W_{сп}}{П} \quad (10)$$

– для печей періодичної дії

$$П = \frac{G}{t_ц} \quad (11)$$

– для печей безперервної дії

$$П = \frac{Lm}{t_ц} \quad (12)$$

де $W_{сп}$ – спожита піччю електроенергія,;
G - маса одноразового завантаження печі;
L - довжина електропечі;
m – маса завантаження на ділянці печі завдовжки 1 м;
$t_ц$ - час циклу плавлення (нагріву).

Вирази (10) – (12) свідчать, що для досягнення зниження витрат електроенергі слід збільшувати продуктивність печей та зменшувати тривалість циклу термообробки.

Зниження підвищеної питомої витрати електроенергії без значни капітальних витрат є можливим за рахунок проведення окремих маловитратних та організаційнихі заходів:

- зміна режиму роботи печі (наприклад, переведення печі з однозмінної роботи на трьохзмінну роботу тощо);
- збільшення продуктивності печі шляхом підвищення її робочої температури;
- своєчасне проведення ремонтних робіт (заміна нагрівальних елементів, футерівки, ущільнень, фарбування кожуха печі алюмінієвою фарбою тощо);

- правильна експлуатація печі (скорочення часу завантажувальних і розвантажувальних операцій, правильне рівномірне укладання в піч нагріваємих виробів при завантаженні тощо).

Досягнути зниження питомих витрат енергії на 15 – 20 % також можливо можливо за рахунок використання теплоти нагрітих деталей (рекуперації енергії). В найпростішому виглядлі рекуперація енергії досягається шляхом застосування футерованих рекуперативних колодязів або камер, в якіх одночасно розміщується гаряче та холодне завантаження з послідуючим протіканням процесу теплопередачі від гарячих виробів до холодних.

8.4. Шляхи економії паливно – енергетичних ресурсів в процесі вагранoчної плавки

У чавуноливарних цехах у якості плавильного агрегата широко застосовують коксові вагранки. Вагранка являє собою шахтну пічь безперервної дії, яка призначена для розплавлення металевих шихтових (сировинних) матеріалів:

- чушок – злитків ливарного чавуну;
- чавунного брухту;
- повернення металу ливарного цеху (браковані виливки, брухт литників, прибутків тощо);
- сталевого скрапу (брухту);
- феросплавів-сплавів заліза з кремнієм, марганцем, хромом та іншими елементами, які використовуються при виплавці чавуну (для корегування хімічного складу і для поліпшення властивостей (легування) рідкого металу. У якості палива у вагранці застосовується кокс. Для утворення рідкоплинного шлаку у вагранку додатково завантажують флюс – вапняк. Вагранка працює на принципі протитечії: шихтові матеріали опускаються вниз шахти, прогріваються і розплавлюються, а розжарені гази, що утворюються при згоранні палива, - вгору.

Продуктивність вагранки залежить від її розмірів, складу шихти, виду та витрати палива. Вагранка має вертикальну шахту діаметром від 0,5 до 2,2 м в залежності від продуктивності печі. Внутрішній простір вагранки викладено вогнетривкою цеглою.

Вагранка складається із опорної частини шахти, шахти з іскрогасником, фурменого пристрою і копильника (рис.142). У верхній частині шахти вагранки розташоване завантажувальне вікно 7, через

яке вагранка періодично порціями поповнюється шихтовими матеріалами протягом процесу плавки. У нижній частині шахти розміщується повітряний колектор 5, з якого повітря, необхідне для горіння палива, подається у вагранку через отвори – фурми 4. На ділянці біля фурм відбувається горіння коксу і розвиваються високі температури. Розплавлений чавун стікає в нижню частину шахти, звідки безперервним струменем попадає крізь перехідну льотку 4 у копильник 3, що слугує для накопичення рідкого металу. З копильника, в міру накопичення, рідкий чавун випускають у ківш по жолобу 1, який викладено вогнетривкими матеріалами. Верхню частину вагранки, яка розташована вище завантажувального вікна, називають трубою. На ній установлюється іскровловлювач.

Вагранки, як печі з паливним нагріванням, мають технологічний коефіцієнт корисної дії від 20 до 60 %. На процес плавки значною мірою впливають процеси горіння палива, які в свою чергу залежать від кількості та якості коксу, кількості та температури повітря, яке вдувається у піч, а також від складу завантажуємих матеріалів.

У вагранках дуття здійснюють за допомогою потужних повітродуйок (нагнітаючих вентиляторів), які приводяться в дію електродвигунами потужністю до 600 кВт. У процесі вагранoчного плавлення інтенсивність дуття необхідно змінювати, що забезпечується використання приладів частотного регулювання асинхронних електричних двигунів. Застосування частотного регулювання потужності електродвигунів дозволяє заощаджувати до 30 – 40 % витрачаємої електроенергії.

Через низький технологічний коефіцієнта корисної дії, недостатнє перегрівання чавуну та велику витрату коксу, вагранки з холодним дуттям проходять заміну іншими технологічними модифікаціями шахтних печей. Найбільш ефективним методом інтенсифікації вагранoчної плавки є попереднє нагрівання повітря, що нагнітається. Завдяки підігріву дуття досягається підвищення коефіцієнта корисної дії та температури перегріву розплавленого металу. Досвід свідчить, що на кожні 100 ºС підігріву дуття температура рідкого чавуну на жолобі вагранки, при інших рівних умовах, зростає у середньому на 15–20 ºС. Оскільки теплопередача від вагранoчного газу до шихти, яка переміщується вниз, стає більш інтенсивною, також зростає і коефіцієнт використання коксу. При використанні гарячого дуття в ході вагранoчної плавки зменшується вигорання кремнію і марганцю, окислення заліза, підвищується якість металу навіть за деякого

зниження якості вихідних шихтових матеріалів. В результаті інтенсифікації тепломасообмінних процесів досягається помітне збільшення продуктивності вагранок.

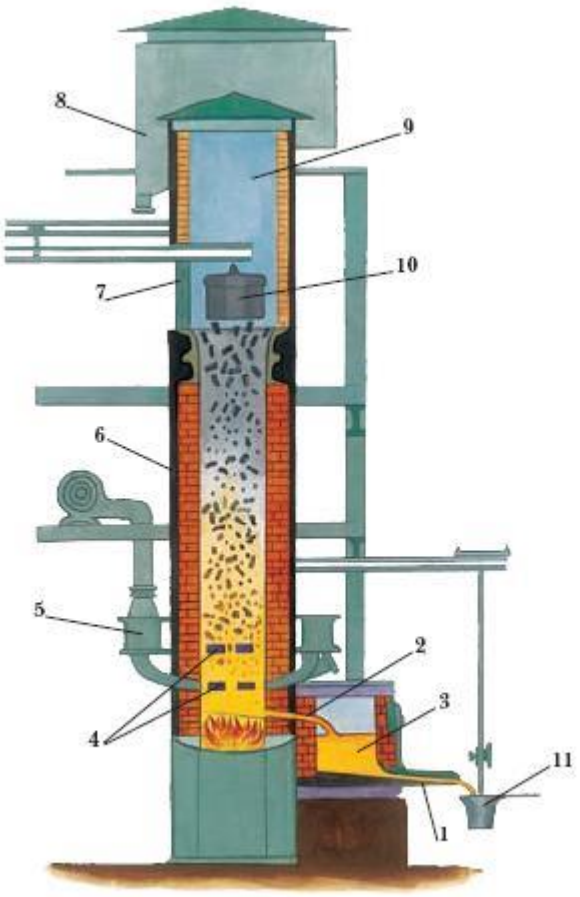


Рис.142. Схема коксової вагранки:1 – жолоб для випуску чавуну із копильника; 2 – льотка; 3 – копильник; 4 – фурми для дуття; 5 – повітряний колектор; 6 – шахта печі; 7 – завантажувальне вікно; 8 – іскроуловлювач; 9 – труба; 10 – завантажувальна баддя; 11 - розливний ківш

Вагранoчні гази, що виходять із шару шихти, мають температуру 250–350 °С. Фізичне тепло вагранoчних газів не може забезпечити достатнє високотемпературне нагрівання повітря. Однак слід враховувати, що 80% енергії припадає на «хімічне» тепло вагранoчних газів, що можливо отримати при допалюванні СО (чадного газу), цього побічного продукту. При спалюванні СО у спеціальних теплообмінних установках температура отримуємих продуктів згорання підвищується до 1000–1100°С, що дозволяє довести температуру дутьового повітря в теплообміннику до рівня 500–600 °С.

Підвищення температури протікання вагранoчних процесів можна досянути також шляхом використання додаткового вдування разом з повітрям чистого кисню. Це забезпечує більш інтенсивне згоряння коксу і призводить до суттєвого підвищення температури. Більш ефективне засвоєння вуглецю та менша потреба у дутті призводять до підвищення продуктивності плавки та зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище продуктів згорання. Застосування кисню при холодному дутті дозволяє знизити споживання коксу на 20 – 25 %, а також дозволяє працювати на шихті з підвищеним вмістом сталевого скрапу. Перспективною вбачається технологія подачі кисню в комбінації з гарячим дуттям. У цьому варіанті, крім кращого використання енергії та меншого викиду пилу, досягається можливість змінювати продуктивність печі у широких межах.

