

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ДВНЗ «ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ»**

**СИСТЕМИ ГЕНЕРАЦІЇ, НАКОПИЧЕННЯ ТА ТРАНСФОРМАЦІЇ
СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
БУДІВЕЛЬ І СПОРУД**

Колективна монографія

**За загальною редакцією
д-ра техн. наук, професора Миколи Савицького**

**Дніпро
2021**

УДК 621.311.243+536

С 95

Рекомендовано до друку Вченою радою ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (Протокол №7 від 28.12.2021 р.)

Авторський колектив:

Микола Савицький, д.т.н., проф., головний редактор; **Світлана Шехоркіна**, д.т.н., доц., г.н.с.; **Марина Бордун**, PhD, с.н.с.; **Владислав Данішевський**, д.т.н., проф. г.с.н.; **Олександр Адегов**, к.т.н., доц., с.н.с.; **Олександр Конопляник**, к.т.н., доц., с.н.с.; **Євген Юрченко**, к.т.н., доц., с.н.с.; **Марина Ляховецька-Токарєва**, к.т.н., доц., с.н.с.; **Олександр Козенко**, інженер-будівельник, **Віталій Спиридоненков**, інженер-будівельник.

Рецензенти:

Назаренко І. І., д-р техн. наук, професор, президент Академії будівництва України;

Ніколаєнко С. М., д-р пед. наук, професор, ректор Національного університету біоресурсів і природокористування України;

Фаренюк Г. Г., д-р техн. наук, професор, директор Державного підприємства «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій».

Системи генерації, накопичення та трансформації сонячної енергії для ефективного енергозабезпечення будівель і споруд:

С 95 колективна монографія / М. Савицький, С. Шехоркіна, М. Бордун [та ін.]; за заг. ред. д-ра техн. наук, проф. М. Савицького. – Дніпро: ФОП Удовиченко О.М., 2021. – 356 с.

ISBN_978-966-323-226-3

У колективній монографії представлені результати досліджень щодо генерації, накопичення та трансформації сонячної енергії, обґрунтовано технічне рішення високофункціональної системи генерації, накопичення та трансформації сонячної енергії для енергозабезпечення будівель та споруд. Приведено дані щодо характеристик роботи сонячної електростанції ДВНЗ ПДАБА. Розроблено технічне рішення електричного теплоакumuлюючого нагрівача, що використовує електричну енергію, отриману від альтернативного відновлюваного джерела енергії (сонячних фотовольтаїчних батарей). Запропоновано та експериментально досліджено матеріали для теплоакumuлюючого нагрівача, які виробляються на території України та з використанням відходів виробництва (жаростійкого бетону на зв'язуючому з рідкого скла).

УДК 621.311.243+536

© Савицький М. В., 2021

© ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», 2021

ЗМІСТ

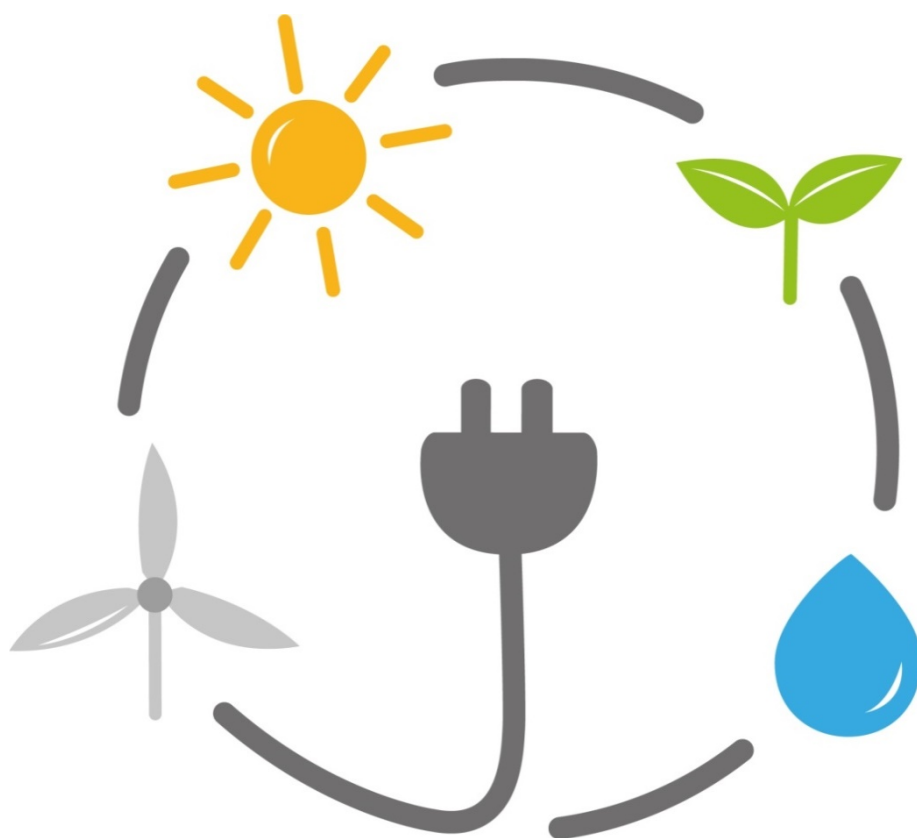
РОЗДІЛ 1.ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ.....	7
1.1. Зміни клімату та відновлювані джерела енергії	8
1.2. Види відновлюваних джерел енергії.....	10
1.2.1. Гідроенергія	12
1.2.2. Енергія вітру	15
1.2.3. Сонячна енергія	19
1.2.4. Енергія біомаси (біоенергія).....	24
1.2.5. Геотермальна енергія	28
1.3. Відновлювана енергетика в Україні	32
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 1	34
РОЗДІЛ 2.СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ ДЛЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД	36
2.1. Енергія сонця для будівель і споруд.....	37
2.2. Сонячне опалення.....	40
2.2.1. Пасивні системи сонячного опалення	41
2.2.2. Активні системи сонячного опалення	45
2.3. Типи сонячних колекторів	47
2.4. Акумулявання теплової енергії	49
2.5. Сонячне охолодження	53
2.5.1. Активні системи сонячного охолодження	53
2.5.2. Пасивне сонячне охолодження	60
2.6. Сонячні електростанції для індивідуальних будівель	65
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 2	71
РОЗДІЛ 3.ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ	73
3.1. Основні фактори, що впливають на ефективність сонячних панелей	74
3.2. Оцінка майданчика для встановлення індивідуальних сонячних електростанцій.....	75
3.3. Залежності для дослідження радіаційного режиму світлопрозорих поверхонь	78
3.4. Методика розрахунку сонячної електростанції	82
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 3	90
РОЗДІЛ 4. НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ	92
4.1. Види акумуляції енергії	93
4.2. Зберігання викопного палива	94
4.2.1. Вугілля	94
4.2.2. Нафта.....	97

4.2.3.	Зберігання газу	99
4.3.	Механічне зберігання енергії	106
4.3.1.	Пневматичний акумулятор.....	106
4.3.2.	Безтопковий паровоз.....	107
4.3.3.	Супермаховик.....	108
4.3.4.	Гравітаційна потенціальна енергія	111
4.3.5.	Гідроакумулятор	114
4.3.6.	Гідроакумуляююча електростанція.....	115
4.4.	Електричні, електромагнітне акумулювання енергії.....	117
4.4.1.	Електричний конденсатор	117
4.4.2.	Суперконденсатор.....	119
4.4.3.	Надпровідниковий магнітний акумулятор.....	121
4.5.	Біологічний спосіб накопичення енергії	125
4.5.1.	Глікоген.....	125
4.5.2.	Крохмаль.....	127
4.6.	Електрохімічний.....	130
4.6.1.	Акумуляторна батарея	130
4.6.2.	Проточний акумулятор	132
4.6.3.	UltraBattery.....	135
4.7.	Тепловий	141
4.7.1.	Акумулятор тепла	141
4.7.2.	Технологія накопичення криогенної енергії.....	144
4.7.3.	Кріогенний двигун	147
4.7.4.	Евтектична система.....	151
4.7.5.	Акумулятор холоду.....	153
4.7.6.	Фазовий перехід речовини	155
4.7.7.	Сезонне зберігання теплової енергії.....	159
4.7.8.	Сонячний ставок.....	160
4.7.9.	Паровий акумулятор	162
4.7.10.	Зберігання теплової енергії	164
4.8.	Хімічний.....	170
4.8.1.	Біопаливо	170
4.8.2.	Гідратовані солі.....	180
4.8.3.	Зберігання водню	181
4.8.4.	Перекис водню	188
4.8.5.	Технологія «Потужність до газу» - Power-to-Gas (P2G).....	190
4.8.6.	Оксид ванадію (V) - Vanadium(V) oxide	195
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 4.....		197

РОЗДІЛ 5. КОМБІНОВАНІ ТА ГІБРИДНІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТА- ЧАННЯ НА БАЗІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	220
5.1. Комбінації відновлюваних джерел енергії вде для надійного виробництва енергії.....	221
5.2. Короткий огляд принципів роботи теплонакопичувача, теплоаккумулятора в комплексі системи опалення.....	234
Висновки до розділу 5.....	239
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 5	241
РОЗДІЛ 6. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ЕНЕРГО-ІННОВАЦІЙНОГО ХАБУ ПДАБА	242
Висновки до розділу 6.....	249
РОЗДІЛ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА "TECHNOTHERM"	250
Висновки до розділу 7.....	279
РОЗДІЛ 8. РОЗРОБКА МАТЕРІАЛІВ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ТЕПЛОАКОПИЧУВАЧІВ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА	280
8.1. Матеріали та методика проведення випробувань.....	281
8.2. Результати дослідження властивостей жаростійких бетонів.....	284
Висновки до розділу 8.....	287
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 8	288
РОЗДІЛ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА	289
9.1. Загальні положення	291
9.2. Характеристика вихідних матеріалів та технологія виготовлення сумішей	291
9.3. Методика проведення випробувань	292
9.4. Результати випробувань.....	294
9.4.1. Результати першого етапу випробувань.....	294
9.4.2. Результати другого етапу випробувань.....	296
9.4.3. Результати третього етапу випробувань	299
9.4.4. Результати четвертого етапу випробувань.....	302
9.4.5. Результати п'ятого етапу випробувань.....	305
9.5. Визначення необхідної товщини теплоізоляційних конструкційних плит	310
Висновки до розділу 5.....	316
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 9	318

РОЗДІЛ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА.	319
10.1. Конструктивні особливості статичного теплоаккумуляційного нагрівача	320
10.2. Експериментальне визначення питомої теплоємності теплоакуюлюючих каменів різних виробників	323
10.2.1. Визначення теплоємності твердого тіла	323
10.2.2. Основні прилади для визначення температури теплоаккумуляційного каміння при їх нагріванні.....	325
10.2.3. Експериментальне визначення теплоємності теплоаккумуляційного каміння	328
10.2.4. Результати експериментального визначення температури нагрівання теплоаккумуляційного каміння, визначення питомої теплоємності теплоакуюлюючого каміння	335
Висновки до розділу 10.	350
РОЗДІЛ 11. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРІВ.....	351
11.1. Переваги теплоаккумуляційного опалення на електричній енергії у порівнянні з іншими системами опалення	352
11.2. Техніко-економічний розрахунок для оцінки економії від застосування теплонакопичувача	352
Висновки до розділу 11	354
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 11	355

РОЗДІЛ 1.
ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ



1.1. Зміни клімату та відновлювані джерела енергії

Глобальні кліматичні зміни пришвидшуються через зростаючу щоденну потребу в енергії населенням у всьому світі, тоді як планета Земля не може адаптуватися для задоволення цих потреб. Потреба в енергії та пов'язаних з нею послугах для задоволення соціального та економічного розвитку, добробуту та здоров'я людини зростає. Енергія різних видів необхідна для задоволення основних потреб людини, таких як освітлення, приготування їжі, комфорт простору, мобільність та спілкування, і служать як генеративні процеси. Забезпечення енергопостачання та обмеження впливу енергії, що виробляється, на зміну клімату – це два комплексні завдання енергетичного сектору на шляху до сталого майбутнього.

Домінування виробництва енергії на основі викопного палива (вугілля, нафта та газ) та експоненційне збільшення населення за останні десятиліття призвели до зростання попиту на енергію, що призвело до глобальних проблем, пов'язаних із швидким зростанням викидів вуглекислого газу (CO₂). Значна зміна клімату стала однією з найбільших проблем двадцять першого століття. Його серйозних наслідків все ще можна уникнути, якщо докладати зусиль для трансформації існуючих енергетичних систем. Поновлювані джерела енергії мають ключовий потенціал для зменшення викидів парникових газів від виробництва енергії на основі викопного палива.

Сталий розвиток став центром останніх національних політик, стратегій і планів розвитку багатьох країн. Генеральна Асамблея Організації Об'єднаних Націй запропонувала набір глобальних цілей сталого розвитку (ЦСР), який включав 17 цілей і 169 завдань, представлених відкритою робочою групою на засіданні ООН у Нью-Йорку у березні 2015 року. Крім того, було введено попередній набір із 330 показників сталого розвитку. ЦСР висувають вимоги до розвитку суспільства в галузях боротьби зі зміною клімату, впровадження відновлювані джерела енергії, харчування, здоров'я та водопостачання, що вимагає скоординованого глобального моніторингу та моделювання багатьох факторів, які є соціально, економічно та екологічно орієнтованими.

Дослідження альтернативних джерел енергії почалися наприкінці 90-х, коли світ почав отримувати шок від видобутку нафти з точки зору зростання цін. У літературі доведено, що заміна джерел енергії на основі викопного палива на відновлювані джерела енергії, що включає: біоенергію, сонячну енергію, геотермальну енергію, гідроенергію, енергію вітру та океану (припливів і хвиль) поступово допомогли б світу досягти цілей сталого розвитку.

Таким чином, відновлювані джерела енергії зазвичай очолюють список змін, які світ може запровадити, щоб запобігти найгіршим наслідкам підвищення температури. Це пов'язано з тим, що відновлювані джерела

енергії, такі як сонце та вітер, не виділяють вуглекислий газ та інші парникові гази, які сприяють глобальному потеплінню.

Чиста енергія може дати суспільству набагато більше, ніж просто бути «зеленою» та безпечною для навколишнього середовища. Зростання цього сектору економіки створює робочі місця, робить енергетичні мережі більш стійкими, розширює доступ до енергії в країнах, що розвиваються, і допомагає знизити рахунки за енергію. Усі ці фактори сприяли ренесансу відновлюваної енергетики в останні роки, коли вітрова та сонячна генерація встановили нові рекорди у виробництві електроенергії.

Протягом останніх 150 років люди в значній мірі покладалися на вугілля, нафту та інше викопне паливо для живлення всього, від лампочок до автомобілів і заводів. Викопне паливо впроваджено майже у все, що ми робимо, і в результаті парникові гази, що виділяються при спалюванні цього палива, досягли історично високих рівнів.

Незважаючи на глобальні зусилля щодо боротьби зі зміною клімату, включаючи знакову Паризьку кліматичну угоду 2015 року, викиди вуглекислого газу від викопного палива продовжують зростати, досягнувши рекордного рівня у 2018 році. Як наслідок, середня температура Землі зростає майже вдвічі швидше, ніж 50 років тому.

Існує кілька парникових газів, які відповідають за потепління, і люди виділяють їх різними способами. Більшість походить від спалювання викопного палива в автомобілях, будівлях, заводах і електростанціях. Газ, відповідальний за найбільше потепління, - це вуглекислий газ, або CO₂. Інші внески включають метан, що виділяється зі сміттєзвалищ, природного газу та нафтової промисловості, а також сільського господарства (особливо з травної системи пасовищних тварин); закис азоту з добрив; гази, що використовуються для холодильних та промислових процесів; і втрата лісів, які в іншому випадку зберігали б CO₂.

Коли ті гази, які люди додають в атмосферу Землі, утримують тепло, це називається «парниковий ефект». Гази пропускають світло, але потім утримують велику частину тепла, що випромінюється від поверхні, від втечі назад у космос, як скляні стіни теплиці. Чим більше парникових газів в атмосфері, тим більш драматичний ефект і тим більше потепління відбувається.

Нинішні рівні парникових газів двоокису вуглецю, метану та закису азоту в нашій атмосфері вищі, ніж будь-коли за останні 800 000 років, і їх здатність утримувати тепло змінює наш клімат різними способами.

Оскільки парникові гази затримують тепло в атмосфері, яке в іншому випадку витікало б у космос, середні температури на поверхні зростають. Глобальне потепління є одним із симптомів зміни клімату, яким зараз вчені вважають за краще описувати складні зміни, що впливають на погоду та кліматичні системи нашої планети. Багато людей вважають глобальне потепління та зміну клімату синонімами, але вчені вважають за краще використовувати «зміни клімату», описуючи складні зміни, які зараз

впливають на погоду та кліматичні системи нашої планети. Зміна клімату охоплює не тільки підвищення середніх температур, але й екстремальні погодні явища, зміну популяцій дикої природи та середовищ існування, підвищення рівня моря та низку інших впливів.

Підвищення рівня моря також є одним із наслідків зміни клімату. Середній рівень моря піднявся на 8 дюймів (близько 23 см) з 1880 року, приблизно три з цих дюймів піднялися за останні 25 років. Щороку море піднімається ще на 0,13 дюйма (3,2 мм).

Звичайно, відновлювані джерела енергії, як і будь-яке джерело енергії, мають свої власні компроміси та пов'язані з ними дискусії. Одна з них зосереджена на визначенні відновлюваної енергії. Строго кажучи, відновлювана енергія — це саме те, що ви можете подумати: постійно доступна або «практично невичерпна». Але «відновлюваність» не обов'язково означає стійкість, як часто стверджують противники етанолу на основі кукурудзи або великих дамб гідроелектростанцій. Цей термін також не охоплює інші ресурси з низьким рівнем викидів або нульовими викидами, які мають своїх захисників, зокрема енергоефективність та ядерну енергетику.

1.2. Види відновлюваних джерел енергії

Більшість джерел енергії, які сьогодні використовуються людством, є невідновлюваними:

- ✓ Нафта
- ✓ Вуглеводневі газоподібні рідини
- ✓ Природний газ
- ✓ Вугілля
- ✓ Атомна енергія

Ці джерела енергії називають невідновлюваними, оскільки їх запаси обмежені кількостями, які ми можемо видобути або видобути з землі (рис.1.1.). Вугілля, природний газ і нафта утворилися протягом тисячоліть із похованих останків стародавніх морських рослин і тварин, які жили мільйони років тому. Тому ми також називаємо ці джерела енергії викопним паливом.

Більшість нафтопродуктів, які споживаються в Сполучених Штатах, виробляються із сирової нафти, але нафтові рідини також можуть бути виготовлені з природного газу та вугілля.

Ядерна енергія виробляється з урану, невідновлюваного джерела енергії, атоми якого розщеплюються (за допомогою процесу, який називається ядерним поділом), щоб створити тепло і, зрештою, електрику. Вчені вважають, що уран був створений мільярди років тому, коли утворилися зірки. Уран зустрічається по всій земній корі, але більшу

частину його видобувати та переробляти на паливо для атомних електростанцій занадто складно або надто дорого.

Зростання світової потреби в енергії разом зі збільшенням населення призвели до безперервного використання джерел енергії на основі викопного палива (вугілля, нафти та газу), що створило ряд викликів, таких як: виснаження запасів викопного палива, викиди парникових газів та інші екологічні проблеми. Це в свою чергу стало причиною призвело до постійних коливань цін на паливо, «паливної бідності» та навіть виникнення геополітичних та військових конфліктів. В кінцевому підсумку ці проблеми призведуть до потенційно незворотної загрози для людського суспільства.

Відновлювані джерела енергії розглядаються як чисті ресурси. Оптимальне використання цих ресурсів зменшує вплив на навколишнє середовище та створює мінімум вторинних відходів. Відновлювані джерела енергії є стійкими з точки зору поточних і майбутніх економічних і соціальних потреб. Відновлювані джерела енергії формують стійку енергетику, яку можна представити як «динамічну гармонію між справедливою доступністю енергоємних товарів і послуг для всіх людей і збереженням Землі для майбутніх поколінь».

Існує п'ять основних відновлюваних джерел енергії, основними видами або джерелами яких є (рис.1.1.):

- ✓ Гідроенергія від проточної води
- ✓ Енергія вітру
- ✓ Сонячна енергія
- ✓ Геотермальна енергія від тепла всередині землі
- ✓ Біомаса з рослин

Їх називають відновлюваними джерелами енергії, оскільки вони поповнюються природним шляхом. День за днем світить сонце, ростуть рослини, дме вітер, течуть річки.

Джерела відновлюваної енергії значно скорочують викиди парникових газів порівняно з викопним паливом.

Надійне енергопостачання є важливим у всіх економіках для опалення, освітлення, промислового обладнання, транспорту тощо. Оскільки відновлювані джерела енергії отримуються природним шляхом із постійних потоків енергії в нашому оточенні, вони мають бути стійкими. Щоб відновлювана енергія була стійкою, вона має бути безмежною та забезпечувати безпечну доставку екологічних товарів та послуг. Наприклад, стійке біопаливо не повинно збільшувати викиди CO₂, негативно впливати на продовольчу безпеку або загрожувати біорізноманіттю.

Незважаючи на визначні переваги відновлюваних джерел енергії, існують також певні недоліки, наприклад, перерви виробництва через сезонні коливання. Оскільки більшість відновлюваних джерел енергії залежать від клімату та погодних умов, їх використання вимагає складних методів проектування, планування та оптимізації управління.

На щастя, безперервний технічний прогрес у галузі комп'ютерного обладнання та програмного забезпечення дозволяє справлятися з цими труднощами оптимізації, використовуючи обчислювальні ресурси, що застосовуються у сфері відновлюваних та стійких джерел енергії.

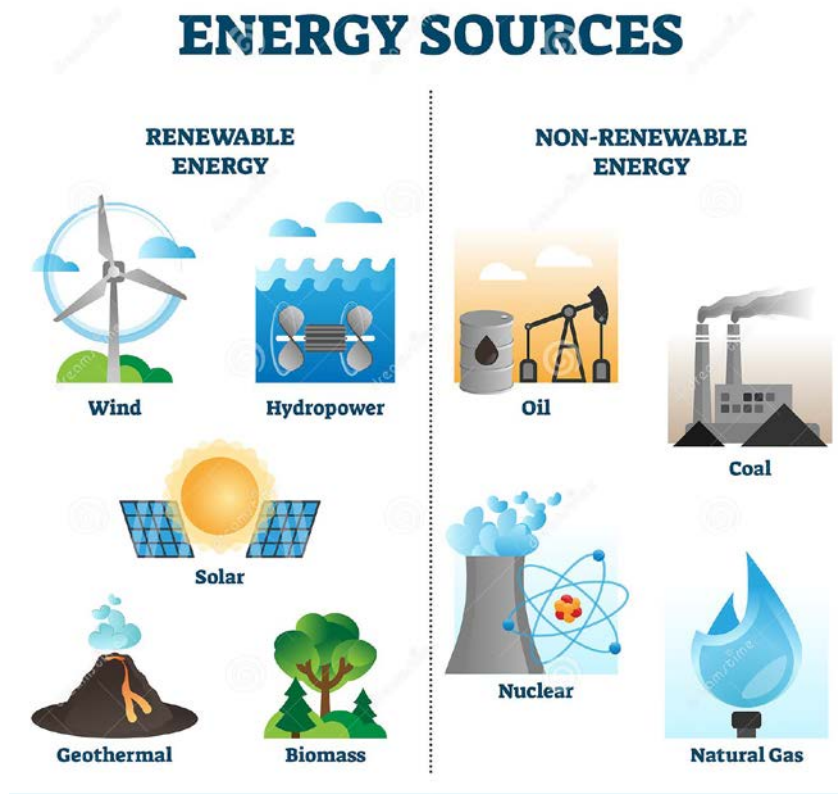


Рис. 1.1. Відновлювані і невідновлювані джерела енергії [1]

<https://thumbs.dreamstime.com/z/energy-sources-vector-illustration-collection-infographic-other-environment-related-content-graphical-assets-renewable-versus-173736392.jpg>

1.2.1. Гідроенергія

Протягом століть люди використовували енергію річкових течій, використовуючи дамби для контролю потоку води. Гідроенергетика є найбільшим джерелом відновлюваної енергії у світі. Річний технічний потенціал виробництва гідроенергії становить 14 576 ТВт·год, при оцінці загального потенціалу потужності 3 721 ГВт; але наразі глобальна встановлена потужність гідроенергетики набагато менша, ніж її потенціал. Згідно зі звітом Всесвітньої енергетичної ради, близько 50% встановленої потужності гідроенергетики припадає на чотири країни, а саме Китай, Бразилію, Канаду та США (World Energy Council, 2013) [2].

Гідроенергія отримується з води, що рухається з більш високих рівнів на нижчі, насамперед, для обертання турбін та вироблення електроенергії.

Гідроенергетичні проекти включають греблі з водосховищами, руслові та проточні станції та охоплюють проекти різного масштабу.

Гідроенергетичні технології є технічно зрілими, і в їх проектах використовуються ресурси, що тимчасово змінюються. Експлуатація гідровузлів часто відображає їх багатоцільове використання, наприклад, повені і боротьба із посухою, зрошення, питна вода та судноплавство.

Первинна енергія забезпечується силою тяжкості та висоти, де вода падає на турбіну (рис.1.2.). Потенційна енергія накопиченої води складається з маси води, сили тяжіння ($g=9,81$ м/с) та напору; визначається як різниця між рівнем греблі та рівнем нижнього б'єфу (б'єф – це частина річки, каналу, водосховища або іншого водного об'єкта, що примикає до гідротехнічної споруди).



Рис.1.2. Як працює гідроелектростанція [3]

<https://www.pinterest.com/pin/195343702574153441/>

Рівень водосховища певною мірою змінюється вниз при спуску води і, відповідно, впливає на вироблення електроенергії. На додатковий потік води розраховані турбіни. Гідроенергетика практично не виділяє твердих частинок, її можна швидко модернізувати і вона здатна накопичувати енергію протягом багатьох годин.

Виробництво гідроенергії не утворює парникових газів і тому в основному називається чистим джерелом енергії. Тим не менш, воно має свої переваги і недоліки. Так великі дамби можуть порушити річкові екосистеми, завдаючи шкоди дикій природі, та ближнім поселенням, оскільки при

будівництві гідроелектростанцій іноді потрібно переселення жителів. Виробництво гідроенергії вразливе до накопичення мулу, що може поставити під загрозу потужність та пошкодити обладнання. Значні проблеми в роботі також може викликати посуха. Експлуатація ділянок для гідроенергетики, таких як водосховища, які часто створюються штучно, призводить до затоплення навколишнього природного середовища. Крім того, вода дринується з озер і водотоків і транспортується по каналах на великі відстані, до трубопроводів і, нарешті, до турбін, які часто можна побачити, але вони також можуть проходити через гори через створені всередині них тунелі. Гідроелектростанції впливають на екологію річкового тіла, значною мірою викликаючи зміну його гідрологічних характеристик і порушуючи екологічну безперервність міграції риби через будівництво дамб і перегородок. Під час будівництва дамби затоплюються значні рослини або деревні покриви, коли рослини починають гнити у воді може виникнути утворення газу метану, який або вивільняється безпосередньо з поверхні води, або коли вода обробляється в турбінах.

Греблі — не єдиний спосіб використовувати воду для отримання електроенергії: проекти припливної та хвильової енергії в усьому світі мають на меті відловити природні ритми океану. На даний момент енергетичні морські проекти генерують приблизно 500 мегават електроенергії — менше одного відсотка всіх відновлюваних джерел — але потенціал набагато більший.

Перетворювачі з елементами, що гойдаються на воді (рис. 1.3.):

- ✓ Точкові перетворювачі
- ✓ Гідропневматичні перетворювачі
- ✓ Хвильові насоси
- ✓ Концентратори хвильової енергії

Водяні стовпи, що коливаються, являють собою перетворювальні пристрої з напівзавантаженою камерою, в яких над стовпом води утримується повітряна кишеня. Хвилі змушують колону діяти як поршень, переміщаючись вгору й униз і цим виштовхуючи повітря з камери і у неї. Цей безперервний рух створює реверсивний потік високошвидкісного повітря, який прямує через лопаті ротора, рухаючи повітряну турбогенераторну групу для виробництва електроенергії.