Повне згоряння вуглецю до вуглекислого газу CO_2, при якому вся енергія вивільняється у вигляді тепла, в процесі вагранoчної плавки відбувається не в повному обсязі. Має місце небажане часткове відновлення CO_2 при контакті з коксом до окису вуглецю, що потребує теплових витрат. Це є однією з причин не ефективного використання у вагранці значної частини енергії палива. Для її використання, слід застосовувати метод вторинного вдування повітря шляхом розміщення у вагранці по висоті кілька рядів фурм. Над соплами фурми для первинного спалювання додатково вдувається повітря, яке забезпечує допалювання окису вуглецю. Завдяки цьому при експлуатації вагранки з холодним дуттям відбувається кращий перегрів завантаженої шихти і, відповідно, досягається економія коксу та підвищення продуктивності плавки.

Можливість скорочення використання дефіцитного дороговартістного коксу дає застосування інших енергоносіїв, наприклад, шляхом введення до складу вдуваємого повітря природного газу. Енергетичний еквівалент природного газу складає 40 % від відповідного показника для коксу. Додаткове використання природного газу в дутті дозволяє знизити витрати коксу від 15 до 9 %. Завдяки цьому збільшується продуктивність вагранки, а також знижуються викиди пилу та вміст сірки у чавуні. Одночасно зі зниженням енергоспоживання у газових вагранках відбувається зниження емісії CO_2 в атмосферу на 25 – 30 % .

У ливарному виробництві сьогодні найбільш поширенним є використання коксових вагранок, проте з економічних міркувань, технічних можливостей та екологічної безпеки такі плавильні агрегати

не відповідають сучасним вимогам. Значне підвищення коефіцієнта використання енергії досягається при застосуванні безкоксових газових вагранок. Газові вагранки мають менший викид пилу, шкідливих речовин та не приводять до насичення чавуну сіркою. До того ж природний газ згорає повністю, а кокс згоряє з утворенням 10% CO і має меншу теплотворну здатність. Однак, порівняно з коксовими вагранками вони мають більш складну конструкцію, експлуатація та керування процесом плавки у газовій вагранці є ускладненим.

Найбільшу техніко-економічну ефективність та екологічну безпеку для організації дуплекс-процесу плавки та витримки чавуну має комбінація плавильних агрегатів газова вагранка + індукційна піч середньої частоти. При організації дуплексної плавки будь-якою комбінацією плавильних агрегатів найбільш економічним є використання індукційної печі середньої частоти у якості другого плавильного агрегату для догріву і теплозбереження металу.

8.5. Переплав стружки кольорових та чорних металів

На всіх машинобудівних заводах при механічній обробці деталей із кольорових та чорних сплавів утворюється значна кількість стружки. Відхід металу в стружку становить 25 – 40 % під час виготовлення деталей машин і механізмів із заготівлі. Раціональне використання стружки безпосередньо на підприємствах, де вона утворюється, у якості сировини для ливарного виробництва, є одним із важливих джерел економії металу. Додатковим фактором, що підвищує ефективність процесу плавки, є попереднє брикетування металевої стружки. Процесу брикетування може піддаватися будь-яка металева стружка, як чавунна та сталева, так і алюмінієва. Крім мінімізації енерговитрат під час переплавлення, технологія переплавлення брикетованої стружки має ще ряд економічних переваг:

1. У процесі плавлення значно знижується вигорання складових, тобто брикетована стружка майже не згорає, а повністю переходе у розплав.
2. Пресована стружка займає значно менше місця, ніж розсипчата, що полегшує її зберігання, транспортування та завантаження у вагранку.
3. Брикетована стружка набагато менше схильна до корозії, оскільки всередину брикету надходить при зберіганні мінімальна кількість атмосферного повітря і вологи.

Сам процес брикетування крученої металевої стружки складається з декількох етапів.

Спочатку довгу, сплутану та травмонебезпечну стружку подрібнюють у дробарках. Перед брикетуванням стружка має бути очищена від різних забруднень (наприклад, мастильно-охолодних рідин) та сторонніх предметів. Для цього застосовуються сепаратори та фільтри. При необхідності отриману стружкову масу можна розділити на фракції (алюміній, сталь, чавун) за допомогою магнітної або вібраційної системи очищення. Отримана подрібнена маса передається через систему транспортерів на пресування на пресах під великим тиском (зусилля до 3 т на 1 см^2). Стружкова маса пресується у компактні брикети діаметром від 60 до 200 мм. Готовий брикет має круглу циліндричну форму.

Чим щільніше буде спресована стружка, тим більше буде механічна міцність брикетів, що забезпечує їх неруйнівність у процесі транспортування та завантаження у печі, і тим менше буде її вигорання у процесі переплавлення.

Рис. 143. Брикети з чавунної стружки

Застосування стружки у вагранoчній шихті у вигляді брикетів у кількості 10 – 15 % до металозавалки не погіршує режиму плавки вагранки та не знижує якості чавунних виливків, а їх механічні властивості у багатьох випадках навіть зростають.

8.6. Регенерація та утилізація формувальних сумішей

Найбільш простою технологією виготовлення металевих заготовок для деталей є метод лиття в сирі піщано-глинисті форми. Формувальна суміш для їх виготовлення складається на 90-95% з високоякісного кварцового піску та невеликих кількостей різних в'яжучих і поліпшуючих добавок: бентоніту, меленого вугілля, рідкого скла тощо. У якості неорганічних в'яжучих матеріалів, які використовуються для приготування формувальних сумішей, переважно використовуються вогнетривкі глини. У готові ливарні форми заливається розплавлений метал. Форми після остигання руйнують під час вилучення готової деталі. В процесі взаємодії з рідким металом формувальні суміші нагріваються до 600 - 800°С, в'яжучі глини частково втрачають активність і перетворюються на пил. Фізико-хімічному впливу піддається лише та частина формувальної суміші, яка безпосередньо контактує з розплавом углиб до 20–30 мм. Тому основна маса формувальної суміші не ушкоджується і її можна використати повторно. В результаті здійснення циклу лиття в піщано-глинисті форми утворюються відпрацьовані формувальні суміші, які представляють собою дрібні піски, що містять залишки як органічних, так і неорганічних в'яжучих матеріалів. Одним із способів економії витратних матеріалів є проведення регенерації формувальних сумішей, що дозволяє переробляти матеріал зруйнованих форм і використовувати його як сировинний наповнювач для наступних циклів формування.

Регенерація - це комплекс операцій по підготовці формувальної суміші, що вже була у використанні, до повторного застосування. Регенерація формувальної суміші можлива при оборотному характері затвердіння в'яжучого матеріалу, що характерно для каолінових і монтморіллонітових вогнетривких глин і застосовується при литті виливків піщано-глинисті форми. Завдяки цьому вдається частково відновити їх та повторно використовувати у виробництві. При правильному підході досягають регенерування до 95% складу формувальних сумішей. При цьому вдається скоротити кількість відходів цього матеріалу, а отже, знизити витрати на їх утилізацію, що в сукупності дозволяє підвищити рентабельність виробництва. Крім цього знижуються викиди шкідливих речовин виробництва у довкілля, зменшується споживання ресурсів та підвищується екологічна безпека підприємства.

Основна частина формувальної суміші після циклу виготовлення виливка використовується повторно після зволоження і введення до її складу освіжаючих добавок. Щоб надати піщано-глинистій формувальній суміші необхідні властивості, її охолоджують, потім за допомогою магнітного сепаратора видаляють металеві феромагнітні включення, розмелюють, просіюють, видаляють пил та проводять розпушування. В основу роботи магнітного сепаратора закладено різницю між магнітними властивостями різних домішок суміші. З загального потоку рухомої на стрічкі конвеєра формувальної суміші виділяються окремі феромагнітні магнітні частинки, які змінюють свій шлях у напрямі дії магнітної сили.

Після магнітної сепарації та подрібнення кусків суміш поступає в повітряний сепаратор, де зернам піску різної величини надається різна швидкість, що дозволяє розділити їх по величіні і видалити пилоподібну фракцію.

Одна з можливих технологічних схем регенерації відпрацьованих піщаних формувальних сумішей, представлена на рис. 144.

Відпрацьовані піщані формувальні суміші надходять у контейнерах на приймальну дільницю, де проводиться вивантаження у бункер. З бункера відпрацьована піщано-глиниста формувальна суміші за допомогою гойдаючогося живильника 2 подається на стрічковий конвеєр 3. Для відділення від суміші феромагнітних металевих включень над конвеєром розміщено уловлювання залізовловлючий сепаратор. Зібрані у контейнер металеві включення передаються для утилізації шляхом повторного переплавлення.

Далі відпрацьована формувальна суміш подається на грохот, де проводиться її подрібнення і поділ на фракції розміром до 5 мм і понад 5 мм. Крупні фракції відпрацьованої формувальні суміші пересипається на стрічковий конвеєр 5, яким вони подаються в щокову дробарку на додаткове подрібнення. Подрібнена відпрацьована піщана формувальна суміш ковшовим елеватором 7 повертається на стрічковий конвеєр 3.

Дрібна фракція після грохоту 4 через пересипний пристрій надходить до ковшового елеватора 8 і подається до дезінтегратора, де відбувається руйнування неміцних конгломератів та механічне очищення поверхні основної складової формовочної суміші – піску.

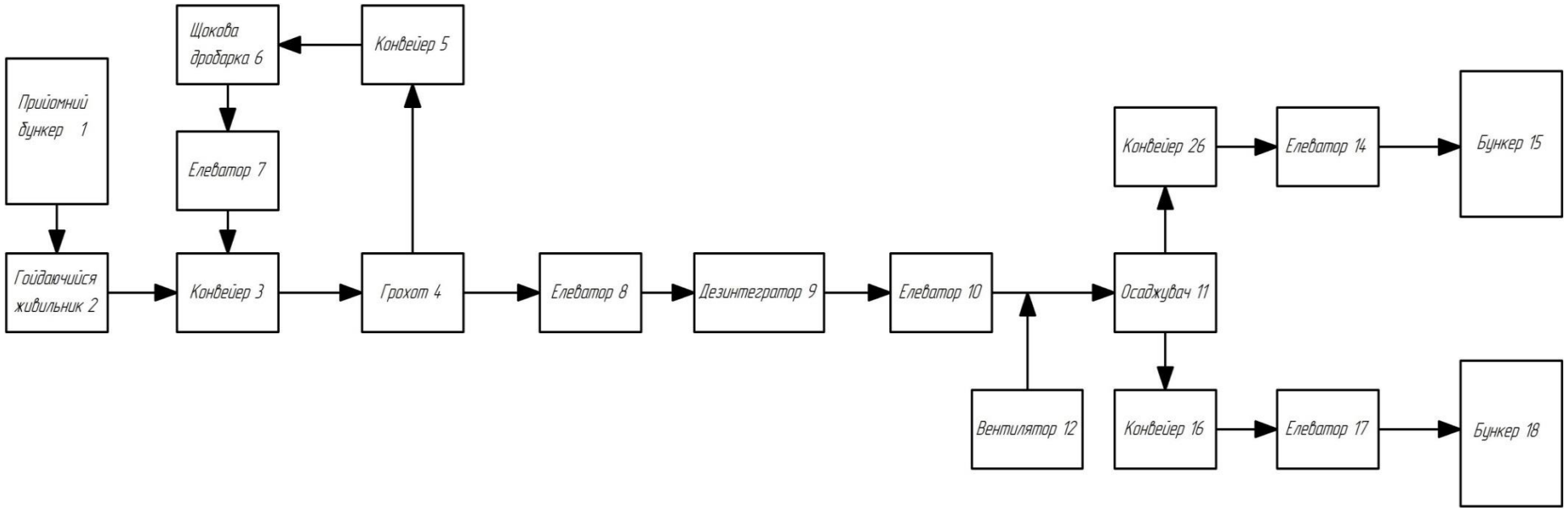


Рисунок 144. – Технологічна схема переробки відпрацьованої піщані формувальної суміші

Далі піщано-пилова суміш ковшовим елеватором 10 подається в осаджувач 11, який служить для розділення піску та пилу. Процес поділу здійснюється за рахунок продування повітрям від вентилятора 12. Кількість повітря, що подається в пересипний пристрій перед осаджувачем, регулюється шиберною заслінкою.

Після кількох циклів заливання ливарної форми рідким металом ряд частинок кварцового піску розтріскується, що веде до погіршення технологічних властивостей формувальної суміші. Відпрацьовані формувальні та стрижневі суміші піддають спеціальній обробці – регенерації кварцового піску з метою доведення його властивостей до початкового рівня для ння можливості повторного використання як матеріалу для виготовлення ливарних форм або стрижнів. На відміну від регенерації формувальних сумішей, коли прагнуть до збереження активного в'яжучих на зернах піску, при регенерації кварцового піску проводять видалення плівок відпрацьованого в'яжучого з поверхонь зерен наповнювача.

Відпрацьовані формувальні та стрижневі суміші піддають спеціальній обробці – регенерації кварцового піскуі з метою відновлення його початкових властивостей для його повторного використання як матеріал для виготовлення форм або стрижнів. При регенерації кварцового піску окрім операцій, ідентичних підготовці повернення формувальної суміші (охолоджування, магнітна сепарація, дроблення грудок, просівання), застосовуються спеціальні методи видалення інертних плівок з поверхні зерен наповнювача і класифікація отриманого продукту по зерновому складу.

Розрізняють суху, мокру, термічну та механічну регенерацію кварцового піску.

При сухій регенерації проводяться дві послідовні операції: відділення піску від сполучних добавок та видалення пилу шляхом відсмоктування їх із барабана разом із повітрям. Повітря, що виходить з барабана, що містить пилоподібні частинки, очищають за допомогою фільтрів. При мокрій регенерації потік води відмиває з поверхні зерен вогнетривку глину та інші водорозчинні в'яжучі матеріали, після чого проводиться його гідравлічна класифікацію. Видалення плівок в'яжучого відбувається в машинах тертя.

В цих машинах пульпа (суміш піску і води) перемішуються на протязі визначенного часу, що забезпечує відділення глинистої складової, водорозчинні в'яжучі, відбувається розділення піску по величині зерна, активується поверхня піску.

Підготовлена формувальна суміш в потоці із проточною водою надходить у систему послідовних відстійників. Сутність процесу класифікації базується на різниці у швидкості осідання часток різної величини в воді. В першому резервуарі осідають крупні частки, а більш дрібні відносяться водою до послідуючих відстійників. Заключною операцією такої регенерації є висушування регенерованого кварцового піску та його повернення на ділянку виготовлення формувальних сумішей. Вода після відстоювання надходить на фільтрацію та очищення і також повертається у виробництво.

До недоліків мокрого способу регенерації відносяться велика витрата води (до 15 $м^3$ на 1 т регенерованого продукту), необхідність видалення вологи і подальшої сушки піску з додатковими витратами теплової енергії. Найчастіше цей метод використовується в ливарних цехах заводів важкого машинобудування в комплексі з гідравлічною вибивкою ливарних піщано-глинистих форм.

При механічній регенерації плівки в'яжучих матеріалів видаляють шляхом перетирання чи ударного навантаження на зерна формувальної суміші. Очищення поверхні зерен піску відбувається внаслідок взаємного тертя окремих піщин. У якості обладнання використовують спеціальні бігуни з катками або кульові млини. Як правило, механічна регенерація поєднується з пневматичною регенерацією, коли за рахунок енергії швидкісного повітряного потоку шляхом тертя та ударів між зернами досягається додаткове відокремлення поверхневих твердих плівок, які видуваються у порохоподному стані. Установки пневматичної регенерації прості за конструкцією, легко механізуються та автоматизуються.

При термічній регенерації в процесі високотемпературного нагрівання до 600-1000°С із поверхні зерен піску вигорають органічні плівки в'яжучих матеріалів, головним чином масел і синтетичних смол. Термічна регенерація придатна в основному для сумішей з органічними в'яжучими і не використовується для сумішей з глинистими в'яжучими. У якості обладнання використовують печі барабанного типу з «киплячим шаром». Нагрів матеріалу, що регенерується, проводиться бічними пальниками. Тепло димових газів використовується для нагрівання повітря, що надходить на формування киплячого шару і спалювання газу для нагрівання регенерованого піску. Незважаючи на високу ефективність процесу термічної регенерації кварцових пісків, спосіб використовують

обмежено через великі витрати теплової енергії, низької продуктивності та потреби використання установок утилізації газоподібних відходів.

При застосуванні процесів регенерації кількість твердих відходів формувальної суміші, що викидаються у відвал, значно скорочується. Крім регенерації відпрацьованої формувальної суміші, можливе також її використання при виготовленні будівельних матеріалів. Цей матеріал може бути повноцінним замінником кварцового піску при виробництві цегли, шлакоблоків та бетонних виробів. Пісок відпрацьованих ливарних форм може використовуватися як заповнювач для бетону, замінюючи до 50 % природного дрібного піску. Для нейтралізації негативного впливу на процес твердіння бетону залишків органічних сполучних матеріалів (меляси, масел, тощо), які можуть міститися у відпрацьованій формувальній сумішіі, в бетон рекомендується вводити добавки прискорювачів твердіння.

Значні обсяги формувальної суміші складає клас, де роль в'яжучої речовини виконує рідке скло. Звязування зерен кварцового піску відбувається шляхом утворення полімеру кремнієвої кислоти при взаємодії з вуглекислим газом. Відходи формувальних сумішей з в'яжучим на основі рідкого скла не мають токсичних сполучних компонентів і можуть широко застосовуватися при виробництві будівельних матеріалів, у тому числі і керамічних виробів. При цьому відходи формувальних сумішей мають високу сипучість та здатність до рівномірного перемішування з іншими компонентами будівельних матеріалів.