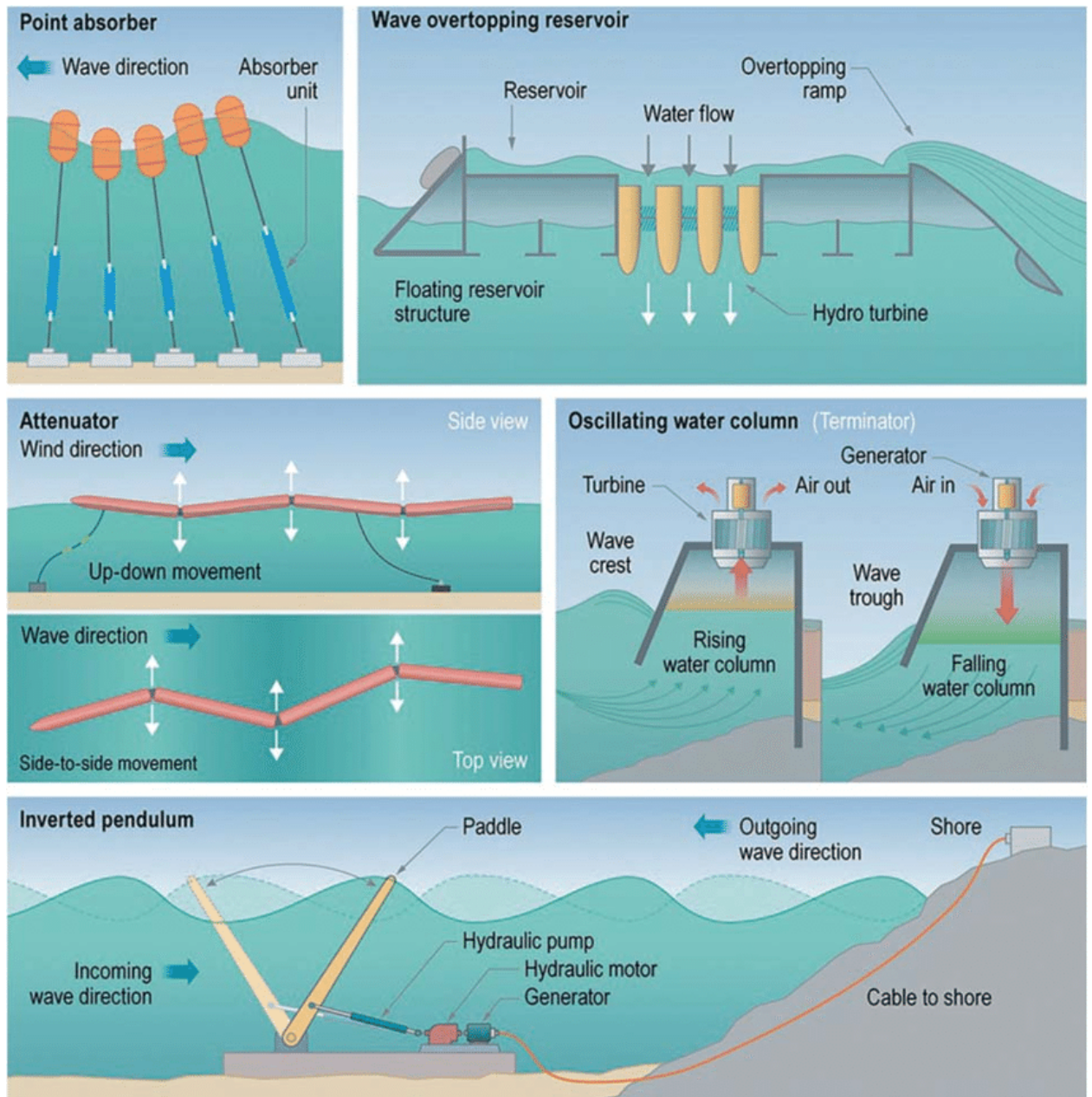


Рис. 1.3. Типові види перетворювачів хвильової енергії [4]

1.2.2. Енергія вітру

Використання вітру як джерела енергії почалося більше 7000 років тому. Вітер існує всюди на планеті, у деяких місцях із значною щільністю енергії. Зараз вітрові турбіни, що виробляють електроенергію, поширюються по всьому світу, а Китай, США та Німеччина є провідними виробниками вітрової енергії. З 2001 по 2017 рік сукупна потужність вітру в усьому світі зросла до понад 539 000 мегават з 23 900 МВт — більш ніж у 22 рази.

Вітроенергетика використовує кінетичну енергію руху повітря. Важливість застосування енергії вітру з точки пом'якшення наслідків зміни

клімату – це виробництво електроенергії за допомогою великих турбін, розташованих на березі (суша) або у морі (у морській чи прісній воді).

Вітер викликається перепадами тиску, створюваними нерівномірним нагріванням поверхні Землі сонцем. Випромінювання сонця змушує землю накопичувати теплову енергію. Повітря над землею також отримує теплову енергію та розширюється, стаючи менш щільним та піднімаючись вгору.

Цей рух викликає область низького тиску на поверхні, створюючи вакуум, що втягує повітря. Холодне, більш щільне повітря тече до області низького тиску на поверхні, щоб заповнити простір, залишений підігрітим нагрітим повітрям. Це створює конвекційний струм, а теплова енергія перетворюється на кінетичну механічну енергію у вигляді повітря або вітру, що рухається.

Вітряна турбіна перетворює механічну енергію вітру на електричну. Турбіна бере кінетичну енергію рідини, що рухається, в даному випадку повітря, і перетворює її в обертальний рух. Коли вітер проходить повз лопаті вітряної турбіни, він переміщає або обертає лопаті. Ці лопаті обертають генератор. Генератор працює як інверсія електродвигуна; замість того, щоб застосовувати електричну енергію для його повороту та створення механічної енергії, він використовує механічну енергію для обертання та створення електричної енергії. Кінетична механічна енергія рухомого вітру обертає лопаті вітряної турбіни, генератор всередині турбіни також обертається. Це змушує згорнутий дріт обертатися навколо магніту і створює електричний струм (рис. 1.4.).

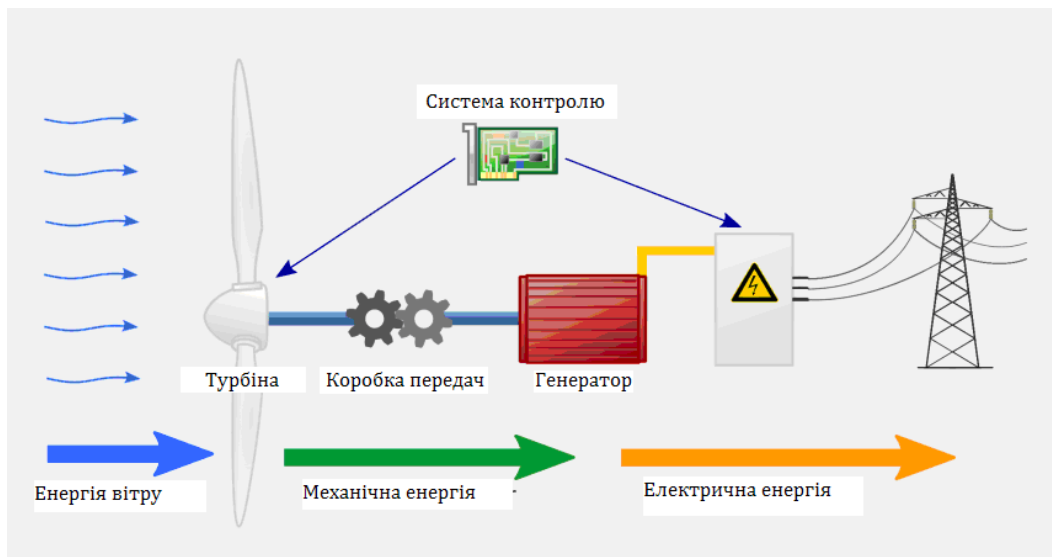


Рис. 1.4. Як перетворюється енергія вітру на електроенергію [5]

https://www.kindpng.com/imgv/hoJiRjB_wind-turbine-energy-diagram-png-download-wind-power/

Оскільки енергія не створюється і не руйнується, чим більше механічної енергії є на вході, тим більшим буде вихід енергії. Тобто, чим

швидше обертаються лопаті - тим більше електричної енергії буде створюватися турбіною.

Сьогодні існує два види генерації з використанням вітру - наземна та офшорна (або морська).

Наземні вітрові електростанції - це інфраструктури, які виробляють електричну енергію вітру, що виникає над земною поверхнею. Для встановлення таких вітрогенераторів підшукуються місця на пагорбах і висотах.

Вітряні електростанції зазвичай розташовуються в безлюдних сільських районах, далеко від міст і міст, щоб шум, який вони створюють, не турбував мешканців.

Вирішуючи, де побудувати вітрову електростанцію, слід враховувати кілька факторів:

- ✓ Вплив на навколишнє середовище.
- ✓ Енергетичний потенціал місцевості.
- ✓ Зміни простору, часу та вертикального вітру з роками.
- ✓ Геолого-геотехнічні умови ділянки.
- ✓ Екологічна, юридична та територіальна життєздатність, а також доступність місця розташування.

Переваги наземних вітрових електростанцій полягають в наступному:

- ✓ Вони є невичерпним джерелом чистої, безпечної, відновлюваної енергії;
- ✓ Вони скорочують споживання викопного палива, що допомагає запобігти зміні клімату;
- ✓ Відходів практично немає, вони не виробляють ні токсичного газу, ні радіації;
- ✓ Це мобільні установки, це означає, що ділянку можна відновити після демонтажу ферми.
- ✓ Витрати обслуговування вітряних турбін мінімальні.
- ✓ Вітряні ферми не заважають сільському господарству чи тваринництву навколо об'єктів.
- ✓ Вони створюють робочі місця.

До недоліків наземних вітрових електростанцій можна віднести їх громіздкий зовнішній вигляд та значний шум при роботі. Ще одна проблема вітрогенераторів полягає в тому, що вони становлять небезпеку для птахів і кажанів, вбиваючи сотні тисяч щорічно, через шум та вібрації створюється вплив на диких тварин, змушуючи їх змінювати середовище проживання.

Офшорна вітроенергетика – це розміщення вітряних електростанцій у водоймах. У відкритому морі швидкість вітру вища, ніж суші, тому вироблення електроенергії на морських фермах вище для встановленої потужності (рис.1.5.). Перша морська вітрова електростанція в США була відкрита в 2016 році в Род-Айленді, а інші офшорні проекти зараз набирають поширення.

На відміну від типового використання терміна «офшор» у морській промисловості, офшорна вітрова енергетика включає прибережні акваторії, такі як озера, фіорди, захищені прибережні, а також глибоководні райони. Більшість морських вітрових електростанцій використовують вітряні турбіни з нерухомим фундаментом на відносно мілководді. Окрім цього, новітніми розробками є плавучі вітрові турбіни для глибоких вод.

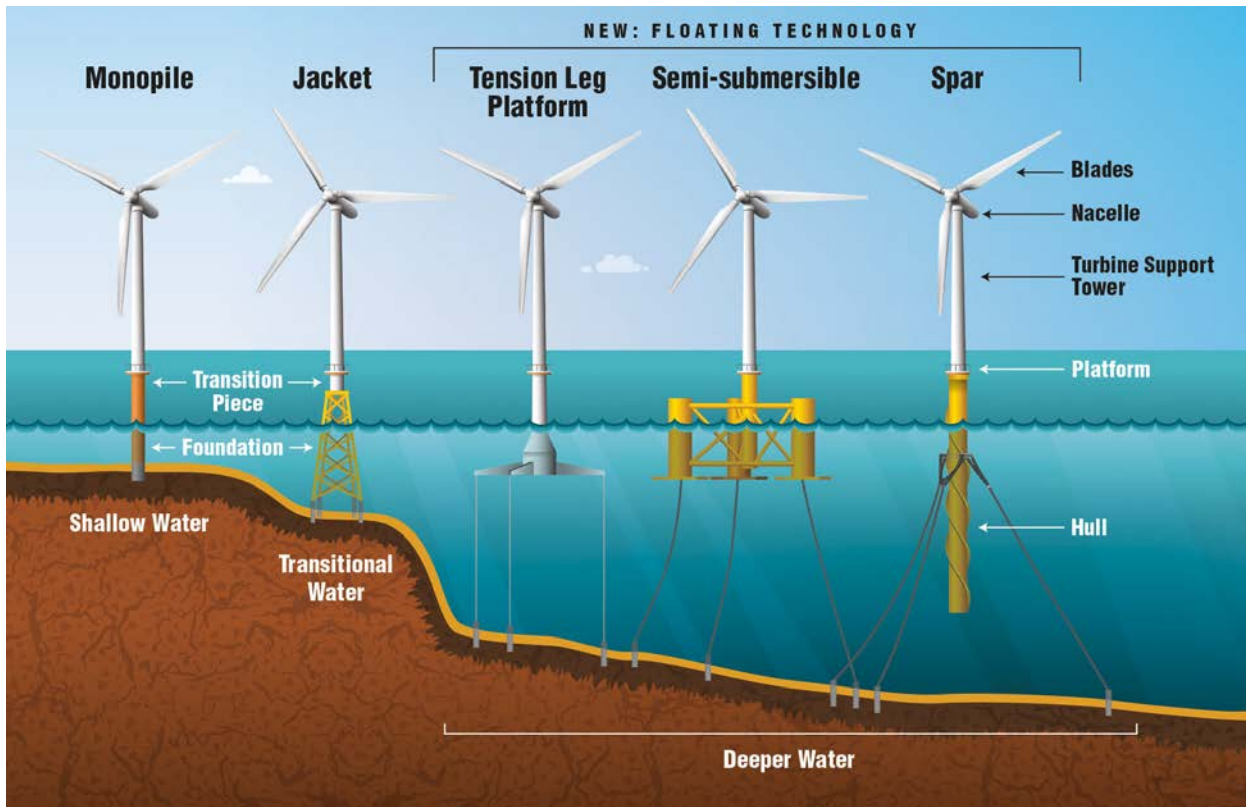


Рис.1.5. Види офшорних вітрових турбін [6]

<https://www.windpowerengineering.com/ready-to-float-a-permanent-cost-reduction-for-offshore-wind/>

Офшорні вітрові електростанції мають дуже низький потенціал щодо глобального потепління на одиницю виробленої електроенергії, порівняно з береговими вітрових електростанцій. Офшорні установки також мають переваги, пов'язані з меншим шумом та впливом на ландшафт порівняно з наземними станціями. Крім того, існують дані, що офшорні вітрові установки сприяли відновленню пошкоджених екосистем, функціонуючи як штучні рифи [7].

Хоча морська вітрова промисловість різко зросла за останні кілька десятиліть, все ще існує невизначеність щодо того, як будівництво та експлуатація цих вітрових електростанцій впливає на морських тварин і морське середовище. Загальні екологічні проблеми, пов'язані з офшорною вітроенергетикою, включають [8]:

- ✓ Ризик ураження морських птахів лопатями вітрогенераторів або їх витіснення з місць проживання;
- ✓ Ушкодження морського дна при монтажі турбін на мілководді, а також вплив на екосистему під час буксирування фундаментів від порту до місця;
- ✓ Вплив на морських ссавців, риб і морських птахів;
- ✓ Потенційно можливі порушення морського середовища ближнього та дальнього поля внаслідок великих офшорних вітрових проєктів.

1.2.3. Сонячна енергія

Сонячна енергія - це енергія сонця, яка перетворюється в теплову або електричну енергію. Сонячна енергія є найчистішим і найпоширенішим відновлюваним джерелом енергії. Вона змінює енергетичні ринки в усьому світі і застосовується повсюди - від дахів будинків до промислових електростанцій. За десятиліття з 2007 по 2017 роки загальна встановлена потужність фотоелектричних панелей у світі зросла на колосальні 4300 відсотків [9].

Сучасні технології дозволяють використовувати сонячну енергію для різноманітних цілей, включаючи виробництво електроенергії, забезпечення освітлення або комфортного внутрішнього середовища, а також нагрівання води для побутових, комерційних або промислових потреб.

Сонячна енергія — це дуже гнучка енергетична технологія: вона може бути побудована як розподілена генерація (розташована біля точки використання або поблизу неї) або як сонячна електростанція загального масштабу (подібна до традиційних електростанцій). Обидва види також можуть зберігати енергію, яку вони виробляють, для розподілу після заходу сонця, використовуючи передові технології накопичення сонячної енергії.

Існують три основні способи використання сонячної енергії:

- ✓ Фотовольтаїка (Фотоелектричні прилади);
- ✓ Сонячне опалення та охолодження;
- ✓ Концентрація сонячної енергії.

Фотоелектричні (PV) пристрої виробляють електрику безпосередньо із сонячного світла за допомогою електронного процесу, який природно відбувається у певних типах матеріалів, званих напівпровідниками. Електрони в цих матеріалах вивільняються сонячною енергією, і їх можна змусити переміщатися електричним ланцюгом, живлячи електричні пристрої або посилаючи електрику в мережу.

Фотоелектричні пристрої можна використовувати для живлення будь-якої техніки, від невеликої електроніки, такої як калькулятори та дорожні знаки, до будинків та великих комерційних підприємств.

Принцип роботи фотоелектричних пристроїв полягає в наступному. Фотони вдаряють та іонізують напівпровідниковий матеріал на сонячній

панелі, внаслідок чого зовнішні електрони вириваються зі своїх атомних зв'язків. Завдяки напівпровідниковій структурі електрони рухаються в одному напрямку, створюючи електричний струм. Сонячні елементи із кристалічного кремнію (c-Si) не на 100% ефективні почасти тому, що тільки певне світло в межах спектру може бути поглинене. Частина світлового спектра відбивається, частина занадто слабка створення електрики (інфрачервоне випромінювання), а частина (ультрафіолет) створює теплову енергію замість електрики (рис.1.6.).

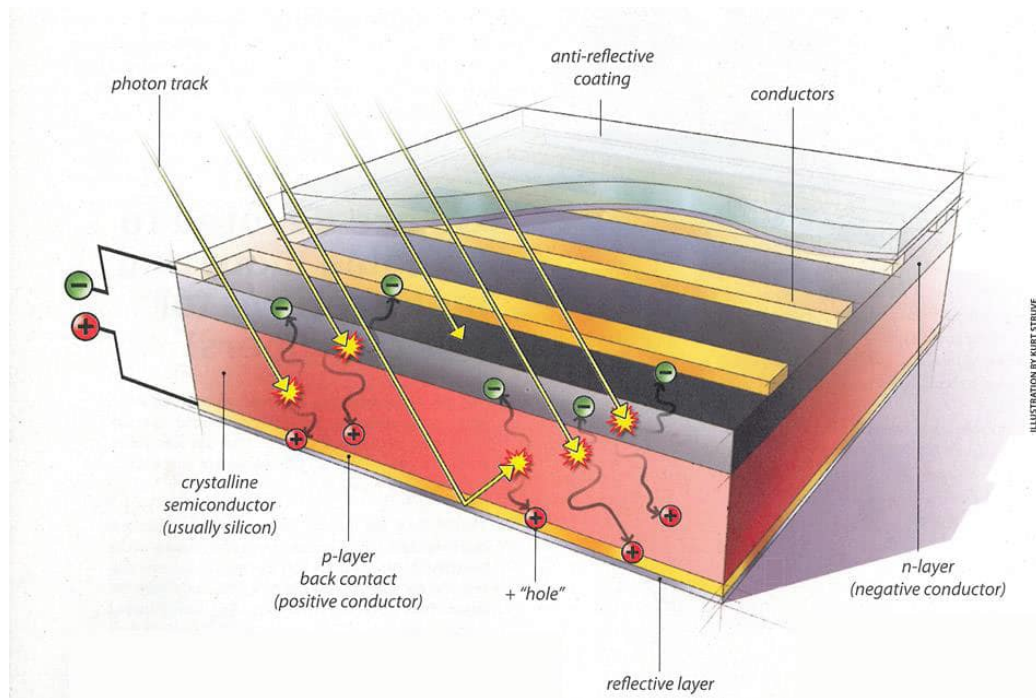


Рис. 1.6. Схема типового кристалічного кремнієвого (c-Si) сонячного елемента [10]

<https://www.seia.org/initiatives/photovoltaics>

Крім кристалічного кремнію (c-Si), існують ще два основних типи фотоелектричних технологій:

- ✓ Тонкоплівкові фотоелектричні елементи.
- ✓ Фотоелементи концентруючого типу.
- ✓ Фотоелектричні пристрої, інтегровані в будівлі.

Тонкоплівкові фотоелектричні елементи є швидкозростаючою, але невеликою частиною комерційного ринку сонячної енергії. Більшість виробників є стартапами, що розробляють експериментальні технології. Вони, як правило, менш ефективні, але часто дешевші, ніж модулі з кристалічного кремнію.

Тонкоплівкові сонячні елементи виконуються в кількох матеріалах, включаючи телурид кадмію (CdTe), диселенід міді-індій-галію (CIGS) та аморфний тонкоплівковий кремній (a-Si, TF-Si) (рис.1.7.). Інші

тонкоплівкові технології, які все ще знаходяться на ранній стадії поточних досліджень, часто класифікуються як фотоелектричні елементи третього покоління і включають органічні, сенсibiliзовані барвником або квантовими точками, нанокристалічні та мікроморфні сонячні елементи.



Рис. 1.7. Тонкоплівкова та звичайна сонячна панель [11]

<https://goexplorer.org/efficient-flexible-thin-film-solar-cells/>

Товщина плівки варіюється від кількох нанометрів (нм) до десятків мікрометрів (мкм), що набагато тонше, ніж звичайний кристалічний кремнієвий сонячний елемент першого покоління (с-Si), який використовує пластини товщиною до 200 мкм. Це дозволяє тонкоплівковим елементам бути гнучкими і меншими за вагою. Він використовується у вбудованій фотоелектричній системі та як напівпрозорий фотоелектричний матеріал для скління, який можна наносити на вікна.

Фотоелементи концентруючого типу (рис. 1.8.) використовують лінзи та дзеркала для відображення концентрованої сонячної енергії на вискоефективних елементах. Таким елементам для найбільш ефективної роботи потрібні системи відстеження для вловлювання прямих сонячних променів. Технології CSP можна розділити за типом сонячного колектора на чотири основні технології: параболічний лотковий концентратор, лінійний рефлектор Френеля, антена Стірлінга та вежа сонячної електростанції.

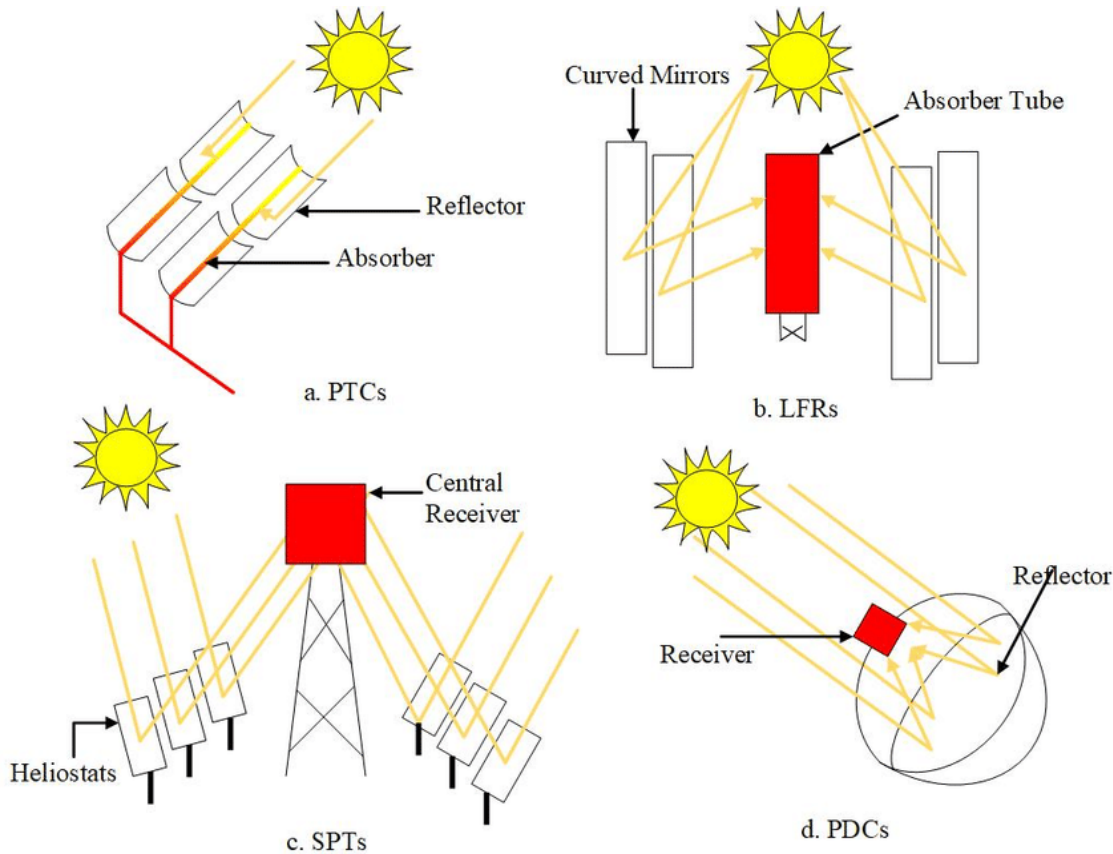


Рис. 1.8. Основні технології сонячних систем концентруючого типу:
 а) параболічні лоткові колектори (PTC); б) лінійні рефлектори Френеля (LFR); в) баштові сонячні електростанції (SPT); г) параболічні колектори (антена Стірлінга) [12]

https://www.researchgate.net/figure/The-main-technologies-of-concentrated-solar-power-systems_fig2_335084949

Фотоелектричні пристрої, інтегровані в будівлі, служать як зовнішнім шаром конструкції, так і виробляють електроенергію для використання на місці або експорту в мережу. Системи можуть забезпечити економію матеріалів та електроенергії, зменшити забруднення та додати архітектурної привабливості будівлі.

Способи застосування фотоелектричних пристроїв, інтегрованих у будівлі (рис. 1.9.):

✓ Фасад - фотоелектричні панелі можна інтегрувати в стіни будівель, замінюючи традиційні скляні вікна напівпрозорими тонкоплівковими або кристалічними сонячними батареями. Ці поверхні мають меншу проникність для прямого сонячного світла, ніж покрівельні системи, але мають більшу загальну площу. При модернізації фотоелектричні панелі можуть використовуватися для маскуванню непривабливих або зруйнованих фасадів будівель.

✓ Дахи - у цих випадках фотоелектричний матеріал замінює покрівельний матеріал або, у деяких випадках, сам дах. Деякі компанії пропонують інтегровані цілісні сонячні дахи із багатошарового скла; інші пропонують сонячну "черепицю", яку можна встановити замість звичайної черепиці.

✓ Скління – ультратонкі сонячні елементи можуть використовуватися для створення напівпрозорих поверхонь, які дозволяють проникати денному світлу та одночасно генерувати електрику. Їх часто використовують для створення світлових люків чи теплиць.

Параметри, які впливають на системи сонячної енергії:

✓ Інсоляція - це середня кількість отриманої сонячної радіації, зазвичай обчислюється в кВт·год/м²/добу. Це найпоширеніший спосіб опису кількості сонячних ресурсів у певній місцевості.

✓ Клімат і погодні умови – високі температури навколишнього середовища можуть знизити ефективність сонячних систем, а хмари та характер опадів можуть вплинути на продуктивність системи та вимоги до обслуговування. Високий рівень забруднення повітря може вимагати регулярного очищення для підвищення ефективності.

✓ Затінювання – дерева, сусідні будівлі та інші споруди можуть блокувати сонце, знижуючи потужність фотоелектричної системи.

✓ Широта – відстань від екватора впливає на оптимальний кут нахилу сонячних панелей для отримання сонячної радіації.

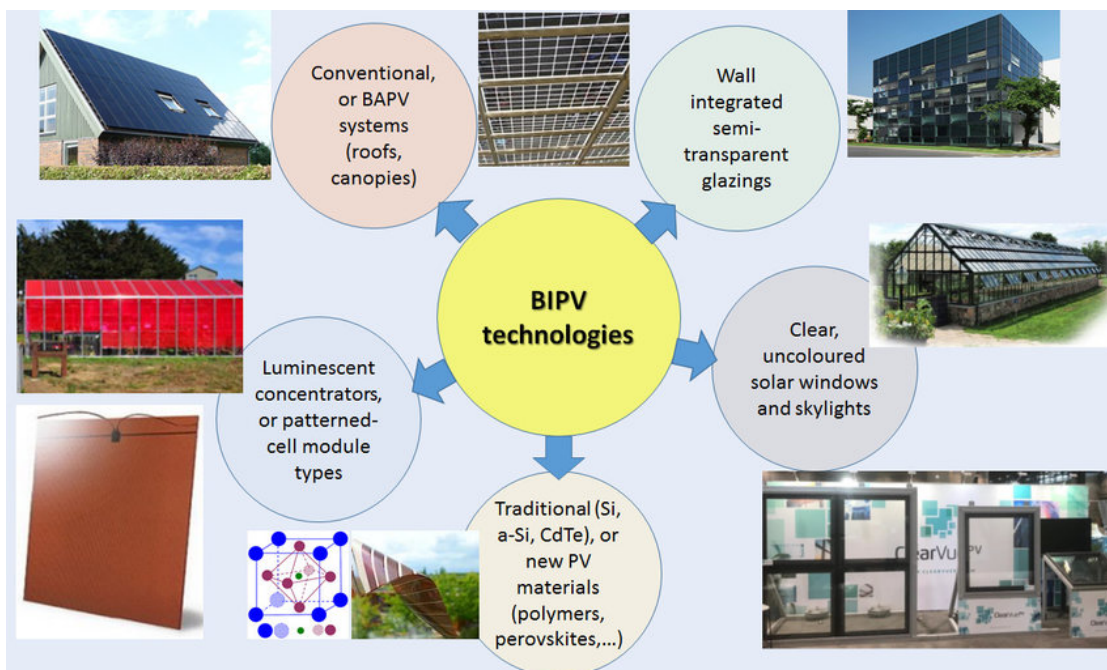


Рис. 1.9. Способи застосування фотоелектричних пристроїв, інтегрованих у будівлі [13]

1.2.4. Енергія біомаси (біоенергія)

Біоенергія – це відновлюване джерело енергії, що отримується з біологічних джерел. Біоенергетика - важливе джерело енергії, яке можна використовувати для транспорту шляхом використанням біодизеля, виробництва електроенергії, приготування їжі та опалення.