8.7. Утилізація високотемпературних теплових відходів в технологічних процесах ливарного виробництва

Металургійні процеси в плавильних печах ливарного виробництва протікають при температурах понад 1200 °С. При цьому з відхідними димовими газами в атмосферу часто виноситься до 50 – 60 % фізичної теплоти, яка могла б виконувати роль вторинного теплоносія. При цьому ряд газо- та тепловикористовуючих допоміжних установок, які забезпечують виробництва пари та гарячої води, додатково потребують витрачат природного газу та електричної енергії для здійснення низькотемпературних процесів.

Найбільш ефективним шляхом скорочення витрат паливно – енергетичних ресурсів у ливарних цехах є відбір теплової енергії від

відхідних газів. Для відбору теплової енергії від продуктів згоряння, які відводяться від плавильних та термічних печей, в промисловості широко використовують рекуператори, водонагрівачі, повітронагрівачі та інші теплообмінні апарати. Застосування установок, які утилізують теплову енергію, забезпечує покращення екологічної обстановки, оскільки скорочує кількість палива, що спалюється на підприємствах, і дозволяє підвищити ефективність систем газоочищення технологічних печей і агрегатів.

З метою використання теплоти високотемпературних відхідних газів біля плавильних печей ливарного виробництва ефективно використовувати котли-утилізатори, конструкція яких включає випарні поверхні нагріву та пароперегрівач. Котел-утилізатор газів – це теплообмінний пристрій, який призначений для використання енергії тепла від відхідних газів на підігрів води або утворення пари, що використовуються для технологічних процесів та опалення виробничих приміщень. Котли-утилізатори не мають власного топкового пристрою для спалювання палива і використовують теплоту відхідних газів. В котлах-утилізаторах процес нагрівання та випаровування живлячої води здійснюється шляхом обігріву поверхонь нагріву не продуктами згоряння, а проміжним теплоносієм - відхідними газами металургійних та термічних печей. Утилізаційні котли зазвичай не оснащується пальником, тому що його конструкція є спрощеною і не передбачає згоряння паливних ресурсів.

Особливістю функціонування утилізаційних систем відбору тепла від відхідних газів металургійних печей є наявність у вторинному теплоносії значної кількості пороховидних металовмістних частинок. Конструкція котлів-утилізаторів дозволяє використовувати теплоту механічно забруднених газів, що відходять від металургійних агрегатів, та дає можливість вловлювати та частково видаляти винесену з печі дрібнодисперсну технологічну сировину.

Котли-утилізатори за своєю конструкцією класифікуються наступним чином:

-за температурою газового носія тепла, що подається в котел-утилізатор. За цим параметром теплоутилізуюче обладнання поділяється на: низькотемпературне (менше 900^0С) та високотемпературне (понад 900^0С). У разі низьких температур відхідних газів передача теплової енергії у котлах здійснюється завдяки конвекційним процесам, а за високих температурних показників – за рахунок випромінювання;

- за принципом циркуляції води (з природною, примусовою, комбінованої циркуляцією та прямоточні);
- за принципом переміщення потоків води, пари та відхідних газів утилізаційні котли поділяються на два типи: газотрубні та водотрубні;
- залежно від розміщення поверхонь нагріву (відбору теплової енергії), котли - утилізатори можуть бути горизонтального, тунельного, або баштового типу. У низькотемпературних котлах використовуються змійовикові конвективні поверхні нагрівання, а у високотемпературних моделях - радіаційно-конвективні поверхні.

З погляду експлуатаційних можливостей ключовим параметром є температурний діапазон використання котла - уталізатора. При утилізації тепла відхідних газів печей ливарного виробництва на вході котлів - утилізаторів це значення може знаходитися в межах 300-1200 °С. На виході котлів - утилізаторів температурні характеристики газів, які передали свою теплову енергію на підігрів води, знижуються до 150-200°С, при цьому робочий тиск утвореної водяної пари може досягати до 50 атм.

Оскільки відхідні гази можуть містити багато пилу та агресивних хімічних речовин, перед подачею до котла утилізатора їх попередньо частково очищують з використанням циклонів та електрофільтрів.

Робота котлів-утилізаторів газотрубного типу базується на принципі конвективного пароперегрівача. Живляча котел вода подається у теплоізольований випарний барабан, у робочому просторі якого розміщено пучок жарових трубок через які проходять розжарені відхідні гази. Жарові трубки знаходяться в оточенні води, яка заповнює внутрішній об’єм барабана. Під дією теплової енергії вода від контакту з жаровами трубками прогрівається і випаровується. У ході теплообмінного процесу між жаровими трубками і водою котел виробляє пару під тиском до 4,5 Мпа, яка перегрівається до температури понад 400^0С.

Внутрішній об’єм барабана газотрубного котла містить значний запас води і, відповідно, має високу акумуляційну здатність (запас тепла). Тому такі теплообмінні пристрої ефективно працюють в промислових умовах при потребі витрат гарячої води, що кількісно різко змінюються у часі.

Газотрубні котли-утилізатори задовільно витримують високотемпературні потоки відхідних газів, і не існує проблем вибору матеріалів, оскільки завдяки високим коефіцієнтам теплопередачі в жарових трубках підтримується порівняно низька температура,

близька до температури насичення водяної пари за відповідного тиску. В процесі експлуатації пил та зола поступово осідає міцним шаром на внутрішніх поверхнях жарових трубок, що зменшує тепловіддачу і вимагає прочищення при проведенні капітального ремонту обладнання. Цей тип котлів не вимагає спеціальної обмуровки, характеризується високою газощільністю, простотою виготовлення, монтажу, обслуговування та зниженими вимогами до живильної води.

На рис. 145 показано будову газотрубнного котла - утилізатора з пароперегрівачем. Відхідні гази технологічного агрегату надходять у вхідну камеру (на малюнку рух газів зліва на право), проходять через жарові труби і через вихідну камеру видаляються в атмосферу. При нагріванні води відбувається утворення пари. У верхній частині барабана розташований сепараційний пристрій, який виконує функції пароприймача. Сепараційний пристрій виконано у вигляді дірчастого стельового щита, що забезпечує відокремлення від потоку пари, який надходить з барабана в пароперегрівач, від крапель води. Пара поступає до розжареної вхідної камери, де знаходяться W-подібні настінні поверхні (у вигляді стрічок та екранів), а також конвективні жарові трубки пароперегрівача діаметром 50 мм із товщиною стінки 3 мм. У вхідній камері відбувається перегрів водяної пари до заданих температур.

Глибина охолодження відхідних газів в котлах-утилізаторах залежить від характерного співвідношення $D/G_г$,

де D – паропродуктивність котла, кг/год;

$G_г$ - витрата гріючого відхідного газу - теплоносія, $м^3$/год.

Зі зниженням початкової температури відхідних газів, які пподаються до котла – утилізатора, помітно зростають витрати газу-теплоносія, необхідного для вироблення одиниці водяної пари, а співвідношення $D/G_г$ (при D = const) відповідно зменшується. Так, якщо для звичайних парових котлів на органічному паливі параметр $D/G_г \approx 1$, то для отримання пари при використанні низькотемпературних відхідних газів ($T_г$ = 400 – 600 °C) він знижується до 0,12 - 0,15. Однак Коефіцієнт корисної дії такого теплообмінного пристрою буде низьким, якщо газ, що охолоджується, має невисоке значення коефіцієнта тепловіддачі.