Біоенергетика залучає велику кількість різних джерел, включаючи:

- ✓ побічні продукти лісопереробки та відходи деревної або меблевої промисловості;
- ✓ сільськогосподарські відходи (бадилля овочів, солома, стебла кукурудзи, соняшнику, лушпиння, солома і т.п.);
- ✓ відходи тваринництва (коров'ячий гній, курячий послід, а також торф, солому та інші матеріали, які використовували для підстилки тваринам);
- ✓ біогаз зі сміттєзвалищ;
- ✓ тверді побутові відходи.

Однією з переваг тепла та електрики, що базується на енергії біомаси, є те, що паливо часто є побічним продуктом, залишками або відходами з вищевказаних джерел. В даний час світове виробництво біопалива порівняно невелике, але постійно зростає.

Технології біоенергетики перетворюють відновлювану біомасу в тепло та електрику, використовуючи процеси, подібні до тих, що використовуються для викопного палива. Є три способи вивільнення енергії, що зберігається в біомасі, для виробництва біоенергії:

- ✓ спалювання;
- ✓ бактеріальний розпад;
- ✓ переробка у газоподібне або рідке паливо.

Більшість електроенергії, що отримується з біомаси, виробляється шляхом прямого спалювання. Біомаса спалюється в казані для отримання пари високого тиску. Ця пара проходить через ряд лопаток турбіни, змушуючи їх обертатися. Обертання турбіни надає руху генератор, що виробляє електрику. Біомаса також може бути заміною частини вугілля в печі існуючої електростанції в процесі, званому спільним спалюванням (одночасне спалювання двох різних типів матеріалів) (рис. 1.10.).

Другий метод переробки біомаси – це бактеріальний або анаеробний розклад. Органічні відходи, такі як гній тварин, стічні води та харчові відходи, збираються в безкисневих резервуарах, які називаються біогазовими реакторами. Тут сировина природним шляхом за відсутності кисню розкладається анаеробними бактеріями (метаногенами), які виробляють метан та інші побічні продукти, багаті на поживні речовини (рис. 1.11.).

Зібраний біогаз можна використовувати для виробництва тепла та електрики або, як альтернативу, він може бути оброблений для створення біометану, який можна подавати безпосередньо в національну мережу.

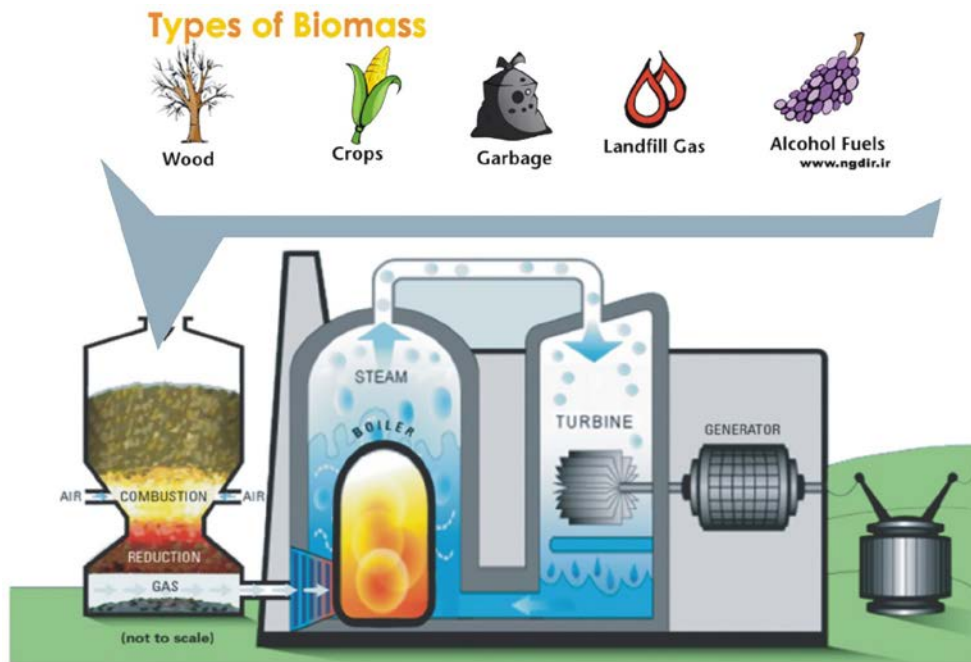


Рис. 1.10. Енергія з біомаси шляхом спалювання [14]

<https://www.energycompanynumbers.co.uk/renewable-energy-explained/>

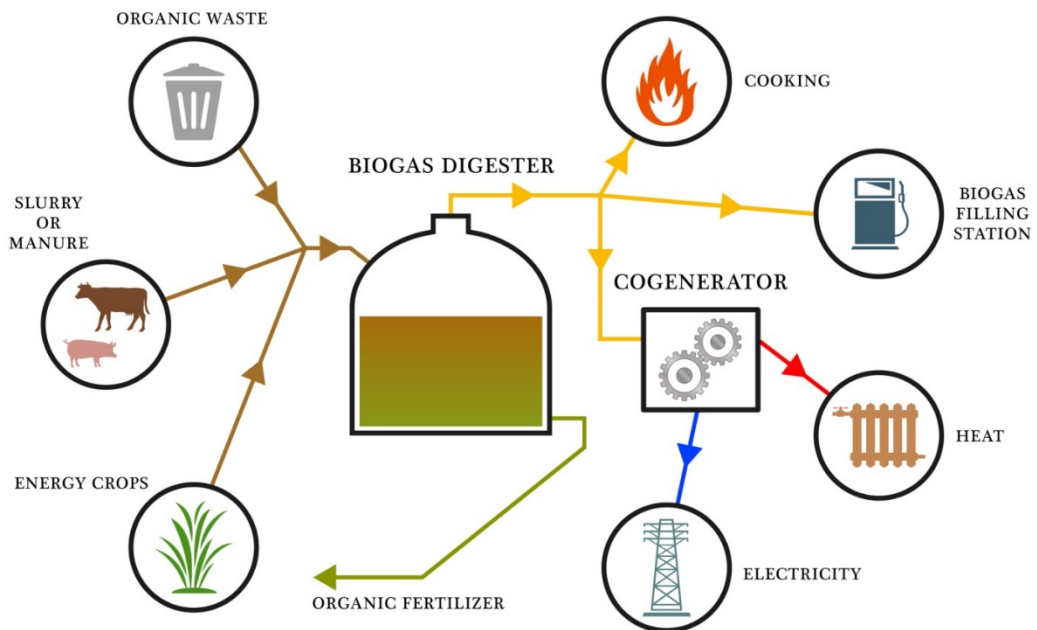


Рис. 1.11. Енергія з біомаси шляхом бактеріального розкладу [15]

<https://www.albion-environmental.co.uk/albions-abcs-of-waste-management-a>

Також біомасу можна перетворити на газоподібне або рідке паливо за допомогою газифікації та піролізу.

Газифікація - це процес, при якому твердий матеріал біомаси піддається впливу високих температур при невеликій кількості кисню для отримання синтез-газу - суміші, що складається в основному з монооксиду вуглецю і водню. Потім газ можна спалювати у звичайному пічі для виробництва електроенергії. Його також можна використовувати для заміни газу в парогазовій турбіні (рис. 1.12.).

Піроліз використовує процес, аналогічний газифікації, але в інших робочих умовах. У цьому сценарії біомаса нагрівається в нижчому діапазоні температур, але за повної відсутності кисню для сирової біонафти. Потім це біомасло замінюють мазутом або дизельним паливом у печах, турбінах та двигунах для виробництва електроенергії (рис. 1.13).

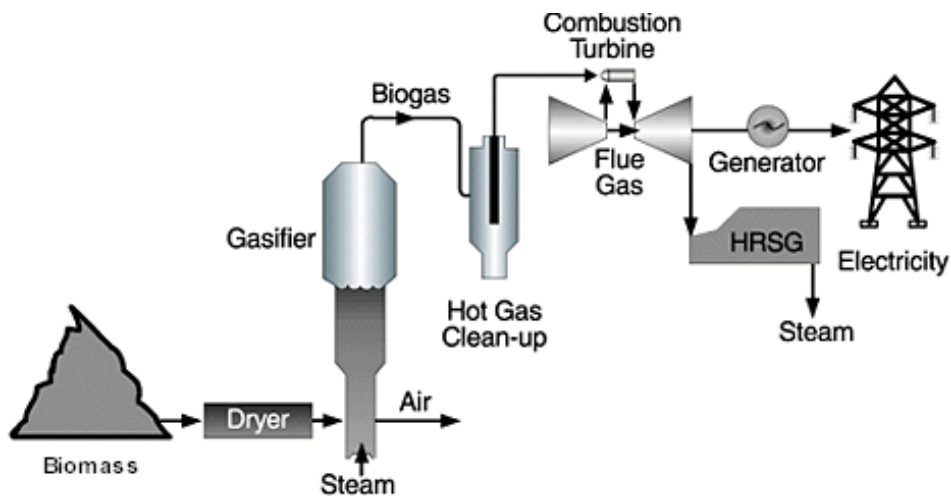


Рис. 1.12. Отримання біопалива шляхом газифікації [16]

<https://www.bioenergyconsult.com/tag/hydrogen/>

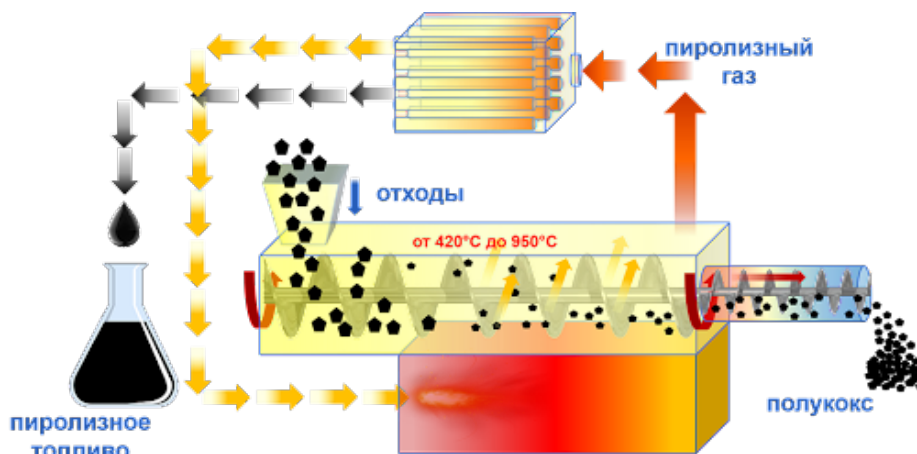


Рис. 1.13. Отримання біопалива шляхом піролізу [17]

<http://pochemuha.ru/piroliz-unikalnaya-texnologiya-pererabotki-otxodov-i-polucheniya-bogatogo-uglevodorom-gaza>

Серед переваг енергії з біомаси слід відзначити наступні:

1. Біомаса завжди і широко доступна як відновлюване джерело енергії. Органічні матеріали, що використовуються для виробництва біомаси, безмежні, оскільки наше суспільство постійно виробляє такі відходи, як сміття, дерево та гній.

2. Біомаса вважається вуглецево-нейтральною. Як природна частина фотосинтезу, паливо з біомаси виділяє в атмосферу лише ту кількість вуглецю, яка була поглинута рослинами протягом їхнього життєвого циклу.

3. Використання біомаси знижує надмірну залежність від викопного палива. Мало того, що запаси викопного палива обмежені, викопне паливо пов'язане з екологічним багажем, включаючи викид великої кількості вуглекислого газу в атмосферу та забруднюючих речовин, що виникають внаслідок видалення, транспортування та виробництва.

4. Паливо з біомаси дешевше, ніж викопне. У той час як виробництво викопного палива вимагає значних капітальних витрат, таких як буріння нафтових свердловин, влаштування газопроводів та зберігання палива, технологія переробки біомаси набагато дешевша. Виробники та постачальники можуть отримувати більш високий прибуток від меншого обсягу виробництва.

5. Виробництво біомаси є додатковим джерелом прибутку, який можуть отримати виробники відходів, спрямовуючи своє сміття на більш вигідний напрямок у вигляді енергії біомаси.

6. Зменшення обсягів сміття на звалищах. За рахунок спалювання твердих відходів кількість сміття, що вивозиться на звалища, може бути зменшена на 60-90 відсотків. Також знижуються витрати на вивіз сміття та кількість землі, необхідної для його захоронення.

Хоча в енергії біомаси багато переваг, є і деякі недоліки, зокрема:

1. Енергія біомаси не така ефективна, як викопне паливо. Деякі види біопалива, такі як етанол, відносно неефективні порівняно з бензином. Фактично він повинен бути збагачений викопним паливом, щоб підвищити його ефективність.

2. Енергія біомаси не зовсім чиста. Хоча біомаса є вуглецево-нейтральною, використання відходів тваринництва та життєдіяльності людини збільшує кількість метанових газів, які також завдають шкоди навколишньому середовищу. Крім того, забруднення, викликане спалюванням деревини та інших природних матеріалів, може вважатися настільки ж серйозним, як забруднення в результаті спалювання вугілля та інших видів енергоресурсів.

3. Заготівля біомаси може призвести до вирубування лісів. Оскільки деревина є одним з джерел енергії біомаси, що найчастіше використовуються, для отримання бажаної кількості енергії необхідно спалювати величезну кількість деревини та інших відходів. Хоча в даний час деревних відходів вже достатньо, існує ризик вирубування лісів у майбутньому.

4. Заводи, що працюють на біомасі, можуть потребувати багато місця. Незважаючи на те, що у енергії біомаси є деякі недоліки, все більше досліджень та інновацій присвячені цій галузі як більш широко доступній, дешевшій альтернативі та цінній заміні традиційної електроенергії та інших джерел енергії.

1.2.5. Геотермальна енергія

Геотермальна енергія природним чином надходить з надр землі як джерело теплової енергії. Походження тепла пов'язане з внутрішньою структурою планети і фізичними процесами, що відбуваються на ній. Хоча тепло присутнє у земній корі у величезних кількостях, не кажучи вже про найглибші її частини, воно розподіляється нерівномірно, рідко концентрується і часто перебуває на дуже великих глибинах, щоб їх можна було використовувати механічно.

Деякі методи отримання геотермальної енергії використовують земні температури поблизу поверхні, в той час як інші вимагають буріння землі поверхні. Загалом існує три основних типи геотермальних енергетичних систем:

- ✓ Системи прямого використання та централізованого теплопостачання

- ✓ Геотермальні електростанції

- ✓ Геотермальні теплові насоси

У системах прямого використання та централізованого теплопостачання використовується гаряча вода із джерел або резервуарів, розташованих на поверхні землі. Стародавні римські, китайські та індіанські культури використовували гарячі мінеральні джерела для купання, приготування їжі та обігріву. Сьогодні багато гарячих джерел, як і раніше, використовуються для купання, і багато людей вважають, що гарячі, багаті мінералами води корисні для здоров'я.

Геотермальна енергія також використовується для прямого обігріву окремих будівель та для обігріву кількох будівель за допомогою систем централізованого теплопостачання. Гаряча вода із надр землі подається в будівлі для обігріву. Наприклад, система централізованого теплопостачання забезпечує теплом більшість будівель у Рейк'явіку (Ісландія).

Геотермальні електростанції використовують гідротермальні ресурси, у яких є як вода (гідро), і тепло (теплова енергія). Геотермальні електростанції вимагають високотемпературних (від 300°F до 700°F) гідротермальних ресурсів, які надходять або із свердловин із сухою парою, або із свердловин із гарячою водою. Люди використовують ці ресурси через свердловини в землі, а потім викачуючи пару або гарячу воду на поверхню. Гаряча вода або пара приводять у дію турбіну, що виробляє електрику. Деякі геотермальні свердловини мають глибину до двох миль (рис. 1.14.).

Є три основні типи геотермальних електростанцій [18]:

1. *Установки із сухою парю* використовують пару безпосередньо з геотермального резервуару для обертання турбін генератора. Перша геотермальна електростанція була побудована в 1904 в Тоскані, Італія, де з землі виходив природний пар.

2. *Парові установки миттєвої дії* забирають гарячу воду під високим тиском із глибини землі та перетворюють її на пару для приведення в дію турбін генератора. Коли пара охолоджується, вона конденсується у воду і закачується назад у землю для повторного використання. Більшість геотермальних електростанцій є установки миттєвої пари.

3. *Електростанції із подвійним циклом* передають тепло від гарячої геотермальної води іншої рідини. Тепло змушує рідину перетворюватися на пару, яка використовується для приводу турбіни генератора.

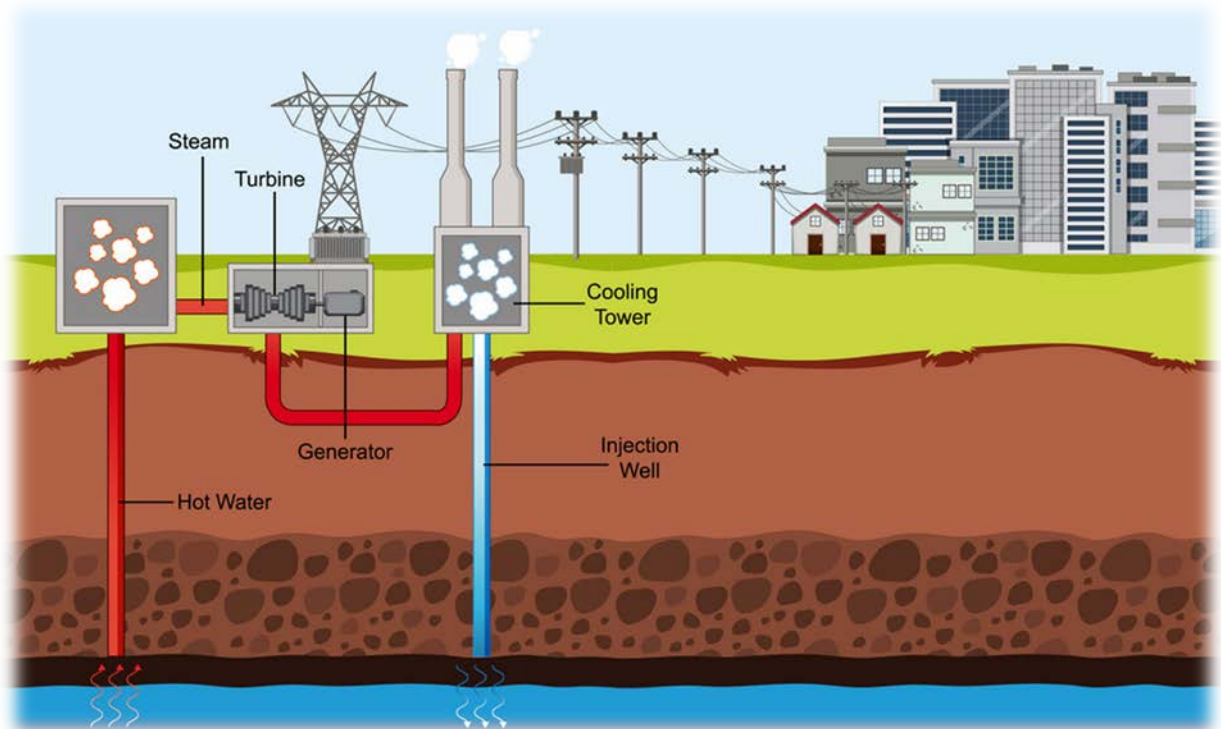


Рис. 1.14. Принцип роботи геотермальної станції [19]

<https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector/diagram-showing-geothermal-power-vector-36413978>

Геотермальні теплові насоси, є високоефективною технологією відновлюваної енергії, яка набувала широкого поширення як для житлових, так і для комерційних будівель. Геотермальні теплові насоси використовуються для опалення та охолодження приміщень, а також для нагріву води.

Технологія заснована на тому факті, що земля (під поверхнею) залишається з відносно постійною температурою протягом року, теплішою,

ніж повітря над нею взимку, і прохолоднішою влітку, дуже схожа на печеру. Геотермальний тепловий насос використовує цю перевагу, передаючи тепло, що зберігається в землі або підземних водах, у будівлю взимку, а влітку передає його з будівлі та назад у землю. Іншими словами, земля виступає як джерело тепла взимку, а як тепловідвідник влітку (рис. 1.15.).

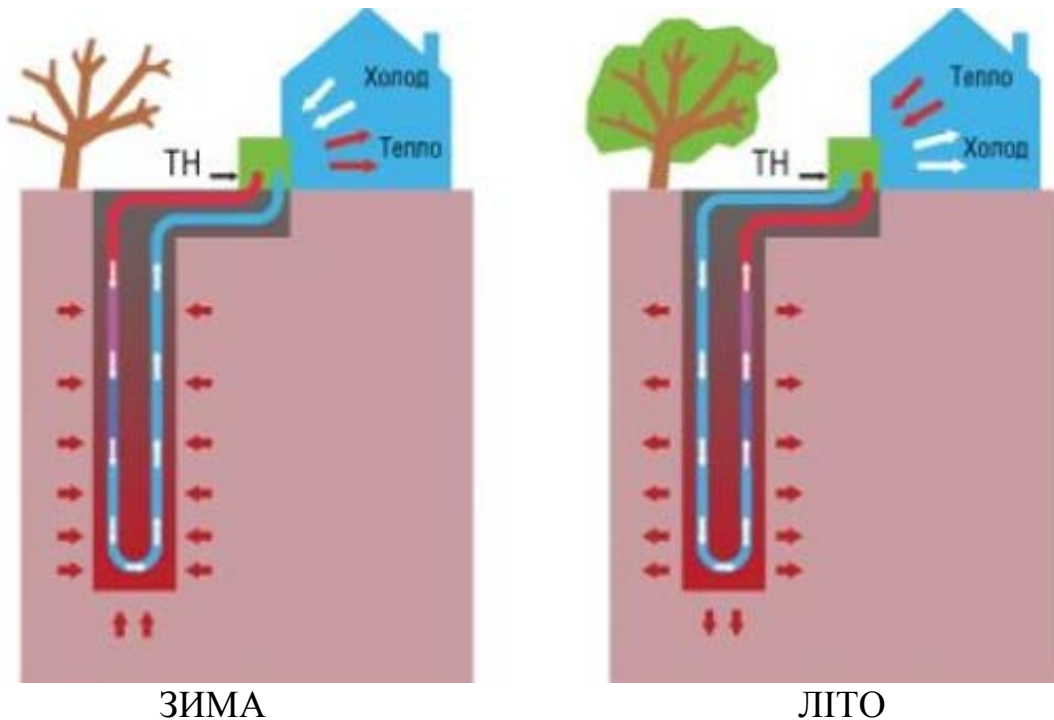


Рис. 1.15. Принцип роботи геотермального теплового насосу [20]

<http://gss-vet.eu/gss-news-en/use-deep-geothermal-for-heat-and-cool-buildings/>

Система включає в себе три основних компоненти:

1. Підсистема під поверхнею землі. Використовуючи землю як джерело тепла, серію з'єднаних труб, закопують у землю біля будівлі. Труби можна розташовувати як вертикально, так і горизонтально. У них циркулює рідина (вода або суміш води та антифризу), яка поглинає тепло від навколишнього ґрунту або навпаки віддає тепло в нього, залежно від того, холодніше чи тепліше атмосферне повітря, ніж ґрунт.

2. Підсистема теплового насоса. Для опалення геотермальний тепловий насос відбирає тепло від рідини в заземленні, концентрує її, а потім передає до будівлі. Для охолодження процес відбувається в зворотному порядку.

3. Підсистема розподілу тепла. Звичайні повітропроводи зазвичай використовуються для розподілу нагрітого або охолодженого повітря від геотермального теплового насоса по всій будівлі.

Переваги використання геотермальної енергії:

1. Екологічність. Геотермальна енергія більш екологічно безпечна, ніж традиційні джерела, такі як вугілля та інші види палива. Крім того, геотермальна електростанція має низький вуглецевий слід.

2. Відновлюваність. Геотермальна енергія - це відновлюване джерело енергії, якого вистачить доти, доки існує Земля. Гарячі резервуари на Землі поповнюються природним чином, що це джерело стійким.

3. Величезний потенціал. Світове споживання енергії в даний час становить близько 15 терават, що далеко від загальної потенційної енергії, що отримується з геотермальних джерел. Хоча в даний час ми не можемо використовувати більшість геотермальних резервуарів, є надія, що кількість придатних для експлуатації геотермальних ресурсів буде збільшуватися в міру досліджень і розробок у галузі. В даний час передбачається, що геотермальні електростанції можуть забезпечувати від 0,0035 до 2 терават енергії [21].

4. Стійкість/стабільність. Геотермальна енергія є надійним джерелом енергії в порівнянні з іншими відновлюваними ресурсами, такими як енергія вітру та сонця. Цей ресурс завжди доступний для використання, на відміну енергії вітру або сонця.

5. Нагрів та охолодження. Оскільки земля більш стійка до сезонних теплових змін, ніж повітря, вона може діяти як тепловідведення/джерело з геотермальним тепловим насосом лише за два метри від поверхні.

6. Надійність. Енергію, що генерується цим ресурсом, легко підрахувати, оскільки вона не коливається так само, як інші джерела енергії, такі як сонце та вітер. Це означає, що ми можемо прогнозувати вихідну потужність геотермальної установки із високим ступенем точності.

7. Оскільки геотермальна енергія є природним ресурсом, паливо не потрібне, наприклад, викопне паливо, яке є обмеженим ресурсом, який необхідно видобувати або іншим чином вилучати із землі.

8. Швидка еволюція. В даний час ведуться активні дослідження геотермальної енергії, а це означає, що створюються нові технології для покращення енергетичного процесу. Зростає кількість проектів щодо поліпшення та розвитку цієї галузі промисловості. Завдяки такому швидкому розвитку багато нинішніх недоліків геотермальної енергії будуть пом'якшені.

Недоліки використання геотермальної енергії:

1. Найбільшим недоліком геотермальної енергії є те, що вона залежить від розташування. Геотермальні електростанції необхідно будувати в місцях, де є енергія, а це означає, що деякі райони не можуть використовувати цей ресурс. Звичайно, це не проблема, якщо ви живете у місці, де геотермальна енергія легко доступна, наприклад, в Ісландії.

2. Побічні ефекти на довкілля. Хоча геотермальна енергія зазвичай не виділяє парникові гази, багато з цих газів зберігаються під поверхнею Землі та викидаються в атмосферу під час земляних робіт. Хоча ці гази також викидаються в атмосферу природним шляхом, їхня швидкість збільшується

поблизу геотермальних електростанцій. Тим не менше, ці викиди газу набагато нижчі, ніж викиди, пов'язані з викопним паливом.

3. Землетруси. Геотермальна енергетика також може спричинити землетрус. Це пов'язано зі змінами у структурі Землі внаслідок розкопок. Ця проблема найбільш поширена при використанні удосконалених геотермальних електростанцій, які змушують воду проникати в земну кору, відкриваючи тріщини для більшої експлуатації ресурсу. Проте оскільки більшість геотермальних станцій розташовані далеко від населених пунктів, наслідки цих землетрусів відносно незначні.

4. Висока вартість. Геотермальна енергія – це дорогий ресурс, який коштує від 2 до 7 мільйонів доларів за встановлення потужністю 1 мегават. Проте там, де початкові витрати високі, їх можна окупити у межах довгострокових інвестицій.

5. Стійкість. Щоб підтримувати стійкість геотермальної енергії, геотермальна енергетика потребує належного менеджменту для підтримки стійкості виробництва.

1.3. Відновлювана енергетика в Україні

Розвиток відновлюваної енергетики відбувається і в Україні. За статистичними даними Держенергоефективності [22], потужності об'єктів відновлюваної енергетики в Україні з 2014 року зросли на 8 260 мегават. В Україні найбільш інтенсивно розвивається сонячна та вітрова енергетика (рис. 1.16.). В 2019 р. загальна потужність відновлюваної енергетики збільшилась у 3 рази в порівнянні з 2018 р. [22, 23].

Станом на I півріччя 2021 року найбільші потужності мають сонячні електростанції – вони становлять 6 351 МВт (411 було у 2014 році).

За ними йдуть вітроелектростанції, потужність яких становить 1 593 МВт (426 станом на 2014 рік).

Сонячні електростанції домогосподарств мають майже вповнину менші потужності – 933 МВт (і лише 2 у 2015 році).

Електростанції на біомасі, малі гідроелектростанції та біогазові електростанції у 2021 році мають потужність трохи більше 100 МВт.

Таким чином, найбільше зросли потужності сонячних електростанцій, а найменше – малих гідроелектростанцій (з 80 до 118 МВт).

За рівнем частки споживання електроенергії з відновлюваних джерел у Європі за 2019 рік Україна посідає передостаннє місце (8,1%), випереджаючи Люксембург (рис. 1.17.).