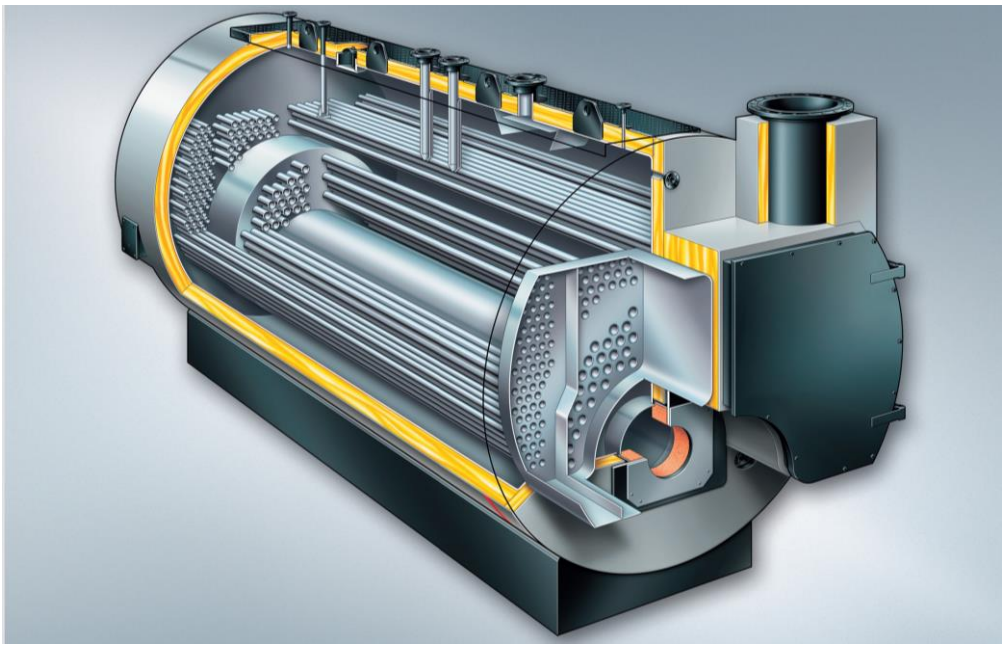


Рис.145. Газотрубний котел – утилізатор у розрізі

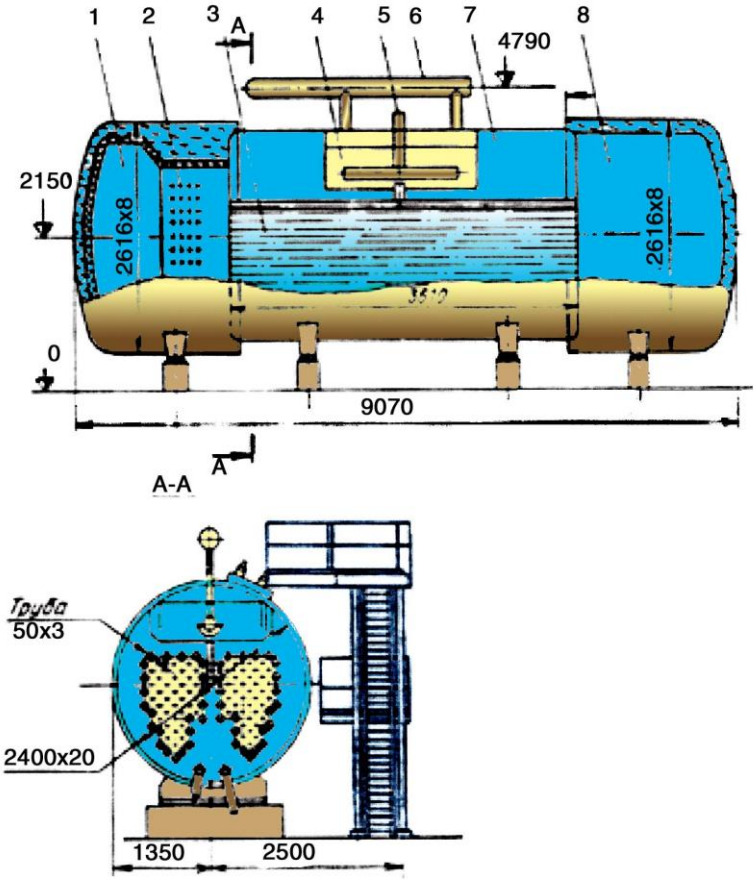


Рис.146. Газотрубний котел-утилізатор моделі Г - 250: 1 - вхідна камера; 2 - труби пароперегрівача; 3 – жарові трубки випарника; 4 - паросепараційний пристрій; 5 - патрубок підведення поживної води; 6 - паровий колектор; 7 - випарний барабан; 8 - вихідна камера

До переваг газотрубних котлів – утилізаторів відноситься:
-простота конструкції і порівняно не висока вартість, технічно простішою є конструкція, коли розжарений газ під тиском проходить всередині труб;
-можливість застосування для утилізації тепла від потоків забруднених відхідних газів. У випадку сильного запилення, у газотрубних котлах легше проводити очищення внутрішньої циліндричної поверхні жарових трубок зсередини, ніж чистити зовнішні поверхні теплообмінників з близько розташованим пучком теплообмінних труб.

До основних недоліків газотрубних котлів-утилізаторів відносяться:
- недостатньо високий коефіцієнт використання теплоти відхідних газів від технологічних агрегатів;
- обмежений пропуск відхідних газів (30-40 тис. $м^3$ /год) через жарові трубки та відкладення у них за певних умов золи;
- низький тиск водяної пари, яка виробляється, через використання барабана великого діаметру;
-зовнішні поверхні жарових трубок газотрубних котлів при використанні не підготовленої води покриваються шаром накипу, що вимагає періодичного проведення чищення труб.

Застосування газотрубних котлів для утилізації теплоти низькотемпературних виробничих газів доцільно застосовувати для установок невеликої потужності, особливо тоді, коли відхідні гази, мають підвищений тиск або містять вибухонебезпечні або отруйні компоненти.

Водотрубний котел-утилізатор відрізняється від газотрубного котла тим, що вода переміщується всередині трубок, а відхідні гази омивають зовнішню поверхню цих трубок. У водотрубному котлі - утилізаторі поверхня нагріву утворюється кип'ятильними трубами, всередині яких прокачується вода та пароводяна суміш, а зовні омивають розжарені відхідні гази. В основу роботи таких котлів - утилізаторів закладено багаторазову примусову циркуляцію води, завдяки чому випарний елемент (кип'ятильні труби) можна виготовляти в будь-якій необхідній конфігурації та орієнтації у просторі. Випарний елемент розділяється на ряд паралельно підключених секцій, що дає змогу суттєво зменшити гідравлічний опір випарної області теплообмінника. Шляхом розподілу випарної системи котла з багаторазовою примусовою циркуляцією на дві - три секції, які включено на паралельне проходження води, вдається у 6 - 8 разів знизити необхідний тиск та потужність використовуємих циркуляційних

насосів. Загальна кількість паралельно працюючих у теплообміннику труб вибирається виходячи із необхідності забезпечення швидкості води не нижче 0,5-1 м/с. Співвідношення довжини змійовиків кожної секції підбирається так, щоб їхній гідравлічний опір мав близькі значення.

Вода, що надходить у водотрубний котел, направляється у випарні пакети. На виході з випарних пакетів здійснюється сепарування суміші пари та води, внаслідок чого вода у водогрійному агрегаті відділяється від пари. Далі пара прямує через пароперегрівач для подальшого корисного використання.

Область застосування водотрубних котлів – утилізаторів є значно ширшою порівняно з газотрубними котлами, особливо,у випадку, якщо потрібна перегріта пара високого тиску. Коефіцієнт корисної дії водотрубних котлів є значно вищим, ніж у газотрубних котлів, оскільки їх зовнішня контактна поверхня нагріву може бути збільшена шляхом розміщення радіаторних виступів. Надійність водотрубних котлів, зазвичай, також є вищою, ніж газотрубних, але схильність до забруднення зовнішніх поверхонь труб пиловидними складовими продуктів згорання, а також труднощі очищення цих поверхонь, мають враховуватися при виборі типу котла - утилізатора. Основним призначенням водотрубних котлів – утилізаторів є відбір тепла від сильно запилених газів. В таких утилізаторах спрощується видалення осадженого пилу з камери теплового обміну, що забезпечує поліпшення теплообміну та зниження гідравлічного опору агрегату.

На рис. 147 показаний поздовжній розріз водотрубного котла – утилізатора КУ-80-3, який призначений для виробництва перегрітої пари. У підйомній шахті по ходу газів розташовані перший випарний пакет, пароперегрівач, другий випарний пакет та друга секція третього випарного пакета. В опускному газоході розташовані перша секція третього випарного пакета та дві секції економайзерів. Вода після проходження через економайзер надходить у барабан котла, звідки за допомогою циркуляційних насосів подається в три паралельно включені випарні пакети. Пароводяна суміш з випарних поверхонь нагріву надходить у барабан, а відсепарований насичений пар прямує в пароперегрівач.

У барабані котла розміщено сепараційний пристрій у вигляді металевого листа з отворами та желюзей. Використання процесів сепарації пари необхідне для гасіння кінетичної енергії пароводяної

суміші та виключення попадання води з барабана в паропроводи до пароперегрівника.