Рис. 1.16. Потужності відновлюваної енергії в Україні [22]

<https://www.slovoidilo.ua/2021/08/10/infografika/suspilstvo/vidnovlyuvana-enerhiya-ukrayini-yak-zminylsya-potuzhnosti>

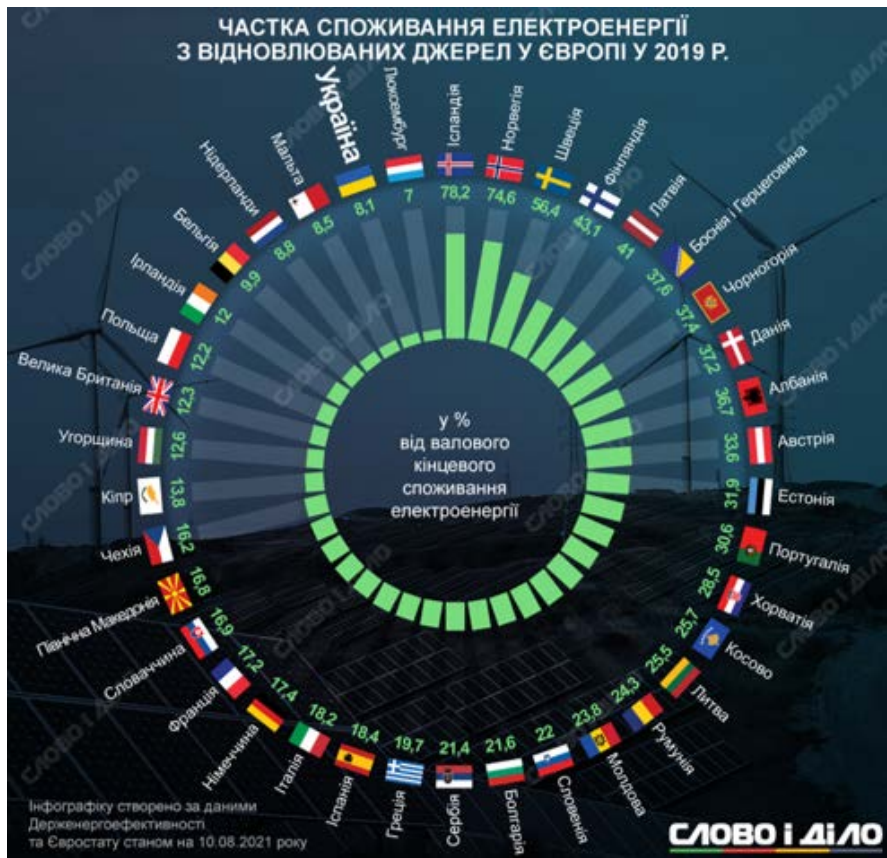


Рис. 1.17. Частка споживання електроенергії з відновлюваних джерел енергії у Європі в 2019 році [22]

<https://uhe.gov.ua/sites/default/files/2020-07/10.pdf>

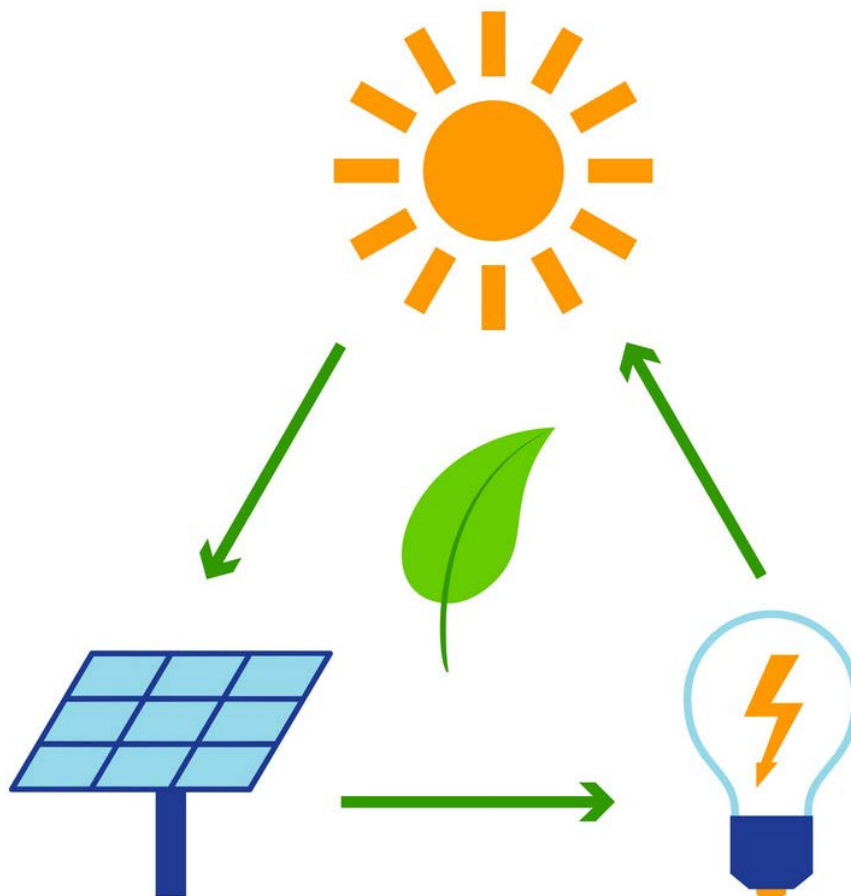
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 1

1. <https://thumbs.dreamstime.com/z/energy-sources-vector-illustration-collection-infographic-other-environment-related-content-graphical-assets-renewable-versus-173736392.jpg>.
2. https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2013/09/Complete_WER_2013_Survey.pdf.
3. <https://www.pinterest.com/pin/195343702574153441/>.
4. https://www.researchgate.net/publication/309041849_Renewable_Energy_Potential_in_Middle_East_and_Particularly_Oman_case.
5. https://www.kindpng.com/imgv/hoJiRJb_wind-turbine-energy-diagram-png-download-wind-power/.
6. <https://www.windpowerengineering.com/ready-to-float-a-permanent-cost-reduction-for-offshore-wind/>.
7. https://en.wikipedia.org/wiki/Offshore_wind_power.
8. https://maritime-spatial-planning.ec.europa.eu/sites/default/files/sector/pdf/8_offshore_wind_conservation.pdf.
9. <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/renewable-energy>.
10. <https://www.seia.org/initiatives/photovoltaics>.
11. <https://goexplorer.org/efficient-flexible-thin-film-solar-cells/>.
12. https://www.researchgate.net/figure/The-main-technologies-of-concentrated-solar-power-systems_fig2_335084949.
13. https://www.researchgate.net/publication/331193943_Recent_Developments_in_Solar_Energy-Harvesting_Technologies_for_Building_Integration_and_Distributed_Energy_Generation.
14. <https://www.energycompanynumbers.co.uk/renewable-energy-explained/>.
15. <https://www.albion-environmental.co.uk/albions-abcs-of-waste-management-a>.
16. <https://www.bioenergyconsult.com/tag/hydrogen/>.
17. <http://pochemuha.ru/piroliz-unikalnaya-texnologiya-pererabotki-otxodov-i-polucheniya-bogatogo-uglevodorom-gaza>.
18. <https://www.eia.gov/energyexplained/geothermal/geothermal-power-plants.php>.

19. <https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector/diagram-showing-geothermal-power-vector-36413978>.
20. <http://gss-vet.eu/gss-news-en/use-deep-geothermal-for-heat-and-cool-buildings/>.
21. <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/geothermal-energy/pros-and-cons#WhataretheAdvantagesofUsingGeothermal>.
22. <https://www.slovoidilo.ua/2021/08/10/infografika/suspilstvo/vidnovlyuvana-enerhiya-ukrayini-yak-zminylsya-potuzhnosti>.
23. <https://uhe.gov.ua/sites/default/files/2020-07/10.pdf>.

РОЗДІЛ 2.

СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ ДЛЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД



2.1. Енергія сонця для будівель і споруд

Сонячне випромінювання - один з найбільш перспективних джерел енергії майбутнього. Сонце є необмеженим джерелом світлової та теплової енергії. Основний принцип використання сонячної енергії в будівлях полягає в наступному.

Використовується потік теплової енергії Сонця за рахунок провідності, конвекції та випромінювання. Ці природні процеси регулюються за допомогою конструктивно-технічних рішень будівлі або споруди, що допомагає прогрівати та охолоджувати будівлю.

Сонячні промені, що надходять на поверхню будівлі, відбиваються, перетворюються або поглинаються будівельним матеріалом або спеціальними приладами. Крім того, тепло, вироблене сонцем, викликає передбачувані рухи повітря. Цей основний ефект сонячного тепла призводить до вибору матеріалів та конструкції будівельних елементів, від яких залежать параметри опалення та охолодження приміщень будівлі:

- ✓ товщина (δ),
- ✓ питома вага (г/см^3),
- ✓ коефіцієнт теплопровідності (λ) ($\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$)
- ✓ питома теплоємність (c) ($\text{Вт}\cdot\text{год/м}^3\text{ К}$),
- ✓ поверхневе поглинання та коефіцієнт відбиття,
- ✓ гладкість або шорсткість поверхні.

Сонячна енергія може використовуватись для опалення та гарячого водопостачання, а також для охолодження повітря, висушування.

Перетворення сонячної енергії може здійснюватися двома основними способами:

- ✓ фотоелектричним (пряме перетворення світлової енергії в електричну);
- ✓ фототермічним (перетворення світлової енергії в теплову, а потім, при необхідності, в електричну).

Фотовольтаїчний модуль – це спеціальна конструкція, яка складається з набору взаємозв'язаних фотоелектричних комірок. Кожна з цих комірок виготовлена з певного напівпровідника, наприклад кремнію, який в переважній більшості застосовується для створення сонячних панелей, оскільки демонструє наразі найвищі показники продуктивності.

Коли сонячні промені потрапляють на цей напівпровідник, то він починає нагріватися, частково поглинаючи виділену від променів енергію. Фотони світла «вибивають» електрони з загальної атомної структури напівпровідника, і вільні електрони формують заряд.

Загалом, кожна з комірок не є суцільним сегментом кремнію, а по суті складається з двох шарів. Проте навіть цього не буде достатньо для створення повноцінного електричного поля, оскільки в чистому вигляді

кремній не є надто хорошим провідником. Тож для формування позитивного та негативного заряду кремнієвих шарів, додатково домішують сторонні речовини (рис. 2.1.).

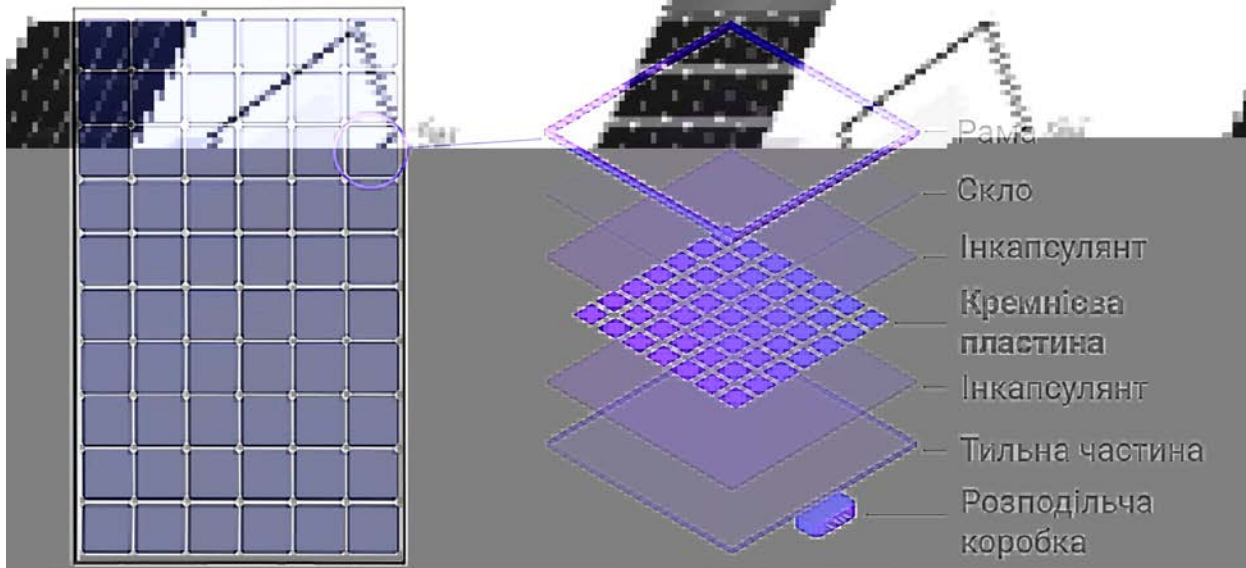


Рис. 2.1. Склад фотовольтаїчного модуля [1]

https://sun-energy.com.ua/articles/yak_pratsuyut_sonyachni_paneli

Верхній шар кремнію насичується фосфором, який додає йому зайві електрони з негативним зарядом. Тож цей шар отримав назву n-тип (negative). В той час нижній сегмент насичується бором, що зменшує кількість електронів і формує позитивний заряд. Такий кремній отримав назву р-типу. Внаслідок цього, між кремнієвими шарами формується електричне поле. І як вже було сказано вище, коли фотон сонячного світла вибиває вільний електрон, електричне поле виштовхує його із з'єднання кремнію. Так формується струм. Тип такого провідника отримав назву P-N (рис. 2.2.).

Кожна комірка оснащується струмознімними шинами і електропровідними пластинами по боках, які виводячи отриманий струм в систему.

Існують два способи взаємного задання сонячних панелей. Це послідовне та паралельне підключення. У першому випадку, збільшується вихідна напруга, у другому – вихідний струм. Для того, щоб збільшити і значення напруги і потужності, інколи комбінують ці два способи. Все одно зауважимо, що частіше використовують послідовний спосіб підключення. Підбирати панелі варто з однаковими вольт-амперними характеристиками, оскільки це має важливо для високого виробітку станції і її загальної справності.

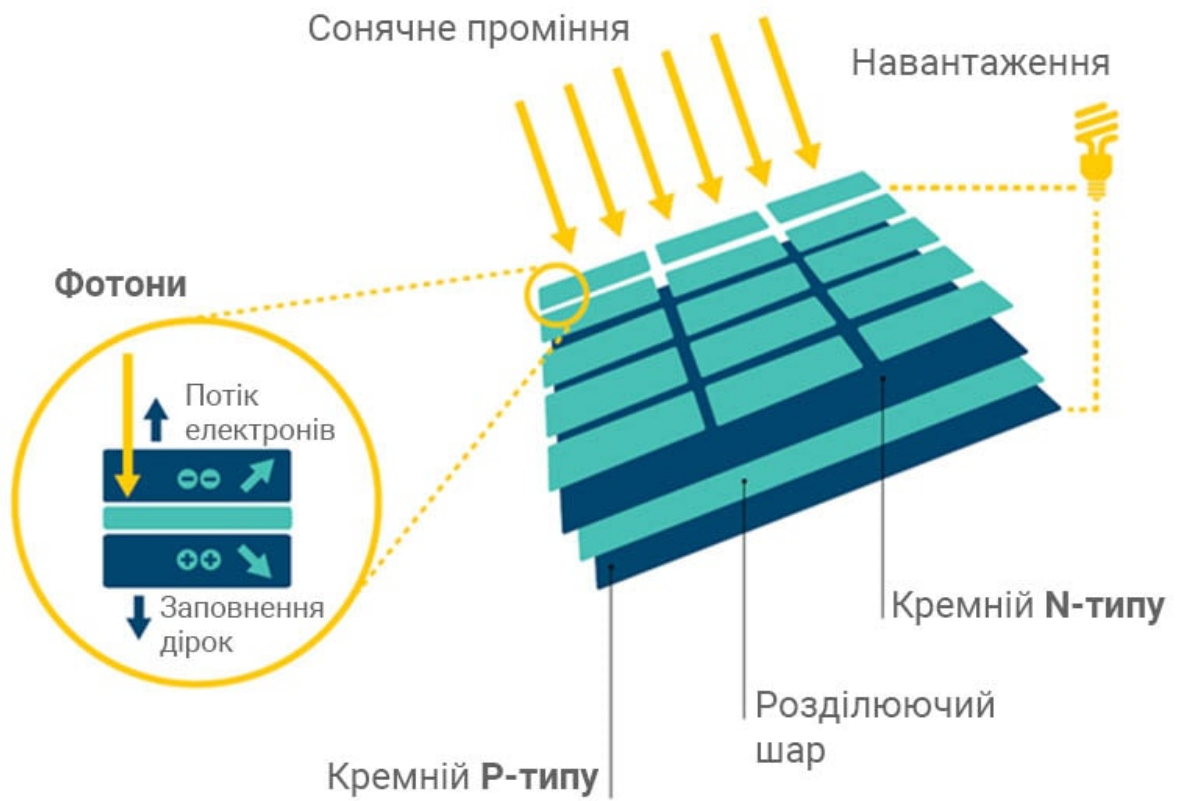


Рис. 2.2. Принцип роботи фотовольтаїчного модуля [1]

https://sun-energy.com.ua/articles/yak_pratsuyut_sonyachni_paneli

Отриманий від масиву сонячних панелей змінний струм потрібно перетворити в постійний, для коректної роботи в загальній мережі. В якості перетворювача використовуємося інвертор, який може бути як і мережевого, так і автономного типів.

Альтернативою фотоелектричного перетворення сонячної енергії є фототермічне перетворення, при якому отримується теплова енергія. Використання сонячного випромінювання, для нагрівання різних рідин (вода, повітря, спеціальні теплоносії) або для виробництва пари вимагає ефективного збору та утримання, щоб бути економічно доцільним. Тому в усіх конструкціях сонячних колекторів використовуються приймачі спеціальної системи для поглинання сонячного випромінювання. У деяких випадках збирання енергії може бути додатково покращено за рахунок концентрації падаючого випромінювання на приймальній системі, що призводить до більш високих робочих температур (до 300 або 500 °C і вище в деяких випадках). Більшість колекторів, однак, працюють за досить помірних температур (зазвичай <100 °C; плоскі сонячні колектори), за

винятком літніх періодів, коли можуть бути досягнуті температури приблизно до 200 °С.

Перетворення падаючого сонячного випромінювання в тепло зазвичай досягається або прямим поглинанням теплоносієм, який тече по прозорих каналах (чорні рідини або суспензії м'яких/газоподібних речовин), або, як у більшості випадків, за допомогою спеціальної поглинаючої поверхні, від якої тепло збирається та відводиться теплоносієм. Остання система приймача, якщо вона не виготовлена з одноколірного матеріалу, такого як чорний пластик, зазвичай складається з основної металевої пластини, покритої на своїй верхній (відкритій) стороні спеціальним шаром поглинача сонячної енергії.

Сонячні електростанції можуть підключатися до електричних установок і передавати в них вироблену енергію, а також використовуватися в якості автономного або резервного джерела живлення.

2.2. Сонячне опалення

Системи сонячного опалення будинків базуються на таких основних функціях:

- ✓ поглинання та перетворення сонячного випромінювання у теплоту;
- ✓ акумулювання (накопичення та зберігання) теплоти, оскільки інтенсивність сонячного випромінювання непостійна протягом доби, а також залежить від пори року;
- ✓ розподіл теплоти, тобто передача теплової енергії у зони опалення у періоди, коли це необхідно і у потрібній кількості.

Перетворення сонячного випромінювання на теплову енергію можливе завдяки явищу фототермічної конверсії (перетворення). Способи перетворення можуть бути пасивними, активними та інтегрованими (комбінованими) (рис. 2.3.).

Пасивне фототермічне перетворення – це прямий обмін енергії сонячного випромінювання на теплову енергію.

Серед різновидів пасивних методів опалення енергією Сонця можна виділити:

- ✓ прямий збір тепла здійснюється за рахунок великих застаклених поверхонь, встановлених на південній стороні будівлі, де навіть взимку при низькому положенні сонця може нагрівати внутрішні приміщення;
- ✓ система з накопичувальними стінами — опалення здійснюється внаслідок встановлених на південних стінах колекторів зберігання,

виготовлених із матеріалів із великим тепловим накопиченням. Ця стіна поглинає сонячну енергію, перетворюючи її в тепло, а потім накопичуючи її;

✓ теплиці, оранжереї — ця система передбачає розширення стіни через відведення прозорої оболонки. Отриманий у такий спосіб простір можна використовувати, наприклад, як зимовий сад.

Активна фототермічна конверсія — це перетворення енергії сонячного випромінювання в іншу форму енергії за допомогою спеціально сконструйованих пристроїв.

Активні сонячні системи опалення відрізняються тим, що використовують механічні пристрої: такі як насоси, колектори та резервуари для зберігання тепла.

В активній системі опалення колектор збирає сонячну енергію. Повітря або вода (або сольовий розчин) усередині труби нагріваються теплом, що передається колектором. Це тепло передається безпосередньо у внутрішній простір за допомогою насоса або вентиляційного механізму для чого використовується зовнішнє джерело енергії, або зберігається в системі акумулювання.

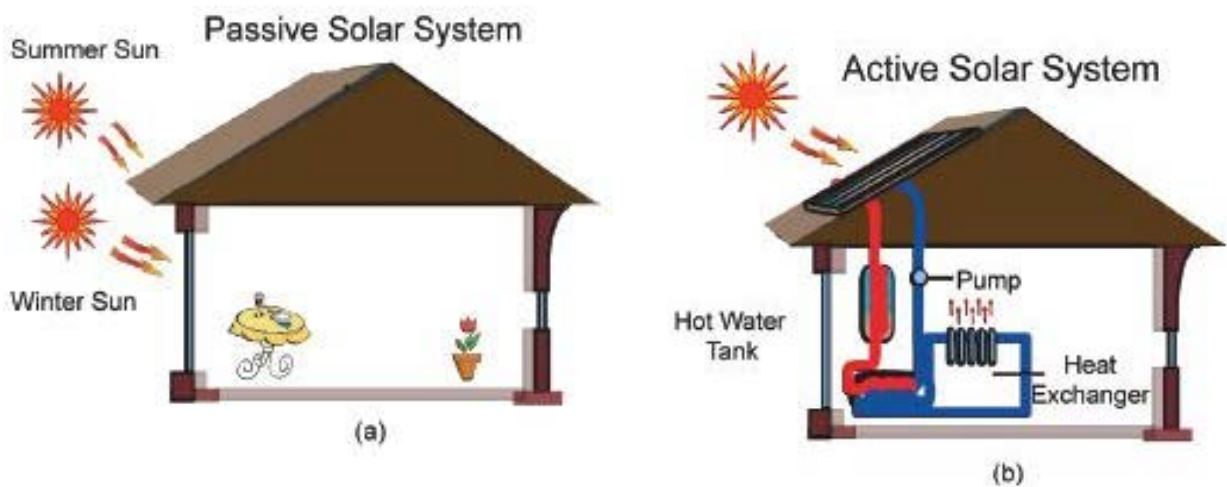


Рис. 2.3. Пасивна та активна система сонячного опалення [2]

...

Інтегрована (комбінована) система поєднує надійність і простоту пасивної системи та ефективність і гнучкість активної. В таких системах використовуються елементи «пасивного» і «активного» сонячного тепlopостачання.

2.2.1. Пасивні системи сонячного опалення

Використання форми та оболонки будівлі для прийому, зберігання та розподілу енергії з відновлюваних джерел, що підходить для будівель,

Розділ 2. СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ ДЛЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

зазвичай визначається як пасивний сонячний дизайн. пасивні системи в основному використовують сонячну енергію та свіже повітря за допомогою опалення, охолодження та освітлення приміщень без механічного чи електронного обладнання (рис. 2.4.).

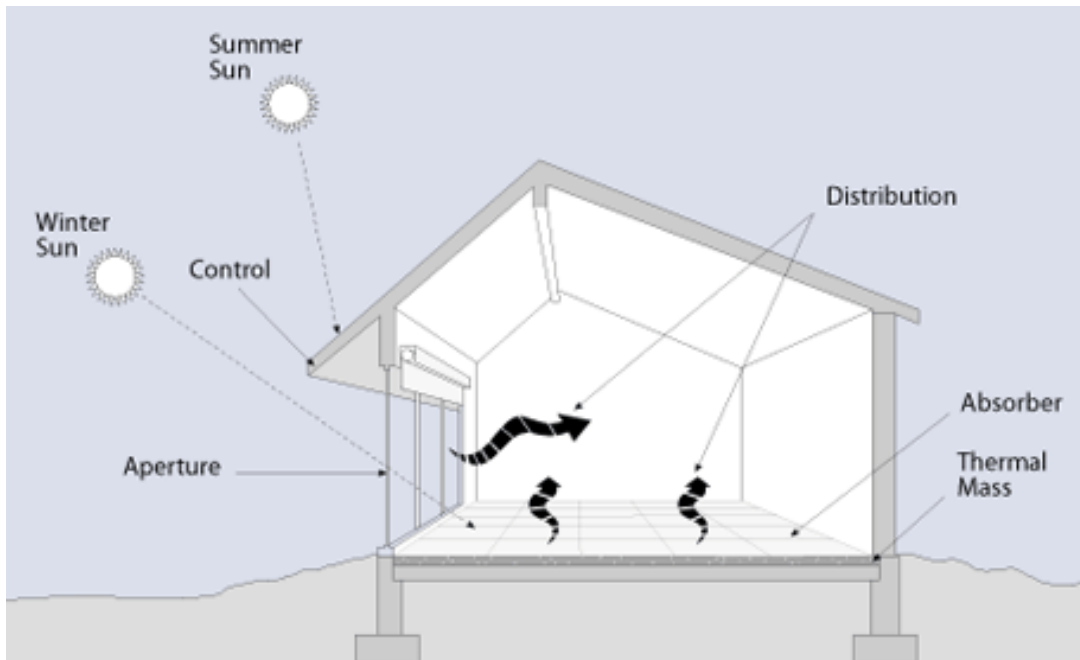


Рис. 2.4. Головні елементи пасивної системи [3]

Особливості пасивних систем:

- ✓ значні розміри на південній та практично їх відсутність на північній стороні (дійсно для всіх будівель північної півкулі);
- ✓ наявність елементів, що затіняють (покрівля даху, виступи балконів) для запобігання перегріву приміщень будівлі в літній період;
- ✓ компактність будівлі (відношення площі поверхні теплообміну будівлі до опалювального об'єму). Чим компактніша будівля, тим менші її теплові втрати;
- ✓ достатня інертність або термальна маса будівлі. Елементи конструкцій будівель повинні мати достатню теплоємність, оскільки саме вони відіграють роль «акумулятора енергії». Також термальна маса згладжує коливання різниці температур навколишнього повітря та всередині кімнати;
- ✓ висока ступінь теплоізоляції будівлі. Теплоізований будинок зменшує потребу в тепловій енергії взимку;
- ✓ орієнтація будівлі, форма та матеріал даху.

Основними методами пасивного сонячного опалення, поширеними на практиці, є прямий обігрів теплотою сонячного випромінювання; метод

заскленої масивної стіни (стіна Тромба); метод приєднаного сонячного простору (геліотеплиці, соляріуми) (рис. 2.5.).

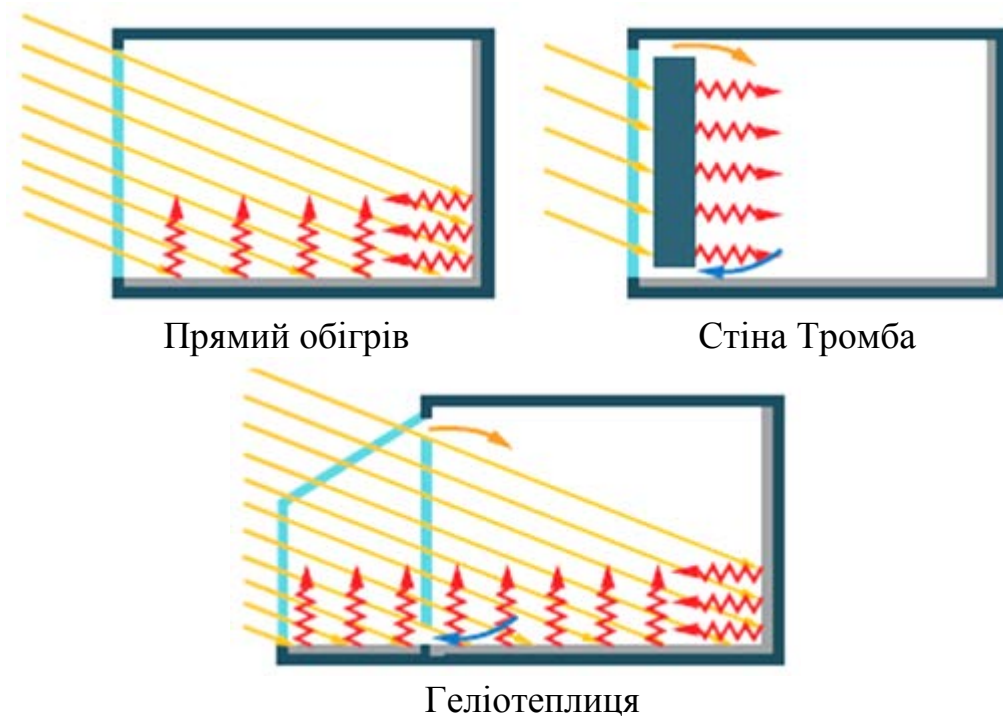


Рис. 2.5. Види пасивних систем сонячного опалення [4]

Прямий обігрів теплою сонячного випромінювання

Прямий обігрів теплою сонячного випромінювання вважається найпростішим типом обігріву. Будинки з прямим обігрівом обігріваються через вікна південної орієнтації, які називаються сонячними вікнами.

Сонячні вікна можуть бути виконані у вигляді традиційних вікон, що відкриваються або глухих, розміщених з південного фасаду будинку, або стандартними ізолюючими скляними панелями в стіні теплиці або солярію. У той час, коли частина теплоти використовується негайно, стіни, підлоги, стелі та меблі запасують надмірну теплоту, що випромінюється в простір вдень та вночі. У всіх випадках ефективність системи та комфорт приміщення з прямим обігрівом зростають зі збільшенням термічної маси (бетон, бетонні блоки, цеглини), розміщеної в межах цього приміщення (рис. 2.6.).