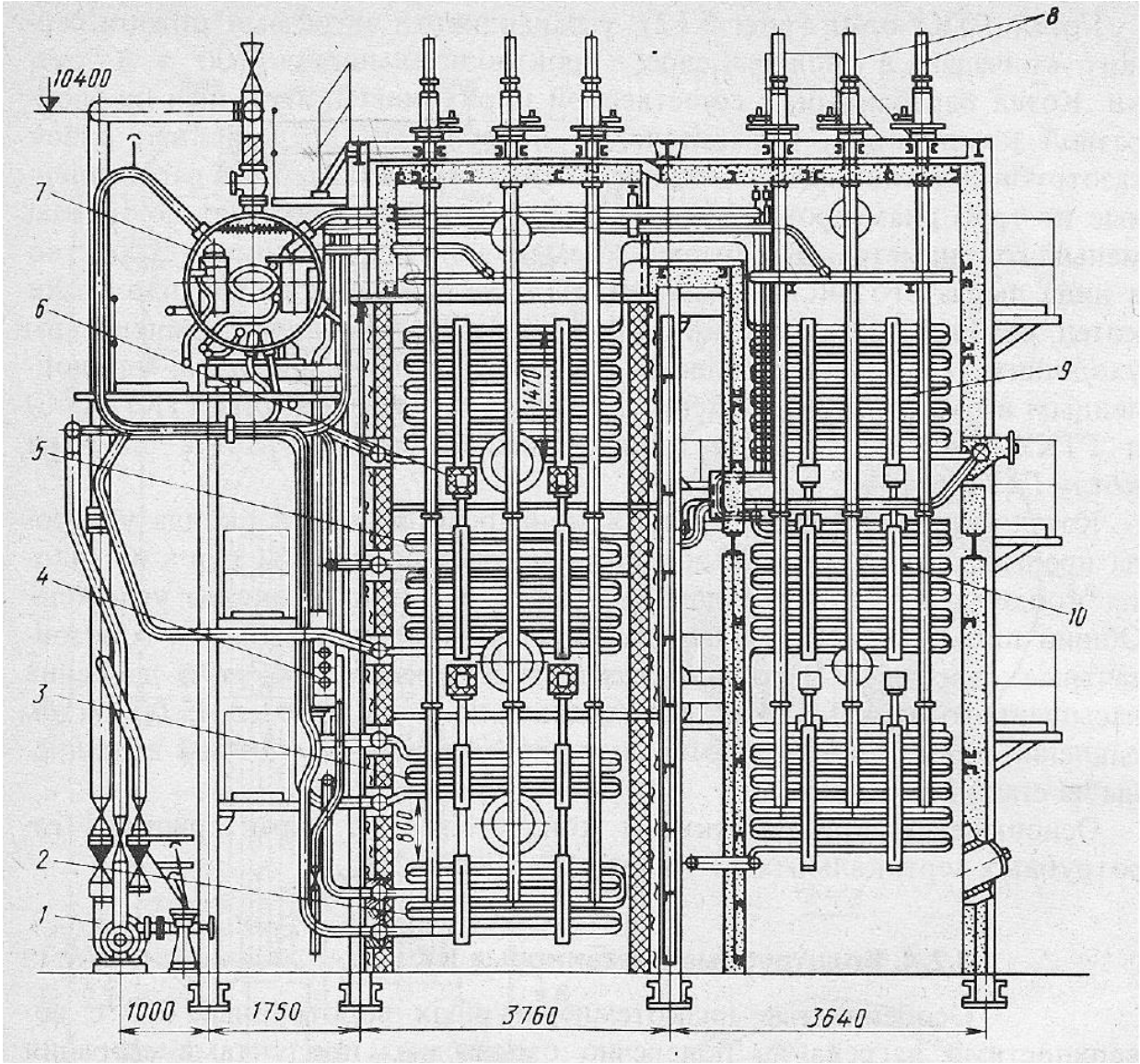


Рис. 147. Котел-утилізатор КУ-80-3:

1 – циркуляційний насос; 2 – перший випарний пакет; 3 – пароперегрівач; 4 – відділювач шламу; 5 – другий випарний пакет; 6 – балки; 7 – барабан; 8 – обдувні лінії; 9 – третій випарний пакет; 10 – економайзер

Утилізатор теплової енергії відпрацьованих газів (економайзер) - це теплотехнічний апарат-теплообмінник рекупераційного типу, що розміщується в каналі скидання відпрацьованих газів. В економайзері відбувається відбір тепла від відхідних газів, які вже здійснили тепловіддачу у котлі - утилізаторі та попереднє нагрівання холодного теплоносія. Економайзер додатково знижує температуру продуктів

горіння, і за рахунок цього підігріває живильну воду. Такий спосіб підвищує загальну ефективність роботи котла на 3 – 6%. Для утилізаторів (економайзерів) існує поняття глибини утилізації, яке виражається у ступені охолодження відпрацьованих газів. Для багатоступінчастих економайзерів можлива досить велика глибина утилізації з охолодженням відпрацьованих газів в середньому з 300 °С до 50 °С. Економайзери використовують тепло відхідних газів у газоходах після котла-утилізатора. В економайзерах підігрівається живильна вода до надходження її в барабан котла, при цьому полегшується робота по пароутворенню котла – утилізатора. Результатом такого теплообміну є утилізація певної (часто – дуже значної) частини теплової енергії відпрацьованих газів, та отримання гарячої водяної пари або гарячої води, які витрачаються на забезпечення водяного чи парового опалення, гарячого водопостачання, технологічного підігріву. Це дозволяє підприємству економити виробничі та фінансові ресурси.

У нижній частині економайзер має горизонтальний впускний патрубок, через який подається вода для підігріву до теплообмінного приладу. У верхній частині економайзера встановлено горизонтальну трубу, яка служить відводом підігрітої води. Рухаючись по змійовику, вода нагрівається за рахунок теплообміну з відхідними газами. Нагріта вода виходить з верхнього колектора і направляється споживачу. Рух води в напрямку вгору є обов'язковою умовою, яку необхідно виконувати через те, що при нагріванні з води виділяються спливаючі бульбашки розчинених газів. Також, у цьому випадку залишки в трубах після монтажу та ремонту повітря легко витісняється водою. Водяні економайзери виконуються двох типів: чавунні з ребристих труб та сталеві гладкотрубні. Чавунні ребристі водяні економайзери встановлюють у котлах невеликої паропродуктивності тиском до 24 ат. Сталеві гладкотрубні економайзери можна встановлювати в котельних агрегатах будь-якої продуктивності та тиску, але переважно вони набули поширення для котельних агрегатів середньої та великої паропродуктивності при тиску 40 атм і вище.

Водяні економайзери, які призначені для попереднього підігріву живильної води, зазвичай виконують із сталевих труб діаметром 28-38 мм, зігнутих у вертикальні змійовики та скомпонованих у пакети. Труби в пакетах розташовуються в шаховому порядку досить щільно: відстань між осями сусідніх труб упоперек потоку відхідних газів становлять від 2 до 2,5 діаметра труби, а між рядами вздовж потоку

від 1 до 1,5. Щільне розташування труб в шаховому порядку сприяє уповільненому проходженню газів, які встигають віддати енергію теплоносію в трубах економайзера. Водяні економайзери з великою поверхнею нагрівання виконують з окремих пакетів заввишки до 1,5 м.

Рис.148. Водяний гладкотрубний економайзер

Чавунний ребристий водяний економайзер є системою труб, які зібрані в колону, що складається з декількох горизонтальних рядів. Число труб у горизонтальному ряду визначається з умови отримання необхідної швидкості руху продуктів згоряння (6-9 м/сек), а число горизонтальних рядів - з умови отримання необхідної поверхні нагрівання економайзера.

Встановлення котлів – утилізаторів та економайзерів тепла на потоках відхідних газів від металургійного обладнання ливарних цехів забепечує:

- скорочення енергетичних витрат на підприємстві;
- скорочення теплових викидів в атмосферу, зменшення теплового забруднення навколишнього середовища;
- створення більш комфортних умов для перебування персоналу за рахунок опалення виробничих приміщень, наявності гарячої води;
- зниження собівартості вироблення продукції та збільшення її конкурентної спроможності.

8.8. Утилізація теплоти вентиляційних викидів ливарних цехів

Проблема утилізації теплоти вентиляційних викидів промислових підприємств ускладнюється необхідністю узгодженого раціонального розміщення трас приточної і витяжної вентиляції. В сучасних ливарних цехах все ширше використовують потужні приточно-витяжні агрегати, у яких і приточне і витяжне обладнання об'єднані в один блок.

Розглянемо, як приклад, вентиляційний агрегат моделі Roof Vent LHW (рис. 149), який призначений для утилізації теплоти вентиляційних викидів промислових приміщень з високими стелями і виконують три основні функції: вентиляція, нагрівання, охолодження.

Агрегати Roof Vent LHW поставляються двох типорозмірів: з витратою повітря 5500, 8000 і 8500 м^3/год. При витраті повітря 8000 м^3/год і нагріванні приточного повітря від 7 до 18 °С, теплова потужність одного агрегату становить близько 100 кВт.

Вентиляційні агрегати Roof Vent LHW можуть працювати в наступних режимах:

- вентиляція з нагріванням повітря і рекуперацією теплоти;
- вентиляція без нагрівання, з рекуперацією теплоти;
- вентиляція без нагрівання, без рекуперації теплоти;
- рециркуляція з нагріванням повітря;
- режим витяжки забрудненого повітря;
- режим охолодження повітря всередині приміщення .

Конструкція агрегата передбачає можливість підігріву приточного повітря нагрівати до необхідної температури за допомогою водяного калорифера. При використанні в калорифері в якості енергоносія холодної води відбувається охолодження повітряного середовища в приміщенні.

Агрегати Roof Vent LHW складаютьсяться із двох блоків – верхнього і нижнього. У верхньому блоці – розміщені приточний відцентровий вентилятор (рис. 150) з подвійним всмоктувальним патрубком і безпосереднім приводом від електродвигуна, витяжний вентилятор, пластинчастий теплообмінник для рекуперації тепла, виконаний з алюмінієвих пресованих пластин, збірник конденсату; повітряні клапани, фільтр очищення поступаючого зовнішнього повітря. Нижній блок встановлюється усередині приміщення і включає секцію фільтра, секцію повітронагрівача або повітроохолоджувача і повітророзподільник, який забезпечує рівномірний розподіл повітряного потоку.