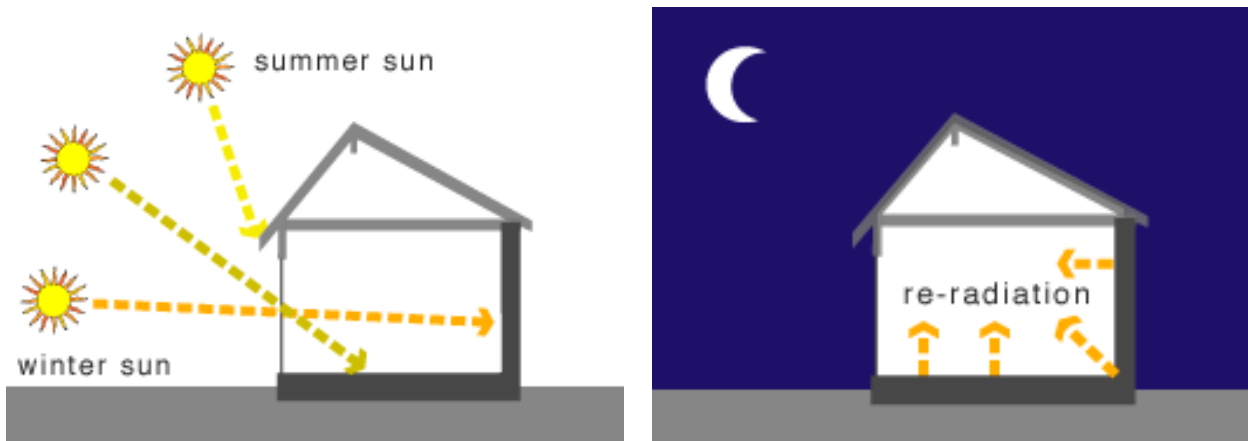


Рис. 2.6. Прямий обігрів теплотою сонячного випромінювання [3]

<https://www.greenspec.co.uk/building-design/solar-siting-orientation/>

Зазвичай цю систему поділяють на наступні типи:

- ✓ прямого сонячного обігріву житлових приміщень через вікна південної орієнтації (direct gain);
- ✓ обігріву ізольованого обсягу, тобто. теплиці (isolated gain).

Рекомендується розподіляти термічну масу рівномірно по всій площі приміщення обладнаного системою прямого сонячного обігріву. Краще розташовувати термічну масу на шляху променів прямого сонячного світла (радіаційне нагрівання), але маса, розміщена за його межами (нагрівання конвекцією повітря) також важлива для загальної ефективності системи. Теплоакумулююча маса в 4 рази ефективніша у тому випадку, коли вона знаходиться на шляху променів прямого сонячного світла і передає своє тепло конвекційним потокам повітря ніж тоді, коли вона лише нагрівається конвекційними потоками. Співвідношення між площами поверхні теплоакумулюючої маси і скління південної орієнтації 6:1.

До недоліків системи прямого обігріву можна віднести наступні. У зв'язку з тим, що через скління зберігається хороша видимість, тому бажаною є наявність приємного виду на навколишню природу через вікна прямого обігріву. Деяким людям неприємне сліпуче сонячне світло, що присутнє в приміщеннях з прямим сонячним обігрівом, крім того, воно призводить до вицвітання шпалер, меблевих тканин тощо. Проблемою також є те, що якщо мешканці будинку можуть бачити все, що відбувається зовні, також ззовні видно весь інтер'єр житла.

Метод заклої масивної стіни (стіна Тромба)

Сонячна стіна Тромба - це масивна кам'яна конструкція, яка встановлюється на південній стороні будівлі за фасадним оздобленням. Така

стіна може бути покрита селективно поглинаючою фольгою або пофарбована в чорний колір (рис. 2.7.).

Стіну Тромба розробив Едвард Морзе в 1881, а французький професор Фелікс Тромб відродив цю ідею в 1960 році. Такий пристрій стіни дозволяє збирати і накопичувати сонячну енергію за весь сонячний день, а потім це тепло віддавати приміщенню через певний час (зазвичай час віддачі випадає на ніч).

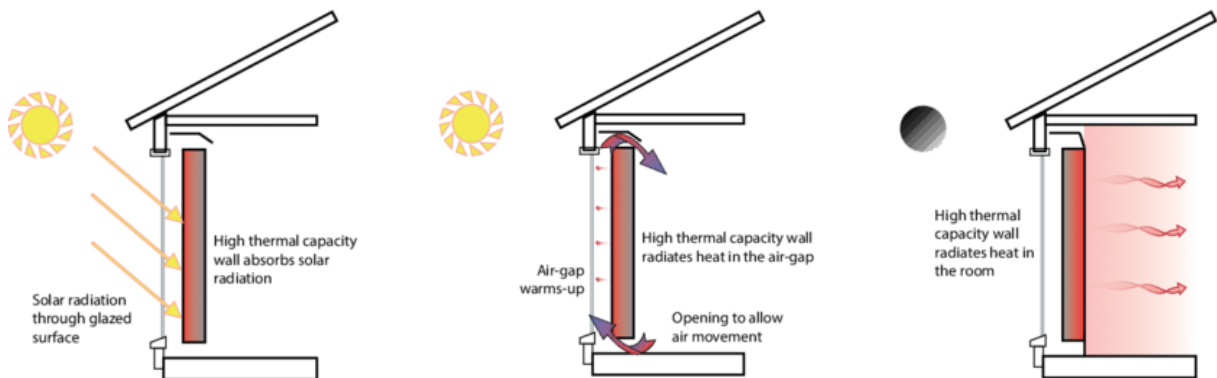


Рис. 2.7. Стіна Тромба [5]

https://www.researchgate.net/publication/326626129_Environmental_Design_Principles_for_the_Building_Envelope_and_More_Passive_and_Active_Measures

Стіна Тромба може бути не тільки бетонною, але і кам'яною або цегляною. Щоб поліпшити тепловіддачу стіни, створюються спеціальні отвори внизу і зверху стіни для забезпечення природної конвекції повітря, а для більш ефективною тепловіддачі встановлюють вентилятори, для примусової циркуляції.

2.2.2. Активні системи сонячного опалення

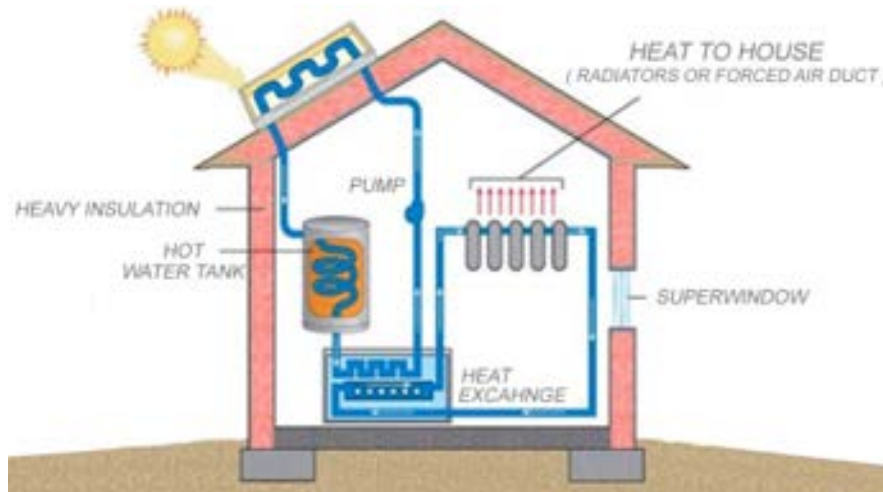
Активні системи сонячного опалення використовують сонячну випромінювання для нагрівання теплоносія та передають сонячне тепло безпосередньо у внутрішній простір або в систему зберігання для подальшого використання.

Активні сонячні системи теплопостачання найефективніші при цілорічному використанні, тому найкращі результати досягаються у холодному кліматі з великими сонячними ресурсами.

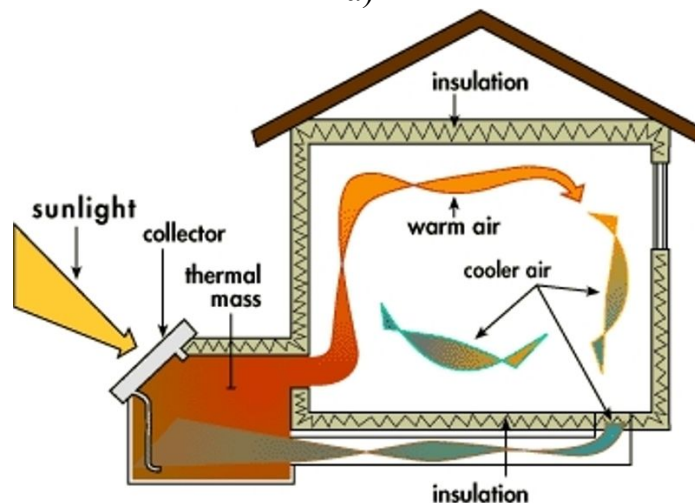
Системи активного сонячного теплопостачання бувають двох видів (рис. 2.8.):

Розділ 2. СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ ДЛЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

- ✓ з рідинним теплоносієм (в колекторі нагрівається вода або антифриз);
- ✓ з повітряним теплоносієм (в колекторі нагрівається повітря).



а)



б)

Рис. 2.8. Системи активного сонячного теплопостачання з теплоносієм:
а) з рідинним; б) повітряним [6, 7]

<http://cifi.it/notes.asp?iid=154162114-active+solar+energy&cid=6>,
<https://www.pinterest.com/pin/320951910929650940>

Оскільки активна сонячна система передбачає уловлювання та поглинання, аккумуляцію (накопичення та зберігання) та розподіл (передача в опалюваний простір) енергії, існує три основні компоненти:

✓ Уловлювання та поглинання сонячної енергії виконується за допомогою сонячного колектора, зазвичай плоского колектора, який являє собою просто скляну ізольовану коробку. Коробка містить чорні поглинаючі пластини, які поглинають сонячну енергію і перетворюють її в тепло.

✓ *Зберігання сонячної енергії* здійснюється за допомогою резервуарів для води або теплової маси для систем на основі рідин. Для систем з повітряним теплоносієм можуть використовуватися бункери з теплоакumuлюючими матеріалами, щоб утримувати нагріте повітря.

✓ *Розподіл сонячної енергії* відбувається в залежності від виду теплоносія. В системах з рідким теплоносієм обігрів приміщення може виконуватися шляхом встановлення звичайних радіаторів, «теплых» плінтусів, «теплых» підлог тощо. Системи на основі повітря використовують вентилятори та повітроводи (рис. 2.9.).

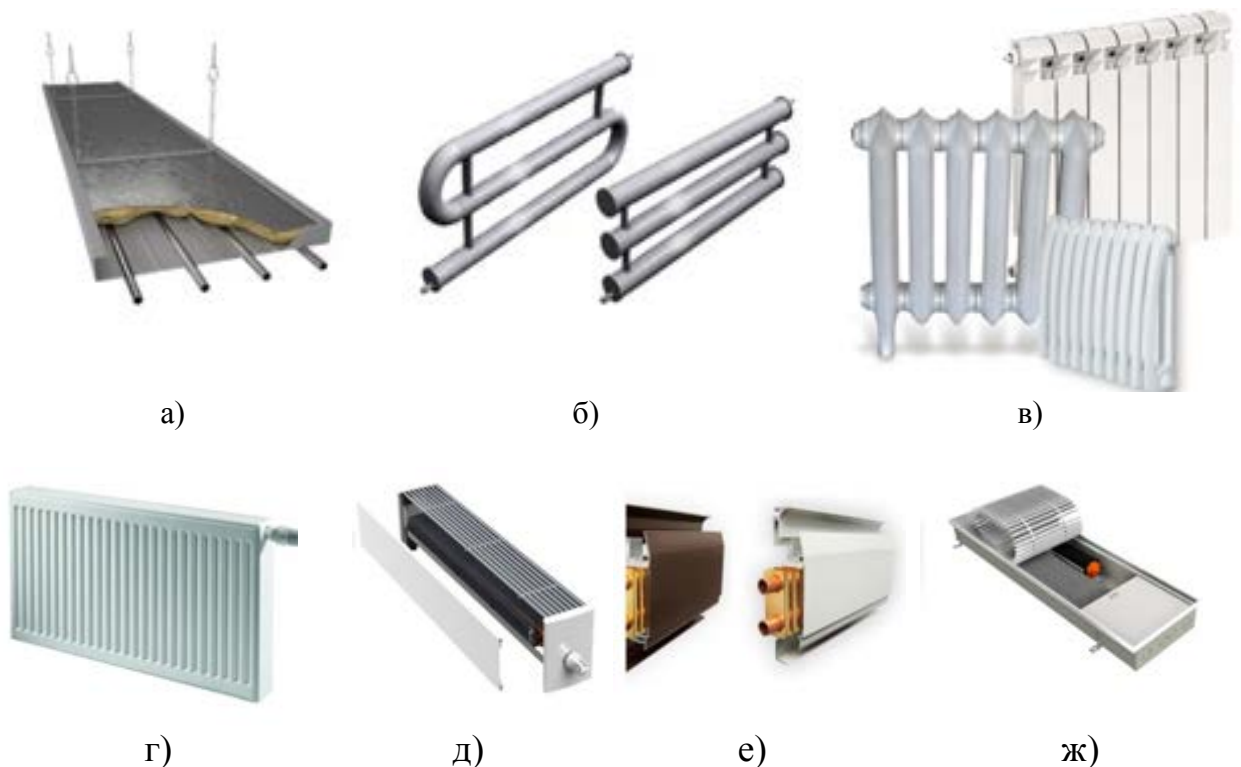


Рис. 2.9. Види приладів опалення:

а) - опалювальна панель; б) - реєстри з труб; в) - секційні радіатори;
г) - панельні радіатори; д) – конвектори; е) - теплий плінтус; ж) – каналний радіатор

2.3. Типи сонячних колекторів

Сонячний колектор - пристрій для збирання теплової енергії Сонця, що переноситься видимим світлом та ближнім інфрачервоним випромінюванням. Колектор також служить для передачі тепла теплоносія, теплота якого витрачається на потреби гарячого водопостачання, опалення та підігріву басейну.

Основним елементом сонячного колектора є абсорбер. Абсорбер – це поверхня колектора, яка за рахунок спеціального нанесеного селективного покриття забезпечує максимальне поглинання Сонячної енергії.

Існує два основних типи сонячних колекторів: плоскі та трубчасті.

Плоский сонячний колектор складається з плоского листового або пухового абсорбера, прозорого покриття та термоізолюючого шару. Прозорий елемент (скло) зазвичай виконується із загартованого скла зі зниженим вмістом металів. Як матеріал абсорбера зазвичай служить мідь або алюміній (рис. 2.10.а).

Другий вид сонячних колекторів – трубчасті вакуумні. У цих колекторах ізолятором служить вакуум, що заповнює простір у скляній колбі, в якій розміщений абсорбер. Існує кілька основних типів вакуумного трубчастого сонячного колектора. Найбільш поширена конструкція вакуумного трубчастого колектора із тепловими трубами (рис. 2.10.б).

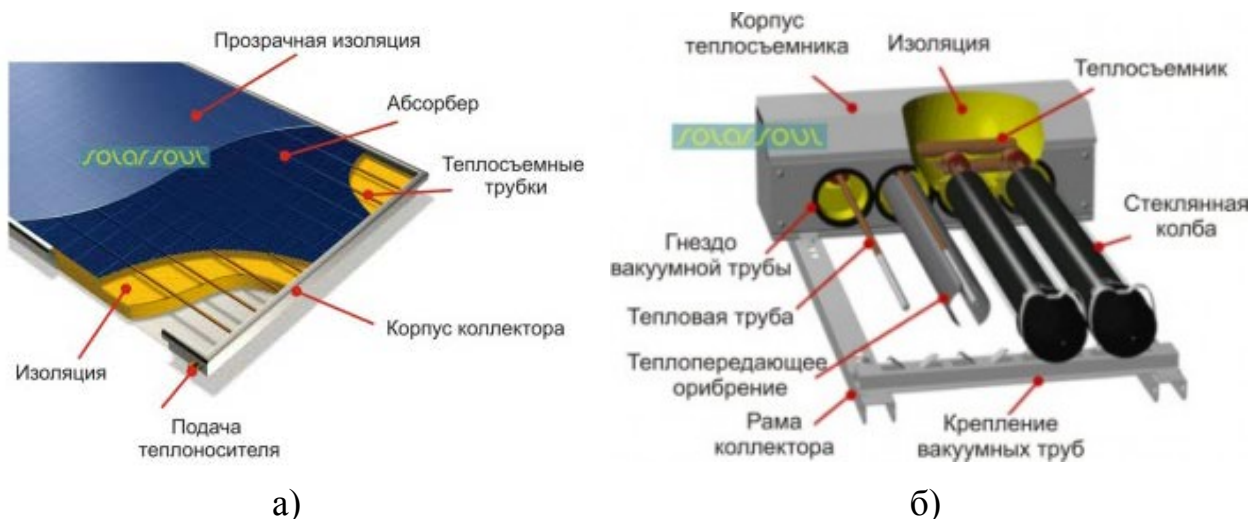


Рис. 2.10. Загальне улаштування сонячних колекторів: а) - плоский сонячний колектор; б) - вакуумний трубчастий сонячний колектор [8]

<https://solarsoul.net/solar-collector-2>

За типом теплоносія для поглинання теплової енергії колектори поділяють на водяні та повітряні.

Водяні сонячні колектори найбільше підходять для центрального опалення. Для опалення використовують аналогічні колектори, як і в домашніх системах сонячного водопостачання. Найпоширенішими є плоскі, проте доступні також вакуумні, а також концентруючі колектори. Для поглинання тепла в рідинних колекторах використовують рідкий теплоносій: вода, антифриз (як правило, низькотоксичний пропілен гліколь) або інша рідина. Пересування рідини в колекторі здійснюється за допомогою циркуляційного насоса, який певний час включає регулятор.

Оскільки по колектору рідина рухається досить швидко, її температура збільшується лише на 5.6°-11°C. При нагріванні менших обсягів рідини на велику температуру відбувається переохолодження колектора, що зменшує енергопродуктивність системи. Рідина надходить або в бак-акумулятор, або теплообмінник, після чого відразу ж використовується. Інші компоненти системи включають трубопровід, теплообмінник, бак-акумулятор та регулятори.

Повітряні сонячні колектори використовують повітря, як робоче середовище для поглинання та передачі енергії. Крім безпосереднього обігріву окремих кімнат, повітряні колектори можуть використовуватися для попереднього нагріву повітря, яке згодом може надходити у вентилятор рекуперації, або подаватися на змійовик повітряного теплового насоса.

Повітряні колектори можна використовувати в більш ранній та пізніший час доби в порівнянні з рідинними, що є явною перевагою першого – у спекотний сезон повітряний колектор виробляє більше енергії, ніж рідинний аналогічних розмірів. Крім того, на відміну від рідинних, повітряна система не тільки не замерзає, але й позбавлена істотних проблем, які може викликати найменший витік у колекторі та розподільчих каналах (хоча витіки дещо знижують продуктивність). Однак повітря є гіршим теплопровідником, ніж рідина, тому, в цілому, рідинний колектор має більший ККД, ніж повітряний.

2.4. Акумуляування теплової енергії

Для накопичення та зберігання теплової енергії використовуються теплові акумулятори. Теплові акумулятори дозволяють вирівняти та оптимізувати виробництво теплової енергії шляхом накопичення надлишкової енергії, компенсувати піки споживання та забезпечити подачу теплової енергії під час відключення основного джерела.

Акумулятори теплової енергії поділяються на 3 види:

- ✓ ємнісні теплоакумулятори;
- ✓ акумулятори, що використовують приховану теплоту фазових переходів;
- ✓ акумулятори, що базуються на поглинанні теплоти в процесі оборотних хімічних реакцій.

Звичайні теплові акумулятори на основі речовин з високою теплоємністю поширені найбільше. При застосуванні таких теплоакумуляторів використовують тепло, яке виділяється або поглинається фізичним тілом у міру зміни температури. Найбільш характерною теплоакумуляуючою речовиною є вода.

Акумулятори, що базуються на поглинанні теплоти в процесі оборотних хімічних реакцій, застосовувати поки недоцільно, у зв'язку з цілим рядом невирішених проблем таких як зміни властивостей теплоакумулюючих матеріалів у зв'язку з проходженням циклів і неповнотою проведення хімічної реакції, дорожнечі наповнювача, і часто наповнювач надмірно активний при контакті з водою або повітрям що неприпустимо.

Акумулятори, що використовують приховану теплоту фазових переходів, найбільш перспективні в даний час. У фазоперехідних теплоакумулюючих матеріалах передача термічної енергії відбувається під час фазового переходу, коли матеріал зазнає фазової трансформації (тверде → рідке). При трансформації фаз матеріалів тверде → рідке теплоакумулюючі матеріали поведуться як традиційні акумулюючі матеріали, їх температура підвищується, коли вони абсорбують тепло. На відміну від відомих теплоакумулюючих матеріалів фазоперехідних теплоакумулюючих матеріалах виділення температури пов'язане з утворенням кристалічної форми матеріалу, де акумуляція тепла відбувається через розпад кристалічної структури матеріалу при їх плавленні.

В якості теплоакумулюючих матеріалів фазового переходу перспективно використовувати чотири групи речовин: жирні кислоти, парафіни, гідрати солей і ряд сполук металів. [9].

Що стосується вибору теплоакумулюючого матеріалу, він повинен відповідати таким вимогам:

- ✓ матеріал має бути доступний у великих кількостях та бути порівняно недорогим;
- ✓ фазовий перехід повинен мати ефект виділення-поглинання прихованої теплоти;
- ✓ продуктивністю властивостей протягом великого числа фазоперехідних циклів без серйозного погіршення ефекту виділення поглинання прихованої теплоти;
- ✓ речовина повинна бути нешкідливою (нетоксичною, незаймистою, негорючою, некорродуючою).

У рідинних системах сонячного нагріву тепло найчастіше накопичується у баках-акумуляторах із водою. Принцип роботи теплоаккумулятором полягає в наступному. Під час роботи сонячний колектор не тільки подає нагрітий теплоносіє в систему опалення будинку, але й нагріває її в баку теплового акумулятора. Якщо колектор отримує замало енергії, будинок, відповідно, починає охолоджуватися. У цей момент датчик температури повітря або датчик температури теплоносія в системі опалення подають сигнал на включення циркуляційного насоса, який забезпечує подачу теплоносія, накопиченого в баку теплоаккумулятора, до системи опалення будинку.

Коли температура повітря (теплоносія) підвищується до встановленого значення, датчик вимикає насос і подача тепла припиняється. Температура теплоносія у баку у своїй трохи зменшується, т.к. частина енергії було передано до системи опалення (рис. 2.11.).

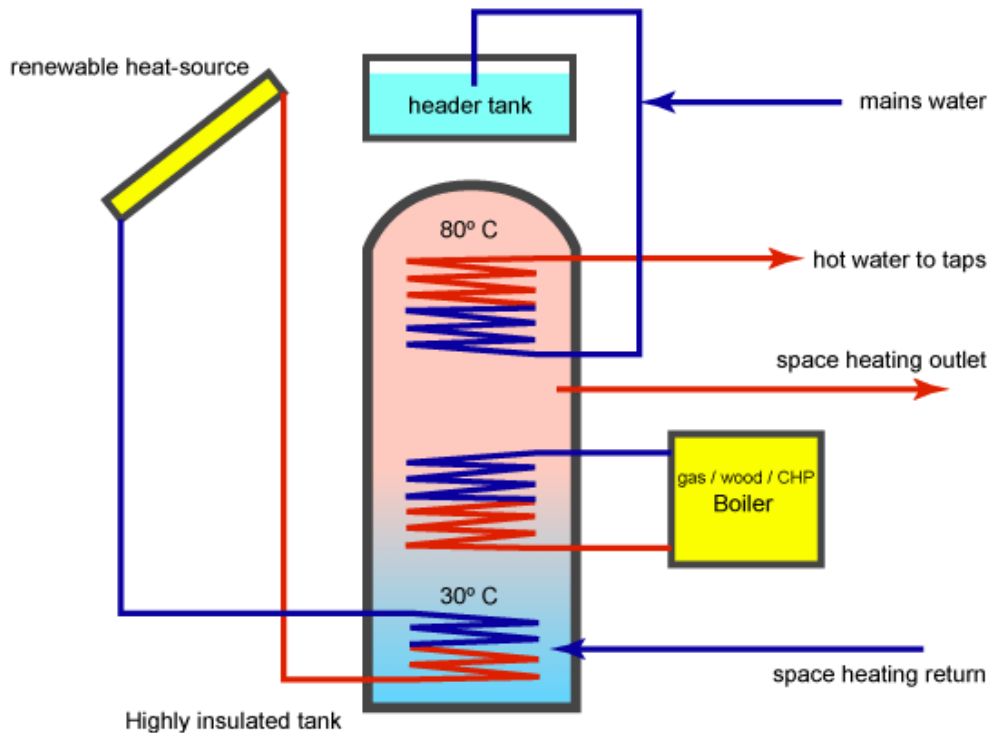


Рис. 2.11. Система опалення з сонячним колектором та теплоаккумулятором [10]

<https://www.greenspec.co.uk/building-design/thermal-storage/>

Відмінними теплозберігаючими та термонакопичувальними властивостями володіють також щебінь, цегла, гравій, бетон та багато інших різноманітних матеріалів. Найбільш поширено гравій застосовується у сонячних опалювальних системах із повітряними колекторами (рис. 2.12.).

Використання подібних накопичувачів сонячного тепла найчастіше зустрічається у комбінованих системах і дуже популярне у Сполучених Штатах Америки. Безперечним позитивним фактором є те, що його можна розмістити під підлогою приміщення.

Теплоаккумулятори на основі гравію, звичайно ж, мають певні недоліки. Зокрема, для рівномірної кількості тепла потрібно в два з половиною рази більше об'єму, тому до мінусів можна віднести громіздкість. При використанні гравійного акумулятора виникають проблеми з конденсацією і

розмноженням пліснявих грибків у гравії, що не сприятливо впливає на повітря в приміщенні.

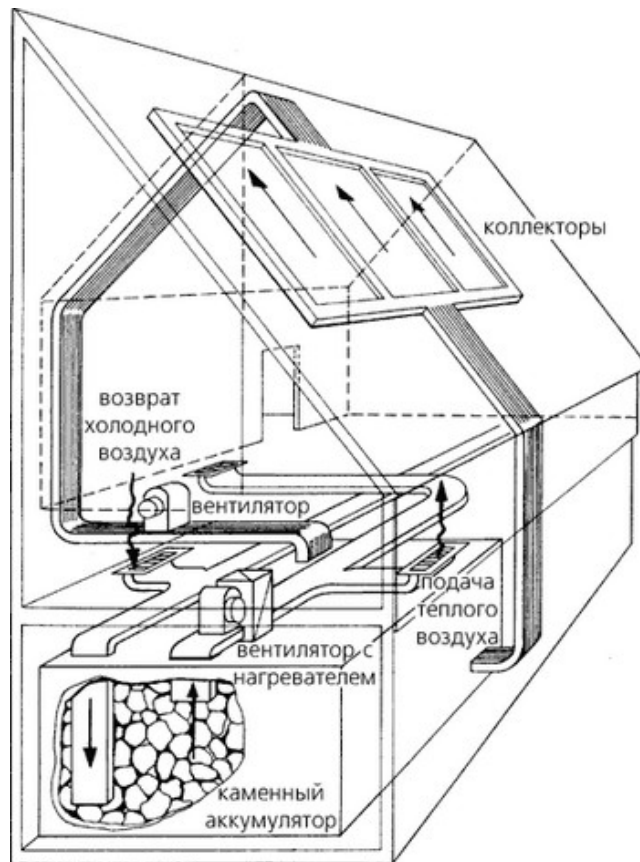


Рис. 2.12. Теплоаккумуляторы на основе гравия [11]

<http://tteh.com.ua/pub.php?id=54&lang=rus>

Акумуляція теплової енергії з використанням матеріалів із фазовим переходом вважається перспективною технологією. Ця енергія може зберігатися у вигляді систем накопичення тепла, прихованого тепла та термохімічних речовин. Системи акумуляування теплової енергії, засновані на використанні теплоти фазового переходу, активно досліджуються, але багато з них нині перебувають ще на стадії розробки та впровадження. Їх головними перевагами є висока теплова ємність, постійна робоча температура та низький тиск; недоліками - невисока стабільність більшості теплоакумулюючих матеріалів з фазовим переходом і ускладнення конструкції теплового акумулятора, необхідність вирішення проблеми теплообміну з середовищем, що акумулює.

2.5. Сонячне охолодження

Наразі найбільшого поширення набули чотири основні способи сонячного охолодження:

1. Активні системи
 - ✓ Кондиціонери на електроенергії, отриманої від сонячних панелей
 - ✓ Сонячні теплові холодильні установки
2. Пасивні системи
 - ✓ Зелені покрівлі
 - ✓ «Холодні» покрівлі
 - ✓ Водяні покрівлі
3. Комбіновані системи

2.5.1. Активні системи сонячного охолодження

Перший з них – це використання електроенергії, отриманої від сонячних панелей, для живлення енергією звичайних кондиціонерів. Крім того, з'явилися спеціалізовані прилади (наприклад, від DAIKIN, LG, Mitsubishi, Toshiba, Sanyo), які отримують енергію від «своїх» панелей. Такий пристрій можна застосовувати автономно, навіть якщо будинок не оснащений сонячними панелями (рис. 2.13.).

Зараз більшість цієї техніки передбачає часткове використання енергії Сонця. Будь-якої миті спліт-система готова переключитися на резервне електроживлення від мережі. У майбутньому виробники планують повністю адаптувати обладнання для живлення від сонячної енергії.

Таке обладнання виконане із трьох частин. Це сонячна панель, внутрішній та зовнішній блок. Внутрішня частина відповідає за перетворення енергії Сонця на електричну енергію за допомогою спеціального колектора. На зовнішній частині обладнання розташована спеціальна панель фото. Вона здатна поглинати сонячну енергію. І остання складова обладнання працює за принципом сонячної батареї, збираючи та зберігаючи енергію. Розташовується сонячна панель на зовнішній частині спліт-системи [12].

Енергії для кондиціонування потрібно більше саме в жарку пору року, що співпадає з періодом найбільшої інсоляції. Таким чином, пікове споживання холоду збігається з піками продуктивності як сонячних фотовольтаїчних, так і фототермальних модулів. Комбінуючи сонячну теплову енергію та сучасну абсорбційну та адсорбційні технології або теплові насоси, можна використовувати тепло для охолодження будівель.

Однак коефіцієнт корисної дії сучасних комерційних фотовольтаїчних панелей не перевищує 25%, тобто загальна ефективність перетворення сонячної енергії спочатку на електричну, а потім теплову, становить не

Розділ 2. СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ ДЛЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

більше 16–18%. Це загалом недостатньо ефективно і вимагатиме великих витрат за техніку. Тому вважається, що фотовольтаїчні кондиціонери поступаються ефективності кондиціонерам з безпосереднім використанням теплової енергії [13].

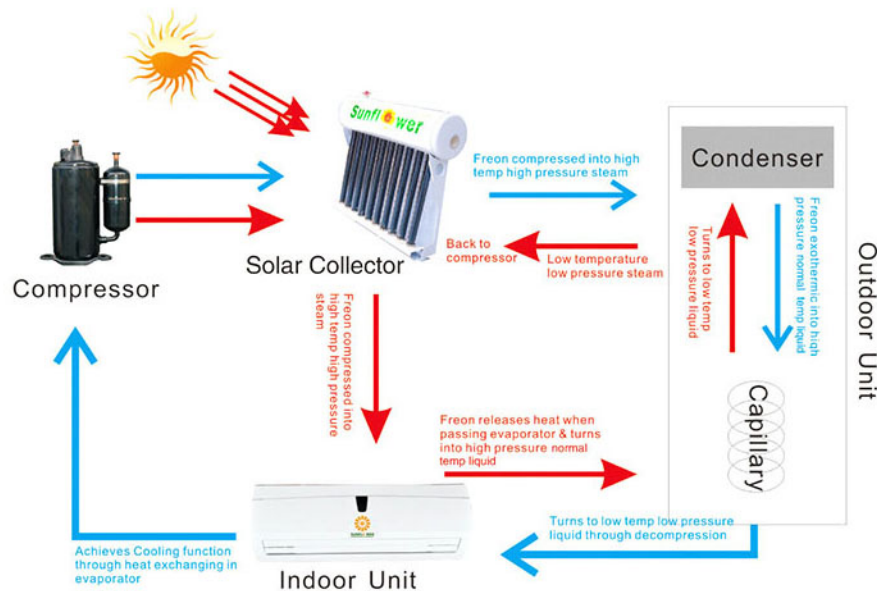


Рис. 2.13. Настінний Сонячний спліт-кондиціонер із сонячним колектором [14]

https://aliexpress.ru/item/4001041062397.html?sku_id=10000013712223816

Сонячні теплові холодильні установки

Сонячні теплові холодильні установки споживають незначну кількість електроенергії, яка витрачається лише на живлення приводів насосів або живлення електроніки управління.

Принцип сонячного охолодження нагадує традиційне охолодження. Зниження температури відбувається шляхом випаровування будь-якого

холодоагенту, який поглинає тепло та охолоджує середовище навколо себе. У термальних сонячних охолоджувачах замість електричної енергії як головна рушійна сила процесу охолодження використовується теплова енергія від Сонця. Перевага тут у тому, що порівняно із звичайними системами охолодження може бути досягнута значна економія електроенергії. Крім того, для отримання холоду як холодоагент може використовуватися чиста вода.

За принципом охолодження можна розділити на термомеханічні системи та системи, що використовують перетворення тепла. Системи замкнутого циклу виробляють охолоджену воду, а системи відкритого циклу безпосередньо обробляють повітря, що надходить або виходить з будівлі. Обидва типи систем можуть працювати як з твердими, так і з рідкими сорбентами.

Класифікація способів перетворення сонячного випромінювання для охолодження теплоносія або для кондиціонування повітря зазвичай представлена наступними основними видами (рис. 2.14. і рис. 2.15.):

1. Процес перетворення тепла з відкритим циклом.

Відкритий цикл: сонячна теплова енергія регенерує осушуючі речовини, такі як вода, висушуючи їх, тим самим охолоджуючи повітря. Можливі рідкі або тверді осушувачі. Поєднання осушення та випарного охолодження повітря.

2. Процес перетворення тепла з закритим циклом.

Закритий цикл: тепловий насос з тепловим приводом, який працює в замкнутому циклі з парою робочої рідини, як правило, абсорбент-холодоагент, такий як LiBr-вода та вода-аміак, або цикл адсорбції з використанням сорбції, такого як силікагель; два або більше адсорберів використовуються для безперервної подачі охолодженої води;

3. Термомеханічний холодильний процес (парокомпресійні установки).

Парокомпресійні холодильні установки працюють на електричній енергії, що одержується за допомогою фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії. Енергія направляється на привід компресора і реалізацію зворотного термодинамічного циклу з відбором тепла від об'єму, що охолоджується, і скиданням його в навколишнє середовище.

Сонячне охолодження з відкритим циклом

Система даного типу – це (волога або суха) система зниження вологості повітря, яка використовує як холодоагент або тверду речовину, або рідину, що знаходиться в прямому контакті з повітрям.

Основними елементами систем з відкритим циклом є випарювач-абсорбер та регенератор. Найпростіший регенератор (десорбер) є відкритою похилою площиною, що приймає сонячне випромінювання.

Використовується термін «відкритий цикл», оскільки холодоагент видаляється із системи після того, як він вступив у безпосередній контакт із кондиціонером. У цьому типі системи цикл сонячного теплового охолодження складається з охолодження випаром з осушенням повітря через десикант, і тому можна використовувати тверді або рідкі матеріали, що осушують.

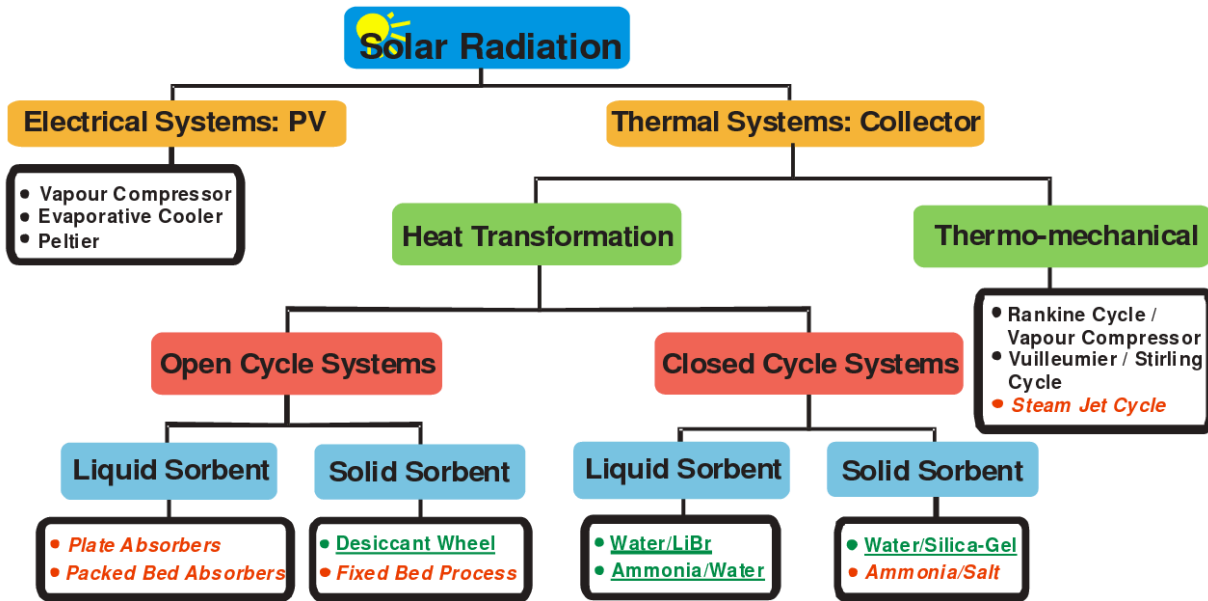


Рис. 2.14. Класифікація технологій сонячного охолодження [15]

...

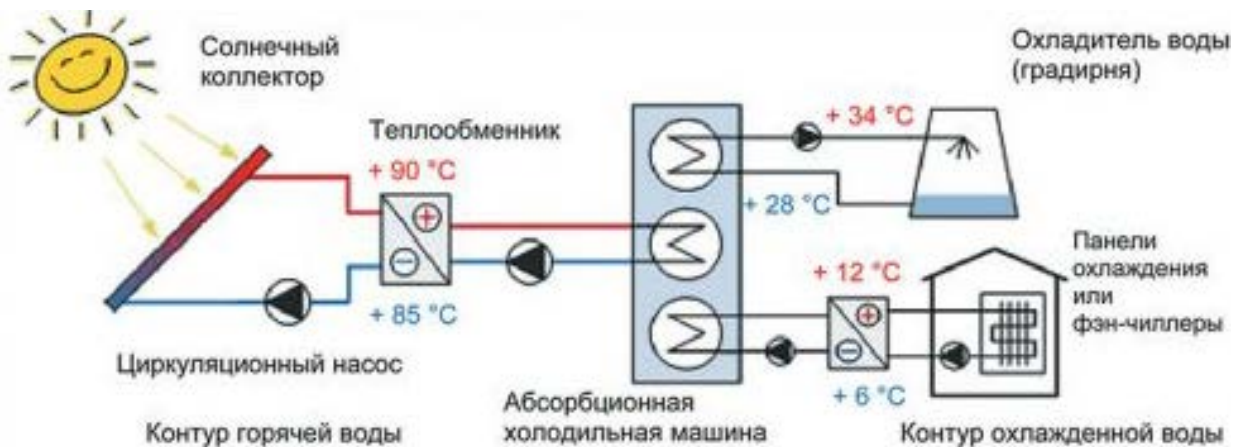


Рис. 2.15. Основна схема системи охолодження із сонячними колекторами [16]

<https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/solar-cooling.html>

У «сухих» або «твердотільних» системах як холодоагент використовують воду, а в якості водопоглинаючого матеріалу - силікагель. Для безперервної роботи силікагель переміщається механічним способом із зони поглинання вологи в зону відновлення працездатності (нагріву), наприклад, барабанами, що обертаються.

У «мокрих» або «рідинних» системах як осушувач використовується пара вода/літій-бромід, а охолодження абсорбційного холодильника забезпечується у відкритій мокрій градирні. Це найпоширеніший тип сонячних охолоджувачів, що має набагато більшу ефективність, ніж системи із сонячними фотовольтаїчними панелями.

Принцип дії абсорбційних охолоджувачів – конденсація холодоагенту за рахунок т.з. "температурного згущення". Холодоагент абсорбується («згущується») в системі при низькій температурі, а при високих температурах - випаровується (десорбується). Головна особливість проектування таких машин у тому, що абсорбційна холодильна машина має бути у постійній готовності поглинати сонячне тепло, тобто стагнація геліосистеми та її періодичне відключення тут неприпустимо (рис. 2.16.).

Сонячні колектори повинні працювати при температурах, на 8–14°C вище за робочу температуру абсорбційної установки.

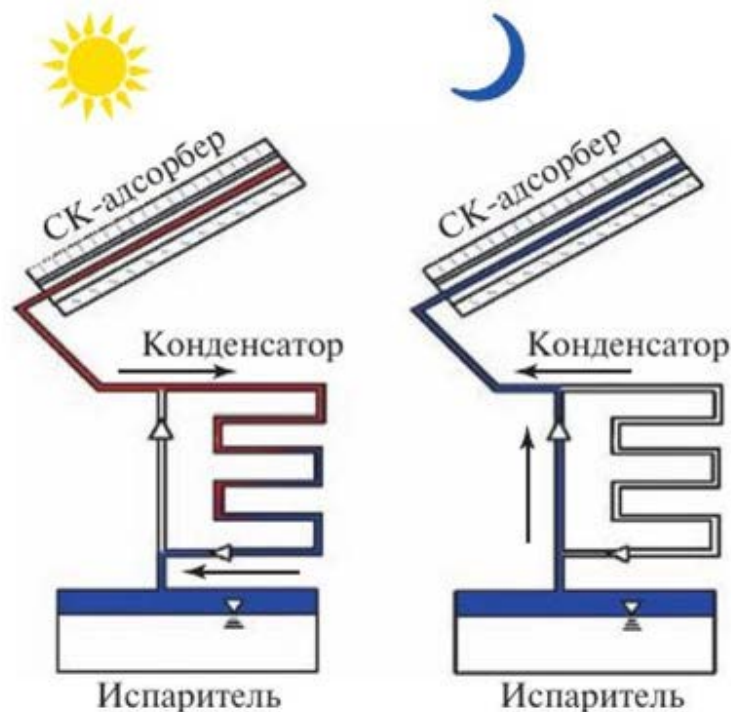


Рис. 2.16. Принципова схема сонячної адсорбційної установки [17]

Випарний охолоджувач (також охолоджувач вологим повітрям, охолоджувач/кондиціонер випарного типу, біокондиціонер) - пристрій, що охолоджує повітря за допомогою випаровування води. Випарне охолодження відрізняється від звичайних систем кондиціонування повітря, що використовують парокомпресійний цикл або цикл абсорбційного охолодження. У його основі лежить використання великої питомої теплоти випаровування води. Температура сухого повітря може бути істотно знижена за допомогою фазового переходу рідкої води в пару, і цей процес вимагає значно менше енергії, ніж охолодження компресійного. У дуже сухому кліматі випарне охолодження має також ту перевагу, що при кондиціонуванні повітря збільшує його вологість, і це створює більше комфорту для людей, які перебувають у приміщенні. Однак, на відміну від парокомпресійного охолодження, воно вимагає постійного джерела води, і в процесі експлуатації її постійно споживає.

Принципова відмінність системи випарного охолодження від традиційних систем - це, за умовчанням, на 100 % припливному, вуличному повітрі, тобто. йде не тільки охолодження, а й постійна вентиляція приміщення, що обслуговується. Для покращення мікроклімату у виробничих приміщеннях, як правило, необхідно забезпечити високу кратність повітрообміну з подачею в приміщення свіжого та чистого (очищеного) повітря, по можливості охолодженого.

Сонячне охолодження із закритим циклом

Закритий цикл означає, що виробляється охолоджена вода, яка може використовуватися в поєднанні з будь-яким обладнанням для кондиціонування повітря, таким, як блок повітропідготовки, системи фанкойлів (зворотна система нагрівання/охолодження) або фен-чіллерів (окрема система охолодження), або шляхом прокачування холодної води через трубки, що прокладені у підлогах, стінах або стелях будівлі.

В процесі замкнутого циклу охолоджувальна речовина не знаходиться в безпосередньому контакті з навколишнім середовищем, звідси і назва системи. Охолоджувач циркулює всередині замкнутої системи труб. Перш ніж подаватися в простір, що кондиціонується, відфільтроване повітря охолоджується і обробляється в осушувачі, а потім проходить через кілька додаткових ступенів охолодження. Сорбент регенерується навколишнім або витяжним повітрям, нагрітим до необхідної температури сонячним джерелом тепла.

Ядро замкнених систем сонячного теплового охолодження – т.зв. абсорбційні чиллери, оскільки вони видаляють тепло з циркулюючої рідини або шляхом стиснення пари або шляхом циклу абсорбційного охолодження. Необхідну вхідну теплову енергію для цього забезпечують панелі сонячних

коллекторів, і чиллери (охолоджувачі) використовують гарячу воду від них (рис. 2.17.).

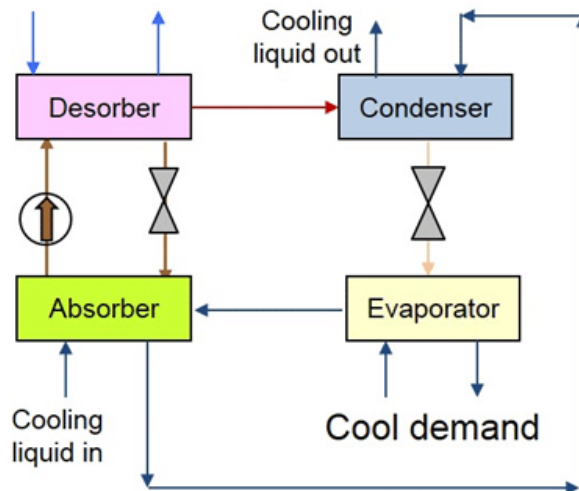


Рис. 2.17. Схема роботи абсорбційного чиллера [18]

https://www.researchgate.net/figure/Scheme-of-the-absorption-chiller_fig2_337984861

Для нагрівання теплоносія використовуються стандартні плоскі сонячні колектори. Для підвищення ефективності системи сонячного охолодження останнім часом застосовують вакуумні трубчасті колектори. Розмір та вибір сонячного колектора визначається робочою температурою абсорбційного чиллера, а також тепловою енергією, доступною в цій місцевості у вигляді сонячного випромінювання (рис. 2.18.).

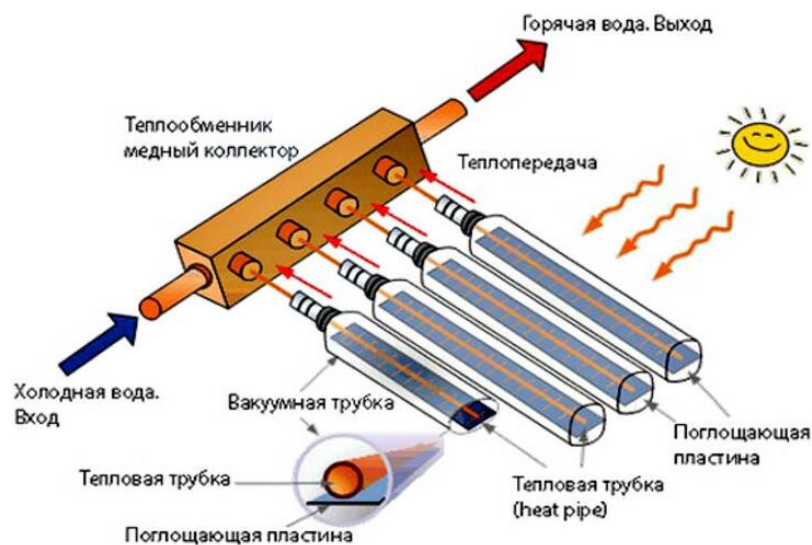


Рис. 2.18. Ілюстрація роботи вакуумного сонячного колектора [19]

2.5.2. Пасивне сонячне охолодження

Крім використання активних систем сонячного охолодження існують також способи пасивного охолодження з використанням енергії Сонця. Пасивна сонячна система автоматично генерує потік повітря, що охолоджує, за допомогою природної конвекції. Щоб згладити екстремальні добові коливання температури у багатьох будинках по всьому світу застосовуються стіни Тромба або інші теплопоглинаючі конструкції. Наприклад, для пасивного охолодження застосовуються водоймища, розташовані на плоскому даху, або «зелені дахи», покриті шаром ґрунту з висадженою на ньому рослинністю, з краплинним поливом (пасивне охолодження випаровуванням).

Зелені покрівлі

Зелені покрівлі, що передбачають висадку рослинності на дахах будівель, вважають ефективним підходом завдяки ефекту випаровування та затінення. Більше того, зелені покрівлі, створюють зелені зони, замінюючи темні та відкриті бетонні поверхні, сприяють зменшенню енергії та вуглецю за рахунок збільшення значення маси та теплового опору [20].

Надходження сонячного тепла може бути зменшено зеленими насадженнями на покрівлі, з подальшим перетворенням поглиненого сонячного тепла в приховане тепло шляхом випаровування та зменшення поглиненого випромінювання, що призводить до зниження температури поверхні та зниження випромінюваного довгохвильового випромінювання, і, як наслідок, зниження температури повітря (рис. 2.19., 2.20.) [20-22].

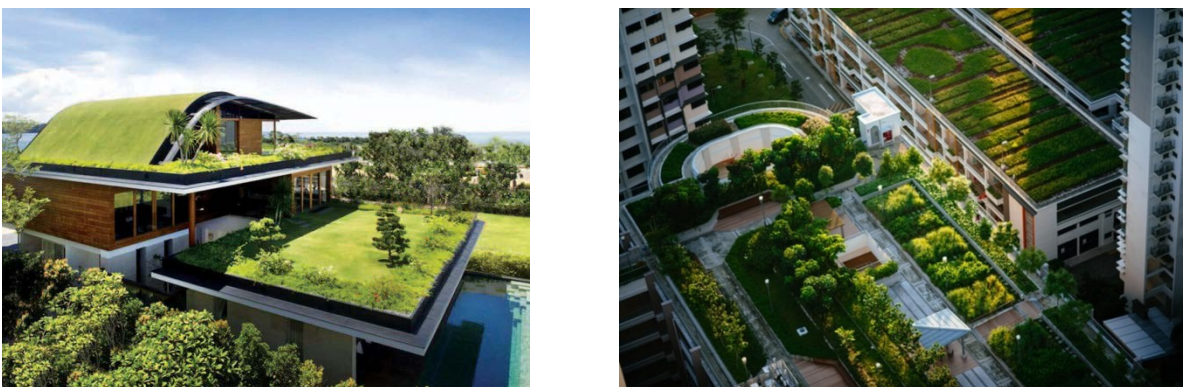


Рис. 2.19. Зелені покрівлі [21, 22]

<https://cgbg.org/blog/whatisagreenroof/>; <https://www.construction21.org/articles/h/all-you-need-to-know-about-green-roof-construction.html>

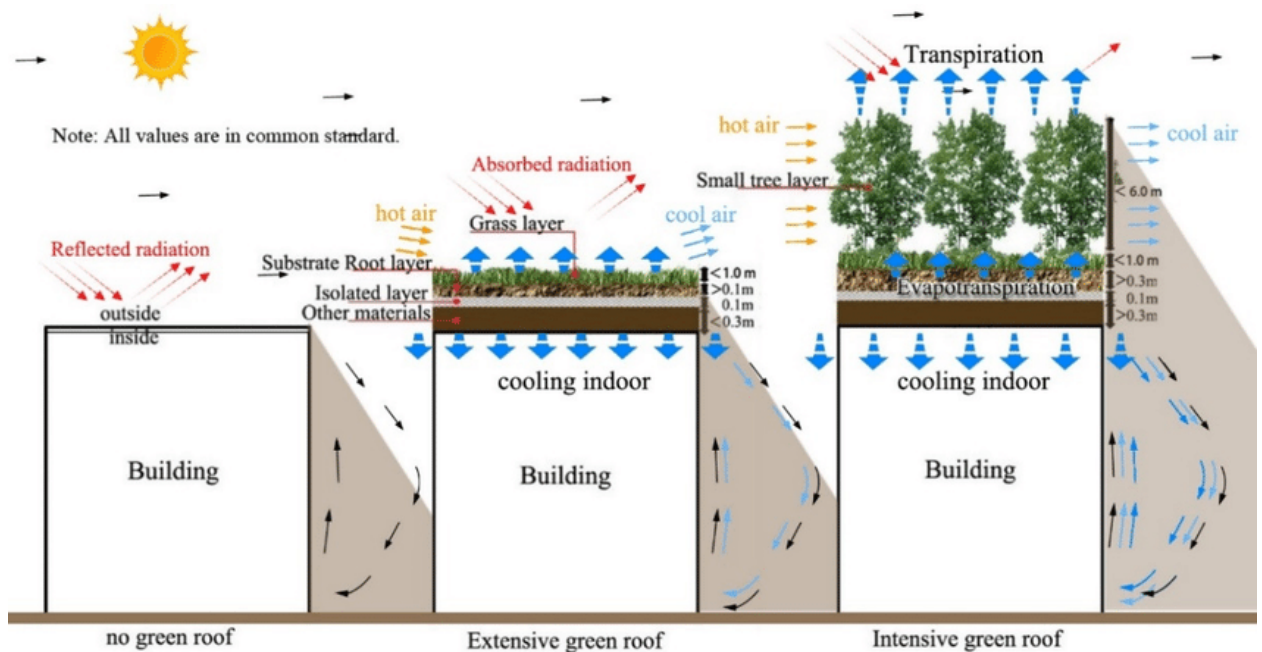


Рис. 2.20. Схематична структура екстенсивного зеленого даху та інтенсивного зеленого даху та механізму охолодження в денний час [20]

https://www.researchgate.net/figure/A-schematic-structure-of-an-extensive-green-roof-and-an-intensive-green-roof-and-the_fig1_330287102

При строгому підході фахівці поділяють зелені покрівлі дахи: екстенсивну (необслуговувану) та інтенсивну (з обов'язковим доглядом). На плоских покрівлях застосовують озеленення інтенсивного та екстенсивного типу. На скатних – лише екстенсивного.

Покрівля екстенсивного типу – автономна екосистема із мінімальним втручанням людини. У завершеному вигляді конструкція являє собою суцільний килим із низкорослих посухостійких рослин. Культури висаджують у покладений на покрівлі шар землі завтовшки 7-15 см або штучні ємності (піддони, горщики). Догляд полягає в інтенсивному поливі, особливо під час зростання. По екстенсивній покрівлі не можна ходити, що ускладнює обслуговування.

Інтенсивне озеленення даху - це створення на поверхні повноцінної зеленої зони з газонами, клумбами, чагарниками і деревами. Інтенсивним воно називається, в тому числі, тому, що потребує регулярного догляду: прополювання, поливання, обрізування і так далі. Ще одна причина такої назви – активна експлуатація такого даху людьми. Вона може служити як чудове місце для розваги та відпочинку, тому на ній можуть бути розташовані лавки, альтанки, ігрові майданчики, турнікети та багато іншого.

Прохолодні покрівлі

Дахи та тротуари зазвичай покривають близько 60% території міста, а звичайні покрівельні матеріали та тротуарні матеріали поглинають близько 80% сонячного світла. В результаті ці поверхні є одними з найбільших факторів, що впливають на ефект міського теплового острова, що підвищує потребу в охолодженні та ризик небезпечних екстремальних спекотних явищ.

Залежно від матеріалу даху та ступеня утеплення його зсередини будівлі, певна частина теплоти надходить усередину приміщень, інша частина випромінюється назовні, значно підвищуючи температуру повітря над поверхнею даху. І в тому й іншому випадку ми маємо негативні для нас наслідки. Теплова енергія, що надходить усередину будівлі від нагрітого даху, істотно підвищує теплове навантаження на приміщення в ньому і, як наслідок, підвищує витрату електроенергії на їхнє кондиціонування або витрати на ізоляцію даху та горища. З іншого боку, теплове випромінювання від нагрітих поверхонь дахів, особливо при великій щільності забудови, разом із теплом від нагрітих поверхонь дорожніх покриттів та відсутністю зелених насаджень призводить до додаткового підвищення температури повітря у великих містах, виникає так званий ефект теплового острова. Крім того, при періодичному значному нагріванні матеріалу, з якого виготовляють дахи, термін їх експлуатації знижується.

В даний час, при постійному дорожчанні енергоресурсів та глобальному потеплінні клімату, питання енергозбереження стоять як ніколи гостро. В Америці та Європі з недавніх пір з'явилося таке поняття, як прохолодні дахи (cool roofs), і вже на законодавчому рівні ставляться завдання стимуляції їхнього широкого впровадження у будівництві, а для регіонів з переважанням сезону високих температур розробляються спеціальні програми з цього приводу.

Прохолодні дахи виготовляються з матеріалів з великим коефіцієнтом відбиття інфрачервоного випромінювання, зазвичай, яскраво-білого кольору. Метал, як матеріал з високою теплопровідністю, не може застосовуватися для прохолодних дахів. В даний час в цій якості частіше використовуються матеріали на вінілової основі (рис.2.21.).

Застосування даної технології значно знижує температуру поверхні даху, зменшуючи тим самим надходження тепла в приміщення, мінімізуючи енерговитрати на їх кондиціонування при невеликих капітальних вкладеннях і, що найголовніше, покращує мікроклімат у цих приміщеннях. Це особливо актуально для районів із спекотним кліматом. Для холодних районів використовувати прохолодні дахи є економічно не вигідним, хоч і не збитковим. Масове застосування прохолодних дахів у будівництві може зменшити ефект теплового острова у великих містах і, відповідно, ймовірність смогу від нього.