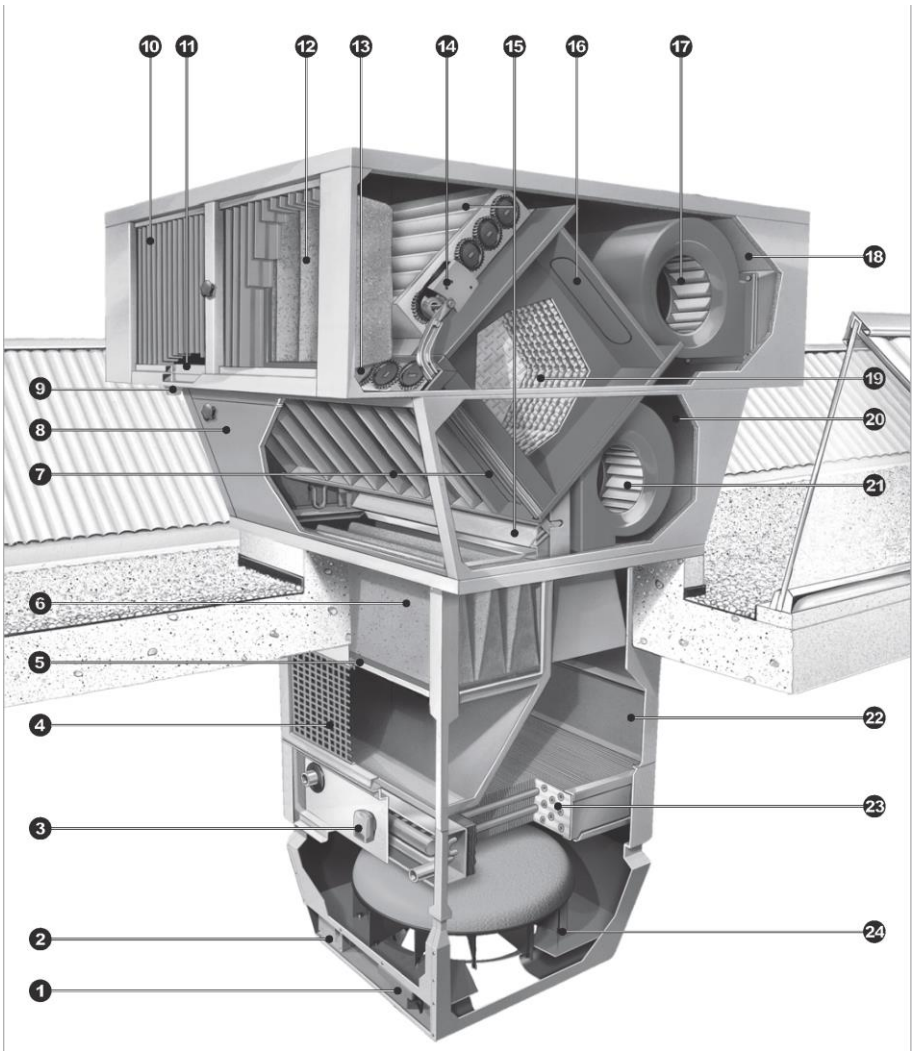


Рис.149. Вентиляційний агрегат Roof Vent LHW: 1- привід повітророзподільника, що регулює напрямок повітряного приточного потоку; 2 – електроконтактна коробка; 3- термостат захисту калорифера від обмерзання; 4- витяжні отвори; 5 - датчик температури витяжного повітря; 6 - фільтр витяжного повітря; 7 - повітряний клапан пластинчастого теплообмінника, що регулює рекуперацію енергії витяжного повітря; Інспекційна панель; 8 – панель фільтру; 9 - вимикач вентиляторів; 10 – повітрозабірні жалюзі; 11- контролер керування; 12 - фільтр приточного повітря; 13 – клапан приточного повітря; 14 – привід клапана приточного повітря; 15 - клапан приточного повітря;16 - гравітаційний клапан: закриває лінію подачі приточного повітря, коли агрегат вимкнено, та запобігає втратам тепла; 17 - витяжний відцентровий вентилятор; 18 - захисна панель; 19 - пластинчастий теплообмінник для рекуперації тепла; 20 - інспекційна панель вентилятора; 21 – приточний відцентровий вентилятор; 22 - інспекційна панель повітронагрівача; 23 – повітронагрівач; 24 - датчик температури повітря.

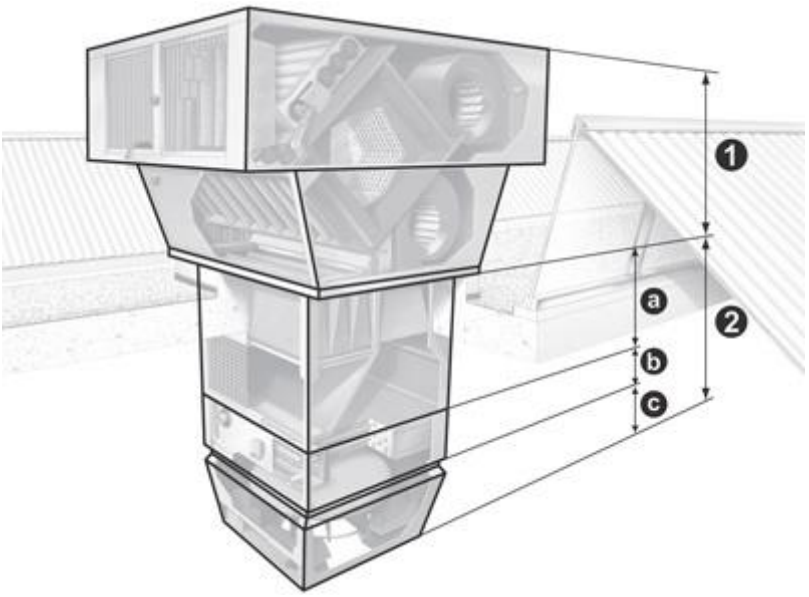


Рис.150. Встановлення вентиляційного агрегату Roof Vent LHW на даху виробничого приміщення: 1 - верхня частина (даховий блок з пластинчастим рекуператором); 2 - нижня частина (а - секція фільтра; Ь - секція повітронагрівача; с - розподільник повітря).

Зовнішнє повітря, яке забирається приточним вентилятором, проходить через фільтр і подається на нагрівальний теплообмінник (рис. 149). Якщо потреба у подаванні свіжого повітря відсутня (наприклад, уночі або при підігріві вранці), опалення відбувається в режимі рециркуляції, щоб дозволяє скоротити енергетичні витрати. Витрата приточного повітря регулюється клапаном зовнішнього повітря. Повітря, яке відсмоктується витяжним вентилятором із приміщення проходить через фільтр, а потім поступає до пластинчастого теплообмінника.

До основних переваг використання агрегатів Roof Vent LHW в ливарних цехах відноситься:

– енергозбереження за рахунок високоефективної рекуперації тепла витяжного повітря;
– відсутність приточних і витяжних повітроводів;
– забезпечення комфортного повітророзподілення без відчуття протягів;
– централізоване автоматичне керування мікрокліматом у приміщенні;
– простота адаптації системи до різних робочих умов ливарного цеху;
– економія корисної площі і фінансових витрат завдяки монтажу агрегатів під стелею.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ТА КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

1. Назвіть основні напрямки енерго- та ресурсозбереження в ливарному виробництві?
2. Назвіть переваги та недоліки плаки в індукційних печах. Переваги середньочастотної плавки.
3.Від чого залежить глибина охолоджування відхідних газів теплотехнічних агрегатів в котлах-утилізаторах?
4.У чому полягає основна відмінність газотрубних від водотрубних котлів - утилізаторів?
5.Будова та призначення економайзерів на виробничих підприємствах.
6. Відпрацьовані формувальні суміші, їх використання.
7. Способи регенерації відпрацьованих сумішей.
8.Особливості регенерації формувальних сумішей з різними в’яжучими.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1.Альтернативна енергетика: навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. / М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, І.П. Григорюк, В.М. По ліщук, Г.А. Голуб, В.С. Таргоня, С.В. Драгнєв, І.В. Свистунова, С.М. Кухарець. – К: «Аграр Медіа Груп», 2012. – 244 с.

2.Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України, ІВЕ НАН України, 2020, - 163 с.

3.Бакалін Ю. І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент : навч. посібник / Ю. І. Бакалін. – 3-тє вид., доп. та переробл. – Харків : Бурун і К, 2006. – 320 с.

4.Берзіна С.В., Капотя Д.Ю., Бузан Г.С. Екологічна сертифікація та маркування. Методичний довідник. – К.: вид-во Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. – 114 с.

Боровий М.О., Куницький Ю.А., Каленик О.О., Овсієнко І.В.,Цареградська Т.Л.

5.Бернадинер М. Н. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов / М. Н. Бернадинер, А. П. Шурыгин. - М.:Химия, 1990. – 301 с.

6.Буркинський Б.Еколгічно чисте виробництво. Наукові засади впровадження та розвитку / Вісн. НАН України, 2006, № 5 с.11-

7.Вайцзеккер Э., Ловинс Э., Ловинс Л. Фактор четыре. Затрат — половина, отдача — двойная. Новый доклад Римскому клубу. / М.: Academia, 2000. - 400 с.

8.Войцицький А. П. Техноекологія: підручник / Войцицький А.П., Дубровський В.П., Боголюбов В.М. ; за ред. В. М. Боголюбова. − К.: Аграрна освіта, 2009. – 533 с.

9. Основні засади впровадження моделі «зеленої» економіки в Україні: навч. посіб. / Т.П. Галушкіна, Л.А. Мусіна, В.Г. Потапенко та ін. ; за наук. ред.Т.П. Галушкіної. – К. : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. – 154 с.