Розділ 2. СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ ДЛЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

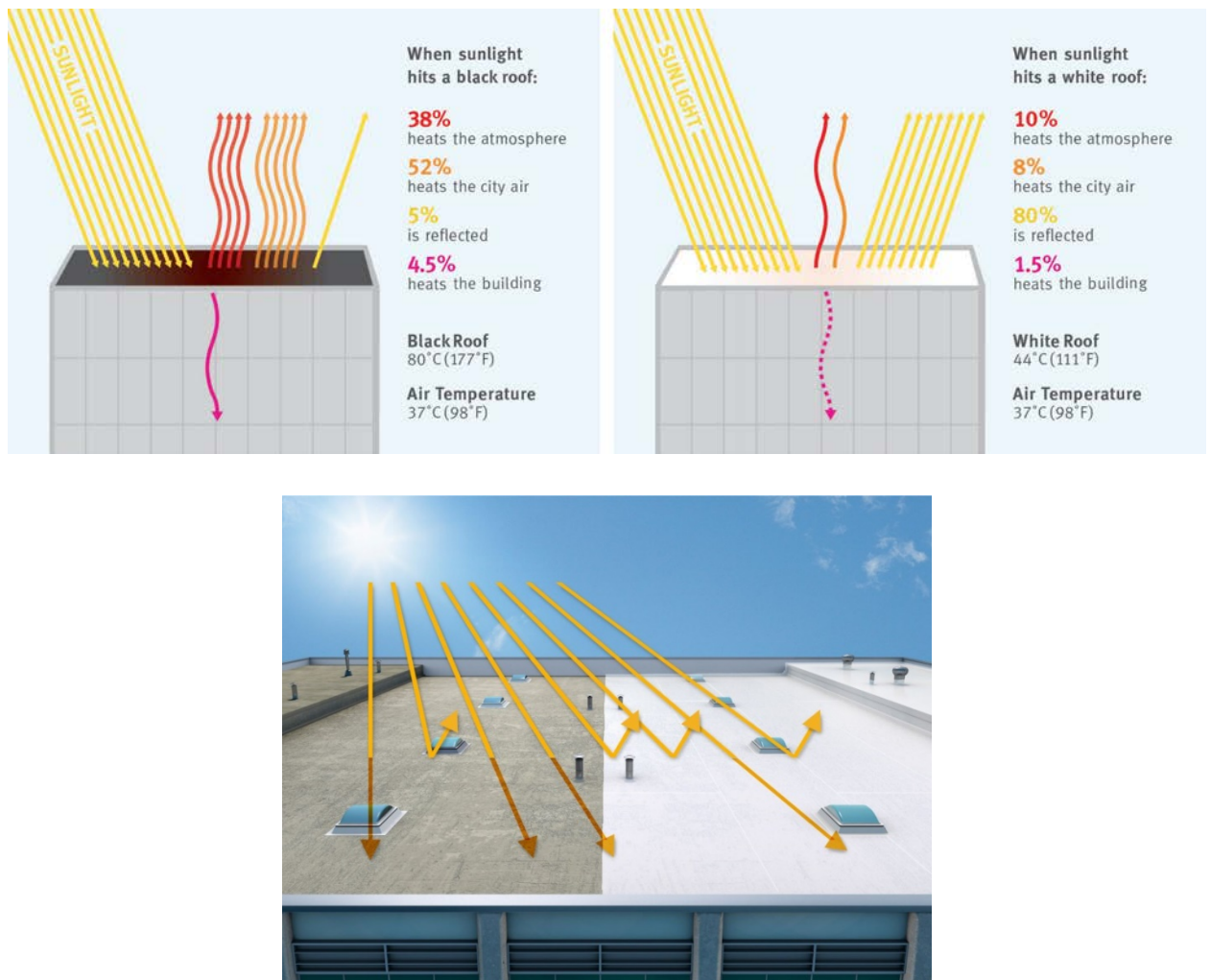


Рис. 2.21. Схема охолодження білого даху відносно чорного даху [23, 24]

https://www.c40knowledgehub.org/s/article/A-Practical-Guide-to-Cool-Roofs-and-Cool-Pavements?language=en_US

<https://www.sika.com/en/knowledge-hub/cool-roofs-and-energy-efficiency.html>

Застосування даної технології значно знижує температуру поверхні даху, зменшуючи тим самим надходження тепла в приміщення, мінімізуючи енерговитрати на їх кондиціювання при невеликих капітальних вкладеннях і, що найголовніше, покращує мікроклімат у цих приміщеннях. Це особливо актуально для районів із спекотним кліматом. Для холодних районів використовувати прохолодні дахи є економічно не вигідним, хоч і не збитковим. Масове застосування прохолодних дахів у будівництві може зменшити ефект теплового острова у великих містах і, відповідно, ймовірність смогу від нього.

Звичайно ж, прохолодні дахи мають свої недоліки. Наприклад, забруднення з часом поверхні та, відповідно, зниження ефективності відбивання або негативний ефект для періоду опалення будинку. Але в

цілому розрахунки показують, що при правильному та раціональному застосуванні цієї технології енергозбереження у глобальному масштабі можна досягти значного ефекту та економії коштів.

Штучні водойми на даху

У системі охолодження покрівлі на водяній основі вода відіграє роль теплоносія, збільшуючи чисту радіаційну потужність охолодження системи. Систему охолодження на водяній основі можна легко експлуатувати, оскільки водяна потужність вище, ніж повітряна [25]. Ця система складається з двох класифікацій, тобто відкритої системи на основі води, яка зазвичай використовує водойму або відкриті резервуари для води, і закритої системи на водній основі, яка широко використовується для систем кондиціонування повітря, системи охолодження тощо (рис. 2.22., 2.23.).

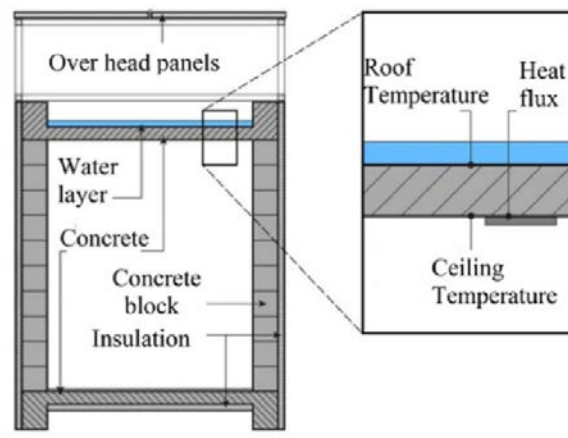


Рис. 2.22. Покрівля із штучною водоймою [25]

https://www.researchgate.net/publication/348834696_A_Review_of_Radiative_Cooling_Technology

Комбінування пасивних та активних технологій сонячного охолодження дозволяє найбільш повно використовувати потенціал локального розташування житла – орієнтація по сторонах світла, місцева інсоляція та кількість сонячних днів у році, наявність природних джерел охолодження (водойм, ґрунтові води) та природних акумуляторів (стабілізаторів) теплової енергії. підземна кам'яна кладка, скельний ґрунт) тощо. Спільне проектування пасивних та активних пристроїв в єдину систему дозволяє суттєво скоротити загальні витрати на технічну частину та знизити встановлену потужність активних агрегатів, але при цьому досягти встановлених параметрів. Це суттєво підвищує загальну надійність, збалансованість та стійкість усієї системи. Крім того, спільне використання

пасивних та активних технологій дає можливість реалізувати систему, яка виконуватиме охолодження влітку та опалення взимку з використанням по суті тих самих технічних пристроїв. Такий комплексний підхід дозволить зробити сонячне охолодження (плюс опалення) менш затратним та загальнодоступним.

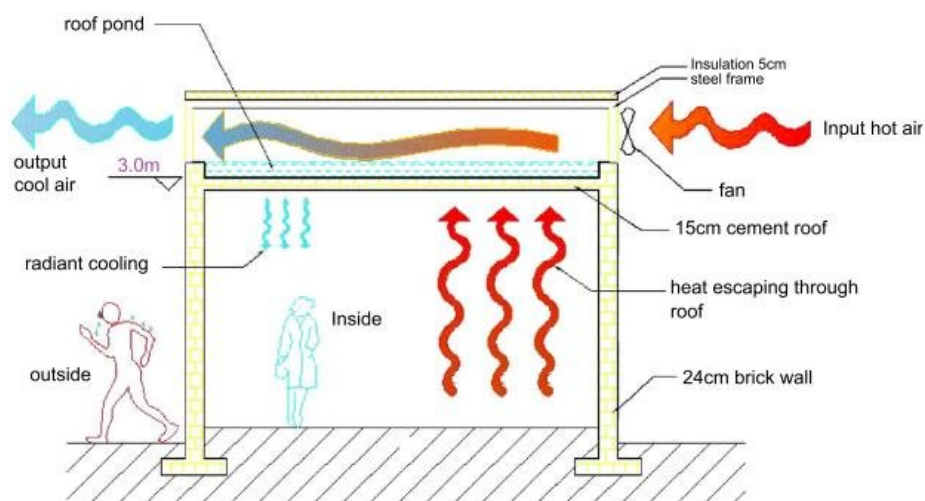


Рис. 2.23. Відкрита система штучної водойми на даху з примусовим електричним вентилятором [25]

https://www.researchgate.net/publication/348834696_A_Review_of_Radiative_Cooling_Technology

Охолодження приміщень за допомогою активних та пасивних сонячних технологій – загальносвітова тенденція, яка через очевидні кліматичні зміни має величезну перспективу технічного розвитку та широкого застосування.

2.6. Сонячні електростанції для індивідуальних будівель

Зі зростаючим попитом на фотоелектричні системи генерації сонячної енергії комунальні підприємства надали споживачам можливість підключити свої системи до мережі. На цьому етапі було введено новий термін під назвою «Net Energy Metering» або Система чистого вимірювання [26].

Станом на 2019 рік понад 70 країн застосовують Систему чистого вимірювання споживання енергії для стимулювання розвитку відновлюваної енергетики.

Розрізняють два види механізму Net Energy Metering:

Розділ 2. СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ ДЛЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

✓ **Net Metering** передбачає, що підприємство використовує «чисту» електроенергію, а надлишок віддає в мережу. Потім воно може забрати її з мережі в період, коли обсяг генерації менший, ніж обсяг споживання.

✓ **Net Billing** полягає в тому, що надлишок виробленої електроенергії обчислюється за встановленою ціною на ринку.

Це відносно простий законодавчий інструмент, по суті є механізмом заліку надлишків енергії, які просьюмер (виробник-споживач) скидає в мережу в межах поточного або наступних облікових періодів - місяця або року.

Приблизно так діє вітчизняний «зелений» тариф для приватних осіб [27]. Кожен власник будинку або підприємства із сонячною станцією наприкінці місяця отримує квитанцію, в якій зазначено обсяг спожитої ним енергії, обсяг скинутої енергії у мережу та різницю між ними. Цю різницю за зеленим тарифом оплачує енергокомпанія.

У системі net metering механіка процесу та сама, хоча ви не продаєте енергію за зеленим тарифом. Видача в мережу вище за споживання - вам зараховується кредит кВт*год на наступний період.

Обидва варіанти можливі через підключення системи сонячної генерації до загальної комунальної електромережі.

Таким чином за типом роботи можна виділити (рис. 2.24.):

- ✓ Автономні сонячні електростанції.
- ✓ Інтегровані сонячні електростанції.

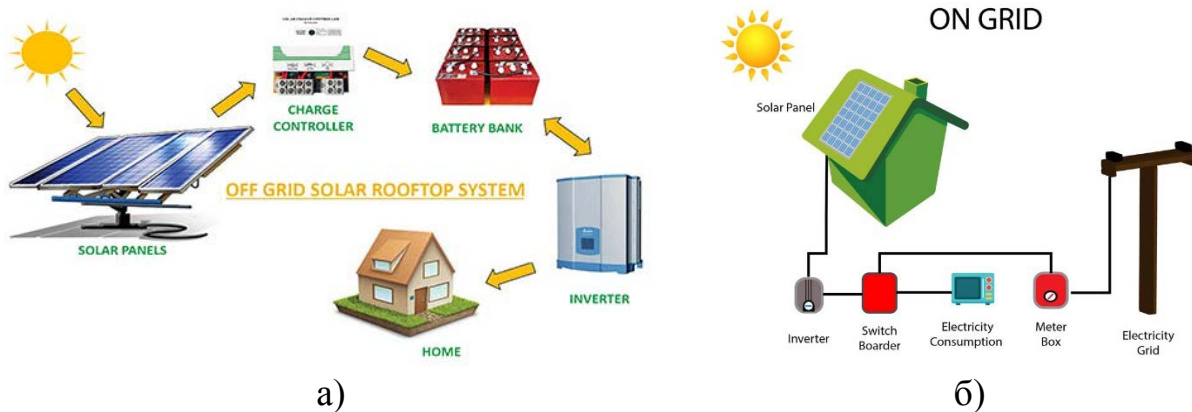


Рис. 2.24. Сонячні електростанції: а) автономні [28]; б) інтегровані [29]

Інтегровані до загальної мережі сонячні електростанції містять сонячні панелі, інвертор та обладнання для підключення до мережі. Системи, підключені до мережі, підходять для різних установок, наприклад, у житлових приміщеннях. Зазвичай система, підключена до мережі, не вимагає резервного живлення від батареї, тому що, коли система генерує більше енергії, ніж навантаження, вона автоматично передається до мережі електропостачання. У житлових будинках сонячні системи на даху,

Розділ 2. СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ ДЛЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

підключені до мережі, зазвичай мають потужність 10 кіловат, що може бути достатньо задоволення вимог будинку, а надлишок живить мережу, яка може використовуватися іншими споживачами, підключеними до мережі. Система зворотного зв'язку або передачі надлишкової потужності працює через лічильник для відстеження потужності, що передається. У деяких випадках потужність фотоелектричної системи може бути меншою за нормальне споживання через кілька різних факторів, і в цьому сценарії споживач використовуватиме енергію мережі.

Автономна сонячна електростанція призначена для роботи як основне джерело електроенергії або джерело безперебійного електроживлення. Автономні сонячні електростанції використовуються там, де немає можливості підключитися до електромережі загального користування, але є необхідність у надійному джерелі електроенергії стабільної якості: відокремлені котеджі та готелі, АЗС, віддалені від комунікацій виробничі та комерційні об'єкти.

Більшість автономних сонячних електростанцій складаються з чотирьох основних компонентів - сонячних панелей, контролера зарядного пристрою, інвертора і батареї [30].

Сонячні панелі. Найбільш очевидною частиною автономної сонячної системи є сонячні панелі. В даний час найбільш економічними є сонячні панелі, що складаються з 60, 72, 120 або 144 елементів. Сонячні елементи – це маленькі квадрати, які формують усю панель. У наші дні монокристалічні панелі є галузевим стандартом для більшості систем, про які ми поговоримо пізніше докладніше. Типова 60-осередкова монокристалічна сонячна панель вихідну потужність в діапазоні 300-330 Вт, тоді як 72- або 144-осередкова панель зазвичай має потужність близько 360 Вт або вище.

Кількість сонячних панелей, необхідних для автономної сонячної системи, варіюється в залежності від прогнозованої потреби. Окремі панелі з'єднуються у сонячну батарею. Для цього сонячні панелі послідовно з'єднуються, утворюючи групу, потім різні групи сонячних панелей підключаються паралельно і об'єднуються в блок суматора, який відправляє сигнал на обладнання, яке керує потужністю.

Є три основні способи встановлення сонячних панелей, і вибір залежить від конкретного застосування:

- ✓ монтаж на даху (установка сонячної батареї на будинок або іншу конструкцію покриття);
- ✓ монтаж на стовп закріплений у окремому фундаменті;
- ✓ монтаж на землі (установка сонячної батареї на бетонні опори ближче до землі).

Контролер заряду. Контролер заряду – це пристрій, який керує потоком енергії від сонячних панелей до батареї. Контролери заряду стежать за тим, щоб батареї були заряджені належним чином і не перезаряджені, що

важливо для довговічності батарейного блоку. Існує два основних типи контролерів заряду:

- ✓ MPPT (відстеження максимальної потужності)
- ✓ PWM (імпульсна модуляція).

Контролери заряду PWM використовують імпульсну модуляцію для регулювання швидкості, з якою енергія від сонячних панелей відправляється в батареї. При використанні контролерів заряду PWM важливо, щоб номінальна напруга панелей відповідала номінальній напрузі батарей. Наприклад, якщо в системі використовуються панелі на 12 вольт, акумуляторна батарея має бути теж на 12 вольт.

Контролери заряду MPPT відрізняються тим, що вхідна напруга від сонячних панелей повинна бути на 30% вище за напругу батареї (до межі контролера заряду), тому не має великого значення, яка напруга сонячної панелі використовується із системою. Контролери заряду MPPT більш ефективні через їхню здатність відстежувати максимальну точку потужності, що надходить від сонячних панелей і доставляє її в батареї. Потрібна більш висока напруга / нижчий вхідний струм і перетворення його на нижчу напругу / більш високий вихідний струм для тієї ж кількості потужності. MPPT дуже точно контролюють кількість енергії, що відправляється на батареї. Основною перевагою використання контролера MPPT є його здатність захоплювати більшу частину енергії від сонячної батареї у будь-який момент, на відміну від контролера PWM. Тому MPPT зазвичай є нормою при виборі контролера заряду для конструкції сонячної системи.

Інвертор. Наступним компонентом автономної сонячної системи є інвертор. Майже у всіх автономних сонячних системах інвертор є інвертором на батарейках. Інвертор призначений для отримання енергії постійного струму, що зберігається в акумуляторній батареї, і перетворення її в придатну для використання потужність змінного струму та відправлення її на електроприлади, щоб її можна було використовувати так само, як підключення до розетки змінного струму в будинку. Інвертори бувають різних розмірів, можуть витримувати менші або більші навантаження, залежно від необхідних навантажень поза мережею. При підборі інвертора слід переконатися, що він може обробляти навантаження від усіх приладів, що одночасно працюють у системі.

Інший важливий факт полягає в тому, що інвертор повинен відповідати «напрузі» системи, в якій він використовується. Наприклад, 12-вольтовий інвертор не можна використовувати з 24-вольтовим акумулятором - він повинен використовуватися з 12-вольтовим акумуляторним блоком. На відміну від контролерів заряду, напруга на інверторі не може бути змінена, оскільки вона фіксована і має відповідати напрузі акумуляторної батареї системи.

У більшості автономних систем перевага надається використанню інверторних зарядних пристроїв. Чим відрізняється інверторний зарядний пристрій від інвертора? По суті, інверторний зарядний пристрій діє так само, як і звичайний інвертор, але одночасно є зарядним пристроєм. Це означає, що інвертор має не тільки вихід, але й вхід. Це важливо, тому що це дозволяє системі використовувати зовнішнє джерело живлення. Використання інверторного зарядного пристрою забезпечує резервування в системі, яке необхідно під час кількох «несонячних» днів, коли сонячна батарея не може забезпечити достатню потужність для заряджання акумуляторної батареї.

Акумулятори. Останнім основним компонентом сонячної системи є акумуляторна батарея, яка є одним з найважливіших і найдорожчих компонентів.

У сонячній енергетиці існує два основні хімічні склади акумуляторів - свинцево-кислотні та літієві. Для свинцево-кислотних акумуляторів є різні варіанти акумуляторів, а це означає, що існує кілька способів їх виготовлення. Два основних типи свинцево-кислотних акумуляторів, що використовуються в сонячній енергії, - це свинцево-кислотні акумулятори із затопленням та герметичні акумулятори AGM.

Затоплена батарея - це стандартна свинцево-кислотна батарея з рідкими осередками, яка зазвичай є найекономічнішою батареєю. Самі батареї є відносно недорогими, але для продовження терміну служби батареї потрібне технічне обслуговування. Технічне обслуговування, таке як перевірка рівня води в батареї, перевірка питомої ваги, необхідно для запобігання руйнування батареї. За певних умов заряджання свинцево-кислотних акумуляторів газоподібний водень є побічним продуктом, який вимагає вентиляції акумуляторної батареї. Оскільки ці типи батарей є економічними, багато людей схильні використовувати їх для своїх сонячних батарей. Багато хто з тих, хто погано знайомий з автономною сонячною батареєю, як правило, згоряють через недбале поводження з батареями. Відсутність вентиляції може створити небезпечну ситуацію під час роботи з парами газоподібного водню, тому до цього слід ставитись серйозно. Якщо потрібна акумуляторна батарея, яка не потребує обслуговування, і необхідний економічний варіант свинцево-кислотної акумуляторної батареї, акумуляторні батареї AGM може бути ідеальним рішенням.

AGM означає абсорбуючий скляний мат, який складається з матів зі скловолокна між пластинами, на яких абсорбується електроліт. Ці батареї повністю герметичні та практично не вимагають обслуговування. Очікуваний термін служби, кількість циклів зарядки та розмір/вага батареї AGM відповідають показникам свинцево-кислотної батареї з рідким електролітом. Одним із недоліків AGM-батареї є те, що при неправильному використанні мало що можна зробити, щоб відновити батарею після нанесення

пошкодження. АГМ та залиті батареї є дешевшими, ніж літієві батареї, але їх термін служби значно коротший.

Літій-фосфат заліза (LiFePO_4) – це хімічний склад літієвих батарей. Літієві батареї значно відрізняються від затоплених та АГМ-акумуляторів за декількома параметрами - не тільки за розміром/вагою, але й за способом заряджання та розрядження. Літій-залізо-фосфат – це надзвичайно безпечний хімічний склад, що означає, що він не виділяє газ і може зберігатись без вентиляції. Літієві батареї не вимагають обслуговування та не вимагають повної зарядки, на відміну від свинцево-кислотних акумуляторів. Хімічний склад LiFePO_4 також розроблений спеціально для значної кількості циклів заряджання. Ці характеристики роблять літієві батареї надзвичайно вигідними для автономних сонячних станцій. Ще однією перевагою є те, що літієві батареї мають інтегровану BMS (систему управління батареями). BMS постійно контролює стан акумулятора. Це означає, що якщо батарея надмірно розряджена або якщо вона занадто гаряча або холодна, BMS примусово відключить батарею доти, доки ці порушення параметрів не будуть усунені.

Ще одна перевага літію полягає в тому, що ви можете скласти або розширювати існуючий блок батарей, не впливаючи на його термін служби. Літієві батареї також можна придбати у варіантах 12, 24 і 48 В, щоб їх можна було легко скласти при номінальній напрузі системи. Це важливо, тому що якщо BMS примусово переводить батарею в режим вимкнення, весь банк не вимикається. Можливо, доведеться зменшити навантаження для встановлення непрацюючої батареї, але батареї все одно будуть підключені.

За всіма параметрами літієві батареї значно перевершують свинцево-кислотні. Глибина розряду, кількість циклів зарядки, безпечна хімія та вбудована BMS мають багато переваг, особливо у довгостроковій перспективі. Окрім того, для блоку літієвих батарей потрібно набагато менше місця, ніж для блоку свинцево-кислотних батарей, що також знижує загальну вагу приблизно на 75%.

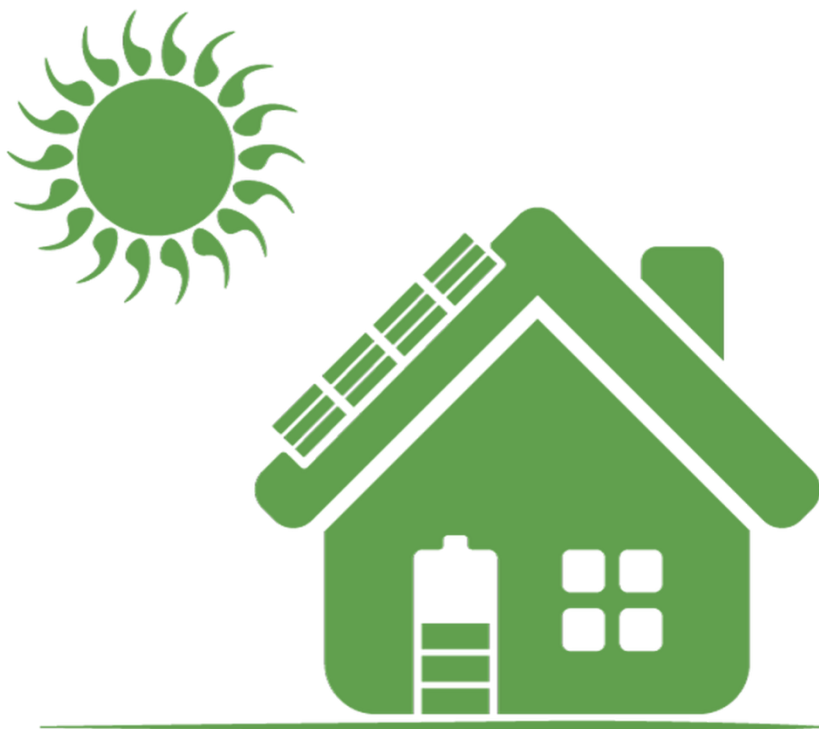
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 2

1. https://sun-energy.com.ua/articles/yak_pratsuyut_sonyachni_paneli.
2. http://www.thermalfluidscentral.org/encyclopedia/index.php/Solar_Heating_and_Cooling.
3. <https://www.greenspec.co.uk/building-design/solar-siting-orientation/>.
4. https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4275.
5. https://www.researchgate.net/publication/326626129_Environmental_Design_Principles_for_the_Building_Envelope_and_More_Passive_and_Active_Measures.
6. <http://cifi.it/notes.asp?iid=154162114-active+solar+energy&cid=6>.
7. <https://www.pinterest.com/pin/320951910929650940>.
8. <https://solarsoul.net/solar-collector-2>.
9. <http://eprints.kname.edu.ua/38329/1/41-44.Pdf>.
10. <https://www.greenspec.co.uk/building-design/thermal-storage/>.
11. <http://tteh.com.ua/pub.php?id=54&lang=rus>.
12. <https://wikikond.ru/vybor-oborudovaniya/kondicioner-na-solnechnyh-batareyah.html>.
13. <https://aw-therm.com.ua/solnechnoe-ohlazhdenie/>.
14. https://aliexpress.ru/item/4001041062397.html?sku_id=10000013712223816.
15. Saman, W.Y., Krause, M., Vajen, K., & Lakes, M. (2004). Solar Cooling Technologies: Current Status and Recent Developments. <https://www.semanticscholar.org/paper/Solar-Cooling-Technologies%3A-Current-Status-and-Saman-Krause/dfc7cca09082515ac4fc07d80427bd26b1559efd>.
16. <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/solar-cooling.html>.
17. https://ozlib.com/838631/tehnika/solnechnoe_ohlazhdenie.
18. https://www.researchgate.net/figure/Scheme-of-the-absorption-chiller_fig2_337984861.
19. <https://sovet-ingenera.com/eco-energy/sun/vakuumnyj-solnechnyj-kollektor.html>.
20. https://www.researchgate.net/figure/A-schematic-structure-of-an-extensive-green-roof-and-an-intensive-green-roof-and-the_fig1_330287102.
21. <https://cgbg.org/blog/whatisagreenroof>.

22. <https://www.construction21.org/articles/h/all-you-need-to-know-about-green-roof-construction.html>.
23. https://www.c40knowledgehub.org/s/article/A-Practical-Guide-to-Cool-Roofs-and-Cool-Pavements?language=en_US.
24. <https://www.sika.com/en/knowledge-hub/cool-roofs-and-energy-efficiency.html>.
25. https://www.researchgate.net/publication/348834696_A_Review_of_Radiative_Cooling_Technology.
26. <https://www.kmu.gov.ua/news/derzhenergoefektivnosti-novi-mozhivosti-dlya-pidpriyemstv-ta-zelenoyi-energetiki-net-metering>.
27. <https://www.sae.gov.ua/uk/business/preferentsii/derzh-pidtrymka/green-tariff>.
28. <https://www.solar-electric.com/learning-center/what-components-typically-used-off-grid-solar-power-system/>.
29. <https://www.pinankenergy.com/on-grid-solar-system/>.
30. <https://www.solar-electric.com/learning-center/what-components-typically-used-off-grid-solar-power-system/>.

РОЗДІЛ 3.

**ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ
ІНДИВІДУАЛЬНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ**



3.1. Основні фактори, що впливають на ефективність сонячних панелей

Сонячний елемент або фотоелектричний елемент - це пристрій, що перетворює сонячне світло на корисну енергію. Кількість сонячного світла, яке може бути перетворено на енергію, відображає ефективність сонячних елементів. Є кілька факторів, які слід враховувати, щоб забезпечити оптимальну ефективність сонячних панелей.

1. *Температура.* Температура впливає на ефективність фотоелектричного елемента через внутрішні характеристики напівпровідникового матеріалу. Ефективність сонячних панелей збільшується під час падіння температури і знижується при високих температурах, коли падає напруга між елементами.

2. *Ефективність перетворення енергії.* Сонячний модуль має різну спектральну характеристику, залежно від типу модуля. Отже, зміна спектральної освітленості впливає на вироблення сонячної енергії. Ефективність перетворення енергії збільшується за рахунок зменшення відображення падаючого світла.

3. *Затіннення.* Сонячні фотоелектричні панелі дуже чутливі до затіннення. Умови повного або часткового затіннення мають значний вплив на здатність передавати енергію і можуть призвести до зниження вихідної потужності та втрат потужності. Елементи в сонячній панелі зазвичай підключаються послідовно, щоб отримати вищу напругу і, отже, відповідне виробництво електроенергії.

Але коли відбувається затіннення, ця структура має певні обмеження. Фактично, коли затінюється один сонячний елемент, струм всіх елементів у ланцюжку визначається пристроєм, який здійснює найменший струм. Коли осередок заштрихований, вся серія також фактично заштрихована. Для запобігання втратам енергії в установку зазвичай входять байпасні діоди.

Байпасні діоди підключаються паралельно до сонячних елементів. Коли сонячний елемент затінений, байпасний діод забезпечує шлях струму, що дозволяє ланцюжку підключених сонячних елементів генерувати енергію за зниженої напруги.