10.Гічов Ю.О., Бойко В.М., Адаменко Д.С. Котли-утилізатори та їх тепловий розрахунок: Навч. посібник. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2004. – 46 с.

11.Гутаревич Ю. Ф., Зеркалов Д. В., Говорун А. Г., Корпач А. О., Мержиєвська Л. П. Екологія та автомобільний транспорт: Навчальний посібник. - К.: Арістей, 2006. – 292 с.

12.Дудюк Д. Л. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі : навч.

посіб. / Д. Л. Дудюк, С. С. Мазепа, Я. М. Гнатишин. – Львів: Магнолія 2009. – 188 с.
13.Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі / Т. О. Бурячок, З. Ю. Буцьо, Г. Б. Варламов, С. В. Дубовськой, В. А. Жовтянський; Наук. ред. В. Н. Клименко, Ю. О. Ландау, І. Я. Сігал.– 2013.– 390 с.
14.Зеркалов Д. В. Екологічна безпека та охорона довкілля. Монографія. – К.: Основа, 2012. – 514 с.
15.Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Шидловський А. К., ред. – К. : Укр. енциклопед. знання, 2007. – 560 с.
16.Калетник Г.М. Розвиток ринку біопалив в Україні: Монографія / Калетник Г.М. -К. : Аграрна наука, 2010. - 464с.
17.Клименко В.В., Кравченко В.І., Телюта Р.В. Енергозбереження в теплотехнологічних процесах та установках. Навчальний посібник: Кропивницький. – ПП Ексклюзив Систем, 2020. - 212 с.
18.Ковтун Г.П., Веревкин А.А. Наноматериалы: технологии и материаловедение: Обзор. - Харьков: ННЦ ХФТИ, 2010. - 73 с.
19.Колонтаєвський Ю. П. Фотоенергетика : навч. посібник / Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай, С. В. Котелевець ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. –160 с.
20.Колосов, О. Є. Високоефективні засоби приготування біопалива / О. Є. Колосов, Г. Л. Рябцев, В. І. Сівецький, Д. Е. Сідоров, С. О. Пристайлов. – К. : Січкар, 2010. – 152 с.
21. Кононенко О.Ю. Актуальні проблеми сталого розвитку: навчально-методичний посібник / О.Ю. Кононенко. –К.: ДП «Прінт сервіс», 2016. – 109 с.
22.Краснянский М. Е.К 78 Энергосбережение.Учебное пособие.Харьков: «Бурун КНИГА», 2014. -126 с.
23.Кремнев Г. П. Ресурсо- и енергосберегающие технологии в машиностроении : учебное пособие / Г. П. Кремнев, Ф. В. Новиков. – Д. : ЛИРА, 2016. – 297 с.
24. Куперман Л. И. Вторичные энергетические ресурсы и энерготехнологическое комбинирование в промышленности /Л. И. Куперман, С. А. Романовский, Л. Н. Сидельковский. Киев: Вища школа, 1986. - 303 с.
25.Куцова В.З., Котова Т.В., Аюпова Т.А. Наноматеріали та нанотехнології. Навч. посібник.. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. – 103 с.

26.Наноматеріали, нанотехнології, нанопристрої / Боровий М.О., Куницький Ю.А., Каленик О.О., Овсієнко І.В., Цареградська Т.Л. – Київ: «Інтерсервіс», 2015. – 350 с.
27.Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Ципленков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.
28.Основні засади впровадження моделі «зеленої» економіки в Україні :навч. посіб. / Т.П. Галушкіна, Л.А. Мусіна, В.Г. Потапенко та ін. ; за наук. ред.Т.П. Галушкіної. – К. : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. – 154 с.
29.Пізнання й досвід — шлях до сучасної енергетики / Є. Т. Базеєв, Г. Б. Варламов, І. А. Вольчин, С. В. Казанський, Л. О. Кесова; Наук. ред. Ю. О. Ландау, І. Я. Сігал, С. В. Дубовськой.– 2013.– 327 с.
30.Пономаренко О. І. Формувальні матеріали і суміші : лабораторний практикум / О. І. Пономаренко, Т. В. Берлізєва, Н. С. Євтушенко, І. А. Грімзін. – Харків : НТУ «ХПІ», 2019. – 64 с.
31.Розвиток теплоенергетики та гідроенергетики / Є. Т. Базеєв, Б. Д. Білека, Є. П. Васильєв, Г. Б. Варламов, І. А. Вольчин, Ю. Г. Дашкієв; Наук. ред. В. М. Клименко, Ю. О. Ландау, І. Я. Сігал.– 2013.– 399 с.
32.Самохвалов В. С. Вторинні енергетичні ресурси та енергозбереження :навч. посіб. / В. С. Самохвалов. – К. :Центр учбової літ., 2008. – 224 с.
33.Семенов В.Ф., Михайлюк О.Л, Галушкіна Т.П. та ін. Екологічний менеджмент. Навчальний посібник. - Київ, Центр навчальної літератури, 2004. - 516 с.
34.Системи екологічного управління: сучасні тенденції та міжнародні стандарти. Посібник /С.В. Берзіна, І.І. Яреськовська та ін. – К: Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. – 134 с.
35.Сушко Т. И. Ресурсо- и энергосбережение в литейном производстве: учеб. пособие / Т.И. Сушко, А.Т. Кучер. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2012. - 179 с.
36.Титко Р. Відновлювальні джерела енергії (досвід Польщі для України) : навч. посіб. / Р. Титко, В. М. Калініченко. –Варшава : Краків : Полтава : OWG, 2010. – 531 с.
37.Халатов А.А. Енергетика України: сучасний стан і найближчі перспективи. Вісн. НАН України, 2016, № 6, с.53 - 61.

38.Хільчевський В. К., Забокрицька М. Р., Кравчинський Р. Л. Екологічна стандартизація та запобігання впливу відходів на довкілля : навч. посібник – К. : ВПЦ "Київський університет", 2016. – 192 с.
39.Федіна І. В. . Енергозбереження при виробництві чорних та кольорових металів // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві, 2014. - №4(9) – С. 152 – 159.
40.Шевчук В.Я. Екологічний аудит: Посібник з екологічного менеджменту і екологічного аудиту –К.: Символ-Т, 1997. – 221 с.
41.Boyett J.H., Boyett J.T. Management-Guide: Die Top-Ideen der Management-Gurus. – München: Econ, 1999. – 399 S.

Посилання на онлайн-ресурси

1.Принципи та практики ресурсоефективного виробництва: посібник для кращого бізнесу
http://recpc.kpi.ua/images/eap_green/printed_materials/RECP-Primer-2017.pdf
2.Посібник з впровадження методики ресурсоефективного та більш чистого виробництва
http://www.recpc.org/wp-content/uploads/2018/02/Posibnik_CentrREChV_14-05-17_Prew.pdf
3.Довідник «Кращі практики з підвищення ресурсоефективності»
http://www.recpc.org/wp-content/uploads/2018/02/Katalog_2017_view-3.pdf
4.Впровадження низьковитратних заходів
http://www.recpc.org/wp-content/uploads/2018/02/IFC_UNIDO_Lowcost-measures.pdf
5.Вода як інструмент концепції більш чистого виробництва
http://www.recpc.org/wp-content/uploads/2018/02/Metodichka_CREChV_12-03-16_prev.pdf
6.Довідник з ресурсоефективного виробництва для галузі будівельних матеріалів
http://recpc.kpi.ua/images/eap_green/printed_materials/RECP-Guidefor-construction-materials-sector-2017-UKR.pdf
7.Довідник з ресурсоефективного виробництва для молочної галузі
http://recpc.kpi.ua/images/eap_green/printed_materials/RECP-Guidefor-dairy-2017-UKR.pdf
8. Довідник з ресурсоефективного виробництва при поводженні з хімічними речовинами

http://recpc.kpi.ua/images/eap_green/printed_materials/RECP-Guide-Chemicals-Treatment-2017.pdf
9.Ресурсоефективні методи господарювання в виробництві бетону в Україні
http://recpc.kpi.ua/images/eap_green/leaflets/Pocket%20Guide_Cement%20Industry.pdf
10.Впроваджені на підприємствах України заходи з ресурсоефективного та чистого виробництва: за результатами демонстраційного РЕЧВ-проекту програми EaP GREEN
http://recpc.kpi.ua/images/eap_green/printed_materials/RECP-optionsimplemented-2017.pdf
11.Впровадження ресурсоефективного та чистого виробництва на підприємствах України 2015-2016
http://recpc.kpi.ua/images/eap_green/printed_materials/Business%20cases%20UA%202016%20EaP%20GREEN%20ukr.pdf
12.Впровадження ресурсоефективного та чистого виробництва на підприємствах України 2014
http://recpc.kpi.ua/images/eap_green/leaflets/business%20case%2014%20ukr.pdf
13.Оцінка ресурсоефективності підприємств
http : / /www. recpc.org/wp-content /uploads/2018/02/ Katalog_ 2016_10_11-1.pdf
14.Біодизель та біоетанол
http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/5143/1/Biodizel_TM6.pdf