4. *Орієнтація, кут нахилу, географічна широта та кліматичні умови.* При установці фотоелектричних модулів необхідно враховувати деякі фактори, щоб повною мірою використати сонячне випромінювання: орієнтацію, нахил, широту місця, кліматичні умови. Правильний облік цих варіантів допоможе гарантувати, що вони виробляють максимальну енергію, наражаючись на найбільшу інтенсивність сонячного випромінювання протягом самого тривалого періоду часу.

5. *Експлуатація та моніторинг.* Послуги з експлуатації та технічного обслуговування допомагають керувати реалізацією певних процесів, щоб

уникнути або зменшити потенційні небезпеки та гарантувати оптимальну віддачу від інвестицій. Операції в основному складаються з віддаленого моніторингу та контролю стану та продуктивності фотоелектричної електростанції. Програмне забезпечення для моніторингу забезпечує доступ до всіх зібраних даних, які можна використовувати для різних цілей:

- ✓ виявлення дефектів,
- ✓ аналіз продуктивності,
- ✓ профілактичне обслуговування
- ✓ безпека.

Для виявлення будь-яких аномалій у роботі фотоелектричної установки система моніторингу повинна своєчасно надавати інформацію про виробництво, сигнали тривоги та інші аналітичні дані.

3.2. Оцінка майданчика для встановлення індивідуальних сонячних електростанцій

При проектуванні автономної сонячної електростанції ключовою ідеєю є визначення переваг об'єкта. Визначення місця та положення панелей є важливим кроком у проектуванні фотоелектричної системи, оскільки пізніші компоненти будуть оптимізовані у відповідності до параметрів майданчика.

Декілька концепцій та порад, які слід мати на увазі при проведенні оцінки майданчика:

1. *Аналіз затінення.* Затінення може бути проблемою для сонячних панелей, оскільки вони знижують максимальну потужність, яка може бути виконана. Цій проблемі сприяють кілька факторів, серед яких найчастіша причина появи тіні на сонячній панелі:

- 1) тінь від сусідніх дерев та будівель у безпосередній близькості,
- 2) типова похмура погода
- 3) тінь від сусідніх сонячних панелей.

Під час проектування сонячної фотоелектричної системи необхідно ретельно вивчити ці фактори, щоб отримати максимальну потужність. Одним із найчастіше використовуваних інструментів є програми та калькулятори, які показують напрям сонця протягом року та кількість сонячного світла у тій чи іншій області протягом року.

2. *Напрямок розташування панелей та траєкторія руху Сонця.* Розміщення та орієнтація сонячних панелей так само важливі, як і тип сонячної панелі, що використовується у конкретній ситуації. Сонячна панель використовуватиме найбільшу потужність, коли сонячні промені падають на її поверхню перпендикулярно. Забезпечення правильному напрямку

Розділ 3. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

розташування сонячних панелей гарантує, що вони вироблять максимальну енергію, оскільки вони піддаються дії сонячного світла максимальної інтенсивності протягом найбільшого періоду часу. Деякі сонячні батареї слідує за Сонцем, використовуючи системи стеження за сонцем, які значно збільшують виробництво енергії.

У північній півкулі загальне правило розміщення сонячних панелей свідчить, що сонячні панелі мають бути звернені на південь (а півдні - північ). Зазвичай це найкращий напрямок, тому що сонячні панелі будуть отримувати пряме світло протягом дня. Однак є різниця між магнітним півднем та справжнім півднем, яку необхідно враховувати. Магнітний південь - це "південь", що показується при використанні компаса, і цей південь вказує на південний магнітний полюс Землі. Однак сонячні панелі повинні бути звернені до сонячного або географічного півдня, який є напрямком до Південного полюса.

З тієї ж причини, якщо сонячна панель розташована у південній півкулі, панель має бути звернена у напрямку справжньої півночі.

Залежно від того, як використовуються сонячні панелі, корисно трохи повернути їх у бік від південного напрямку. Наприклад, залежно від використання сонячних панелей, що використовуються в будинку, повинні бути орієнтовані трохи на південний захід. Ці панелі збирають більше енергії, коли вони звернені строго на південь, але енергія корисніша, якщо вона надходить пізніше вдень. Цей поворот дозволяє сонячним панелям виробляти більше електроенергії в той час, коли це необхідно. Якщо повернути панелі трохи на південний захід, у напрямку Сонця, панелі будуть виробляти більше енергії ввечері, коли люди знаходяться вдома і використовують більше приладів. Зниження загального обсягу виробництва врівноважується наявністю електроенергії, доступної тоді, коли найбільше необхідна.

Коли сонячні колектори використовуються спеціально для обігріву та освітлення – особливо у формі вікон – найкраще, щоб ці колектори були звернені трохи на схід. [1]

Траєкторія руху Сонця - це ключовий критерій, який потрібно розуміти як під час проектування сонячної електричної системи, так і при спробі зрозуміти продуктивність сонячної електричної системи. Шлях Сонця відноситься до сезонних та погодинних змін Сонця, коли Земля обертається навколо власної осі і навколо Сонця.

Траєкторія руху Сонця – це, по суті, арка у небі. Сонце зійде на сході та зайде на заході. Сонячного полудня сонце знаходиться на найвищому піку арки сонячної доріжки. На нижчих широтах сонце буде вищим у небі, ніж більш високих широтах. Нижче наведено деякі зображення, що ілюструють шлях сонця протягом року (рис. 3.1.).

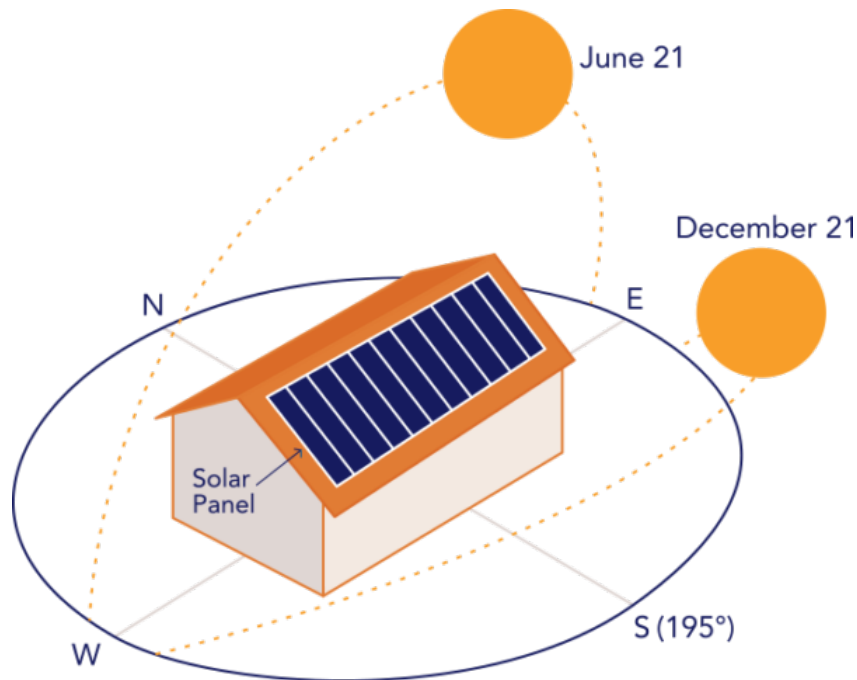


Рис. 3.1. Траєкторія руху Сонця [2]

3. Кут нахилу. Кут нахилу – це налаштування панелей, яке необхідне для отримання максимальної кількості сонячної радіації.

Сонячні панелі дають максимальну віддачу енергії, коли вони звернені до сонця. Сонце рухається небом і може бути низьким або високим залежно від часу дня та сезону. Тому ідеальний кут ніколи не фіксується. Щоб протягом дня на панель потрапляло, як найбільше сонячного світла, необхідно визначити, в якому напрямку панелі повинні бути звернені, і розрахувати оптимальний кут нахилу (рис. 3.2.). Це залежатиме від двох параметрів:

- ✓ де знаходиться будівля;
- ✓ в яку пору року потрібно найбільше сонячної енергії.

Як показує практика, сонячні панелі повинні бути більш вертикальними взимку, щоб отримувати більшу частину низького зимового сонця, та більш похилими влітку, щоб максимізувати потужність. Ось два прості методи розрахунку приблизного кута нахилу сонячної панелі залежно від вашої широти [3].

Метод А. Оптимальний кут нахилу розраховується шляхом додавання 15 градусів до вашої широти взимку та віднімання 15 градусів від вашої широти влітку. Наприклад, якщо ваша широта становить 34° , оптимальний кут нахилу сонячних панелей узимку буде $34+15=49^\circ$. З іншого боку, оптимальний кут нахилу влітку буде $34-15=19^\circ$.

Метод Б. Це удосконалений загальний метод, що дає кращі результати. У цьому методі оптимальний кут нахилу сонячних батарей у зимовий період

розраховується шляхом множення широти на 0,9 та наступного додавання 29° . У наведеному вище прикладі широти 34° кут нахилу буде становити $(34 \cdot 0,9) + 29 = 59,6^\circ$. Цей кут на 10° крутіший, ніж у звичайному методі, але дуже ефективний при полуденному сонці, яке дає найбільше радіації у короткі зимові дні. Для літа кут нахилу розраховується шляхом множення широти на 0,9 та віднімання $23,5^\circ$. У наведеному вище прикладі цей кут буде $(34 \cdot 0,9) - 23,5 = 7,1^\circ$. Для отримання оптимальних кутів нахилу навесні та восени з широти віднімається $2,5^\circ$.

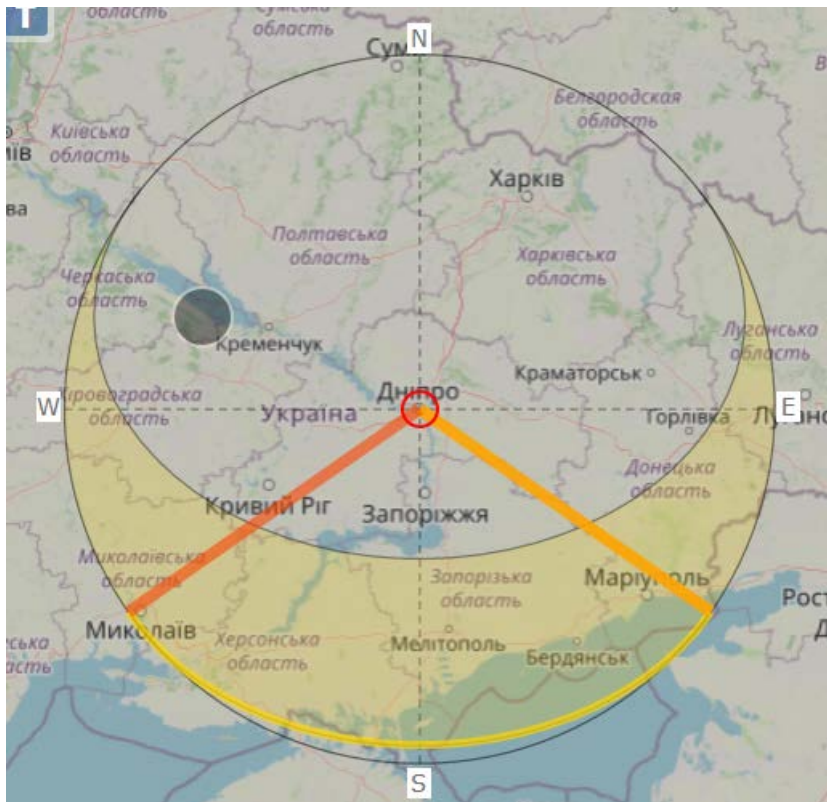


Рис. 3.3. Траєкторія руху Сонця для м. Дніпро [4]

3.3. Залежності для дослідження радіаційного режиму світлопрозорих поверхонь

Надходження сонячного тепла через світлопрозорі огороження є нестационарним процесом, який залежить від зміни температури зовнішнього повітря і інтенсивності сонячної радіації.

В приміщення, безпосередньо, через світлопрозорі огороження потрапляє короткохвильове випромінювання, а також конвективне тепло і довгохвильове випромінювання, за рахунок різниці температур і поглиненого сонячного тепла елементами світлопрозорих огорожуючи конструкцій.

Розділ 3. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Інтенсивність сонячної радіації залежить від положення сонця, відповідно, до моменту часу і пори року, умов хмарності, прозорості атмосфери, широти місцевості та ін. Сонячна радіація, що надходить на будь-яку поверхню складається із трьох потоків: прямого, розсіяного та відбитого від рельєфу та навколишніх поверхонь.

Сумарна сонячна радіація, що надходить на будь-яку поверхню визначається за формулою [5]:

$$I_{sol,k} = I_B + I_d + I_r, \quad (3.1)$$

де $I_{sol,k}$ – сумарна сонячна радіація, що надходить на будь-яку поверхню у проміжок часу, Вт/м²;

I_B , I_d , I_r - складові загальної сонячної радіації відповідно: прямої, розсіяної і відбитої від земної поверхні, Вт/м².

Інтенсивність прямої сонячної радіації, що надходить на розташовану під будь-яким кутом поверхню, визначається за формулою [5,6]:

$$I_B = I_{пер} \cdot \cos \theta, \quad (3.2)$$

де $I_{пер}$ – інтенсивність прямої сонячної радіації, що надходить на перпендикулярну сонячним променям поверхню;

$\cos \theta$ – кут падіння сонячних променів на поверхню.

Інтенсивність прямої сонячної радіації, що надходить на перпендикулярну сонячним променям поверхню, приймають згідно даних фактичних спостережень актинометричної мережі. Якщо такі данні відсутні, тоді її визначають за формулою Кострова-Савінова [5, 7]:

$$I = \frac{I_0 \sin h}{\sin h + c}, \quad (3.3)$$

де I_0 – сонячна постійна на межі атмосфери, дорівнює 1260 – 1390 Вт/м²;

h - висота Сонця для даної місцевості в певну годину доби, град;

c – емпіричний коефіцієнт, що характеризує прозорість атмосфери.

Висота сонця h визначається за формулою [6, 7, 8]:

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega, \quad (3.4)$$

де φ – географічна широта місцевості; δ – кут нахилу сонця; ω - годинний кут сонця в даний момент часу.

Кут нахилу сонця можна визначити по формулі Купера [6, 7, 8]:

$$\delta = \delta_0 \sin \left(360 \frac{284+d(t)}{365} \right), \quad (3.5)$$

де δ_0 – максимальний нахил, що дорівнює $23,45^\circ$;
 $d(t)$ – номер дня року.

Часовий кут Сонця визначається перерахуванням середнього місцевого часу на істинний сонячний час [6, 8, 9]:

$$\omega = \left[\tau(t) + \frac{\lambda}{15^\circ} - Z_{\text{п}} + E(t) - 12^h \right] \cdot 15^\circ, \quad (3.6)$$

де $\tau(t)$ – поточний час доби (змінюється в межах від 0^h до 24^h), год;
 λ – довгота місцевості (на схід від Гринвічу додатна, на захід - від'ємна);
 $Z_{\text{п}}$ - номер часового поясу (так, для UTC2 $Z_{\text{п}} = 2$, для UTC3 $Z_{\text{п}} = -3$);
 $E(t)$ - (різниця між істинним сонячним та середнім часом) [5]:

$$E(t) = 3,85 \left[\begin{array}{l} 0,000075 + 0,001868 \cdot \cos B(t) - 0,032077 \cdot \sin B(t) - \\ -0,014615 \cdot \cos 2B(t) - 0,04089 \cdot \sin 2B(t) \end{array} \right], \quad (3.7)$$

де

$$B(t) = [d(t) - 1] \frac{360}{365}. \quad (3.8)$$

Кут падіння сонячних променів на вертикальні, відповідно орієнтовані по сторонах світу (Пд, Пн, С, З та ін.), і горизонтальну поверхні визначається згідно формул [5]:

$$\cos \theta_{\text{Пд}} = \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \omega - \sin \delta \cdot \cos \varphi; \quad (3.9)$$

$$\cos \theta_{\text{Пн}} = \sin \delta \cdot \cos \varphi - \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \omega; \quad (3.10)$$

$$\cos \theta_{\text{З,Сх}} = \cos \delta \cdot \sin \omega; \quad (3.11)$$

$$\cos \theta_{\text{Пд-З,Пд-Сх}} = 0,707(\cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \omega - \sin \delta \cdot \cos \varphi + \cos \delta \cdot \sin \omega); \quad (3.12)$$

$$\cos \theta_{\text{Пн-З,Пн-Сх}} = 0,707(\cos \delta \cdot \sin \omega + \sin \delta \cdot \cos \varphi - \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \omega); \quad (3.13)$$

$$\cos \theta_{\text{Гор}} = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \omega \cdot \cos \delta \cdot \cos \varphi. \quad (3.14)$$

Розділ 3. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Надходження прямої сонячної радіації на похилу поверхню будь-якої орієнтації можна виразити через її потоки на горизонтальну і вертикальну поверхні відповідної орієнтації [8]:

$$I = I_H \cdot \cos\beta + I_V \cdot \sin\beta, \quad (3.15)$$

де I_H – надходження прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню;

I_V - надходження прямої сонячної радіації на вертикальну поверхню;

β – кут нахилу поверхні по відношенню до горизонтальної площини.

Інтенсивність потоків розсіяної радіації I_d від різних точок небосхилу неоднакова. При визначенні розсіяної радіації, яка надходить на вертикальні поверхні, зазвичай використовують експериментально визначені значення величин розсіяної радіації, що надходить на горизонтальну поверхню. Ще один спосіб визначення величини розсіяної радіації базується на даних освітленості вертикальних поверхонь різної орієнтації розсіяним світлом і приймають світловий потік пропорціональним енергетичному потоку розсіяної радіації [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Для визначення розсіяної сонячної радіації, що надходить на похилу поверхню, використовують анізотропну модель Дж. Хея [6, 10, 11]:

$$I_{d\text{пох}} = I_{d\text{гор}} \left[F_{\text{Нау}} \frac{\cos\theta}{\sin h} + (1 - F_{\text{Нау}}) \cdot \cos^2 \frac{\beta}{2} \right], \quad (3.16)$$

$$F_{\text{Нау}} = \frac{I_{\text{sol,гор}} - I_{d,\text{гор}}}{I_0}, \quad (3.17)$$

де I_0 - сонячна постійна на межі атмосфери, Вт/м²;

$I_{d\text{гор}}$ – потік розсіяної сонячної енергії на горизонтальну поверхню, Вт/м²;

$I_{\text{sol,гор}}$ – потік сумарної сонячної радіації на горизонтальну поверхню, Вт/м².

Розсіяна сонячна радіація, що надходить на горизонтальну поверхню визначається по формулі Берлаге [6, 7]:

$$I_{d,\text{гор}} = \frac{1}{3} (I_0 - I_{\text{пер}}) \cdot \sin h. \quad (3.18)$$

Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню:

$$I_{sol,гор} = I_{в,гор} + I_{d,гор}, \quad (3.19)$$

де $I_{в,гор}$ – пряма сонячна радіація на горизонтальну поверхню, Вт/м².

Для розрахунку відбитої радіації, що надходить на поверхню в більшості досліджень використовують ізотропну модель [10, 11]:

$$I_r = \frac{I_{sol,гор} \cdot A_k (1 - \cos\beta)}{2}, \quad (3.20)$$

де A_k – альbedo земної поверхні;

$\cos\beta$ – кут нахилу поверхні.

Перед тим, як починати розрахунок сонячної електростанції, необхідно проаналізувати список усіх споживачів електроенергії, що є на об'єкті, за формою, яка представлена в таблиці 3.1.

У таблиці необхідно вказати номінальну напругу навантаження, а також рід напруги, від якого має живитися навантаження. Споживачі змінної напруги підключаються до основної шини живлення СЕС через індивідуальні автономні інвертори напруги (АІН). Споживачі постійної напруги зі значенням напруги, що дорівнює номінальній напрузі основної шини станції, підключаються до неї безпосередньо.

3.4. Методика розрахунку сонячної електростанції

Перед тим, як починати розрахунок сонячної електростанції, необхідно проаналізувати список усіх споживачів електроенергії, що є на об'єкті [12], за формою, яка представлена в таблиці 3.1.

У таблиці необхідно вказати номінальну напругу навантаження, а також рід напруги, від якого має живитися навантаження. Споживачі змінної напруги підключаються до основної шини живлення СЕС через індивідуальні автономні інвертори напруги (АІН). Споживачі постійної напруги зі значенням напруги, що дорівнює номінальній напрузі основної шини станції, підключаються до неї безпосередньо.

Розділ 3. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ
СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Таблиця 3.1 - Таблиця енергоспоживання об'єкту за добу

№ з/п	Навантаження	Напруження / потужність, Вт/В	Потужність на основній шині, Вт	Час роботи, год.	Енергоспоживання, Вт·год
1	Споживач №1	$P_{н1}/U_{н1}$	$=P_{н1}/\eta_1$	t_1	$=P_{н1} \cdot t_1$
2	Споживач №2	$P_{н2}/U_{н2}$	$=P_{н2}/\eta_2$	T_2	$=P_{н2} \cdot t_2$
...
i	Споживач №i	$P_{ні}/U_{ні}$	$=P_{ні}/\eta_i$	t_i	$=P_{ні} \cdot t_i$
	Загалом:				$=\sum_{i=1}^n P_{ні} \cdot t_i$

Споживачі з відмінним номінальним значенням напруги підключаються через імпульсні перетворювачі постійної напруги (ІППН).

Шина, до якої в нічний час доби підключається акумуляторна батарея (АКБ) сонячної електростанції безпосередньо, або через перетворювач напруги, що підвищує, називається основний. Як правило, за основну приймається шина з напругою, рівним 24 або 48 В, яке відповідає номінальному напрузі блоку акумуляторних батарей. Якщо в таблиці присутні споживачі з номінальною напругою, відмінною від величини напруги основної шини, необхідно перерахувати значення їхньої потужності. Перерахунок потужності навантаження на основну шину проводиться за такою формулою [12]:

$$P_{ос,j} = P_{н,j} / \eta_j \quad (3.21)$$

де $P_{ос,i}$ - потужність і-го споживача, перерахована на основну шину живлення, Вт;

$P_{н,i}$ - потужність і-го споживача, Вт;

η_i - ККД і-го автономного інвертора напруги або і-го імпульсного перетворювача постійної напруги для споживачів, відповідно, змінного та постійного струмів.

Якщо навантаження підключається безпосередньо до основної шини СЕС, значення η_i приймається рівним 1.

Після необхідно зрозуміти, скільки годин на добу працюють ті чи інші споживачі електроенергії, і, помноживши значення потужності електроприймача на час його роботи, отримати добове енергоспоживання.

Внівши отримані значення таблицю 3.1, отримаємо таблицю енергоспоживання об'єкту за добу.

Для правильного розрахунку вихідної потужності СЕС так само необхідно враховувати той факт, що електроприймачі, зазначені в таблиці

3.1, можуть працювати протягом доби постійно або непостійно. Споживачі, які працюють непостійно, у свою чергу, поділяють на споживачі, які мають фіксований графік роботи та плаваючий графік роботи. На даний фактор необхідно звертати особливу увагу, так як в іншому випадку можна отримати невиправдано завищене значення вихідної потужності сонячної електростанції, що призведе до збільшення її вартості.

Саме тому, для зниження грошових вкладень у сонячну електростанцію складається графік зміни навантаження за добу, який є залежністю сумарної потужності навантаження споживачів, що працюють в даний час, від часу доби. При цьому необхідно розуміти, що з електроприймачів, мають плаваючий графік навантаження, досить складно точно вказати точні інтервали роботи. Тому при складанні графіка зміни навантаження дані споживачі приймаються як постійно діючі.

Сумарні потужності навантажень на інтервалах часу розраховуються за формулою [12]:

$$P_{н,j} = \sum_{i=1}^N P_{ос,i} \quad (3.22)$$

де N – число споживачів, включених до мережі на j -му інтервалі часу;
 $P_{н,j}$ - сумарні потужності навантажень на j -их інтервалах часу, Вт.

Отримавши всі необхідні значення, потрібно занести їх у таблицю, форма якої представлена у таблиці 3.2 [12].

Сонячні батареї виробляють енергію, заряджаючи АКБ та забезпечуючи їй споживачів протягом денного часу доби. Інтервал денного часу доби влітку становить 14 годин (з 6 до 20 години), взимку – 8 годин (з 8 до 16 години).

Вихідна потужність сонячної електростанції визначається як максимальна потужність навантаження за інтервал літнього денного часу доби та розраховується за формулою [12]:

$$P_{н} = \max\{P_{н,j}\}, \forall j \in 1, M \quad (3.23)$$

де M - число виділених інтервалів часу, що входять до інтервалу літнього денного часу доби;

$P_{н}$ - вихідна потужність сонячної електростанції, Вт.

Розділ 3. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Таблиця 3.2 – Графік зміни навантаження за добу

№ з/п	Навантаження	Потужність навантаження в інтервалах часу, Вт								
		7-00..9-00	9-00..11-00	11-00..13-00	13-00..15-00	15-00..17-00	17-00..19-00	19-00..21-00	21-00..23-00	23-00..7-00
1	Споживач №1									
2	Споживач №2									
...	...									
i	Споживач №i									
	Загалом:									

Вказана вище методика застосовується і є необхідною для випадків, коли на об'єкті присутні електроприймачі, що споживають електроенергію лише у певний час, тобто навантаження є непостійним. Якщо навантаження об'єктів має постійний характер і не змінюється з часом, вихідна потужність сонячної електростанції визначається як сума потужностей навантажень.

У нічний час живлення споживачів об'єкта здійснюється за рахунок енергії, накопиченої в акумуляторних батареях. Саме тому необхідно правильно вибрати АКБ і визначитися з необхідною кількістю.

Енергоємність акумуляторної батареї дорівнює добутку її ємності на номінальну напругу. Ємність батареї є однією з основних її характеристик та показує, скільки часу вона здатна живити електроприймачі об'єкту при повному своєму заряді. У процесі розряду АКБ її напруга та ємність падають.

Витрата ємності ΔC розраховується за такою формулою [12]:

$$\Delta C = \frac{P_H}{U_H} \cdot \Delta t_{\text{НВ}} = \frac{P_H}{U_H} \cdot (1 - \Delta t_{\text{ДВ}}) \quad (3.24)$$

де P_H - номінальна потужність навантаження, Вт;

U_H - номінальна напруга блоку АКБ, В;

$\Delta t_{\text{НВ}}$ – інтервал нічної доби (літом – 10 год, взимку – 16 год), год;

$\Delta t_{\text{ДВ}}$ – інтервал денного часу доби, год.

Глибокий розряд АКБ може негативно позначитися на їхньому стані та відповідно знизити її термін служби. Тому виробники акумуляторних батарей не рекомендують розряджати їх більш ніж на 70-80%, а при досягненні даного значення розряду відключати батареї від навантаження і

заряджати. Ступінь розрядженості акумуляторної батареї СЕС розраховується за формулою [12]:

$$S_p = \frac{\Delta C}{C_H} \cdot 100\% \quad (3.25)$$

де C_H - ємність акумуляторних батарей СЕС, А · год.

Виразивши з (3.25) значення ємності C_H з урахуванням (3.24), можна отримати формулу розрахунку необхідної ємності АКБ, яка має такий вигляд:

$$C_H = \frac{100}{S_p} \cdot \frac{P_H}{U_H} \cdot \Delta t_{\text{НВ}} \quad (3.26)$$

Також необхідно грамотно обґрунтувати вибір номінальної вихідної напруги сонячної електростанції. Як правило, найвигідніше мати систему з більш високою напругою. Чим більше напруга, тим менше струм, відповідно менші омичні втрати, вище ККД і, отже, нижча вартість системи.

Сонячні електростанції, що виробляють та споживають менше 1000 - 1500 Вт·год на день, найкраще поєднуються з напругою в 12 В.

СЕС, що виробляють 1000 -3000 Вт·год на день, зазвичай, використовують напругу 24 В, а СЕС, що виробляють більше 3000 Вт · год на день, використовують 48 В і вище.

Блок АКБ ємністю C_H набирається з певної кількості окремих батарей меншої ємності шляхом їх паралельного та послідовного з'єднання. З'єднуючи батареї послідовно, можна збільшувати напругу одержуваного в результаті блоку АКБ, причому ємність всього блоку дорівнює ємності окремої акумуляторної батареї. Паралельне з'єднання використовується для збільшення ємності блоку АКБ, яка в даному випадку дорівнюватиме сумі ємностей одиночних батарей, при цьому напруга всього блоку матиме ту саму напругу, що і окрема акумуляторна батарея.

Енергоємність блоку АКБ обчислюється за формулою:

$$W = C_H \cdot U_H \quad (3.27)$$

Число послідовно включених окремих акумуляторних батарей визначається як

$$n = \frac{U_H}{U_{аб}} \quad (3.28)$$

де $U_{аб}$ - напруга окремої акумуляторної батареї, В.

Число паралельних гілок у блоці АКБ сонячної електростанції дорівнює:

$$m = \frac{C_H}{C_{аб}} \quad (3.29)$$

де $C_{аб}$ - ємність окремої акумуляторної батареї, А, год.

Тоді сумарна кількість окремих батарей:

$$N_{аб} = nm \quad (3.30)$$

Підставивши вирази (3.26) - (3.29) в (3.30), отримаємо розрахункову формулу для визначення загальної кількості окремих АКБ:

$$N_{аб} = \frac{100}{S_p} \cdot \frac{P_H}{W_{аб}} \cdot \Delta t_{нв} \quad (3.31)$$

де $W_{аб}$ - енергоємність окремої акумуляторної батареї, Вт · год.

У разі коли навантаження непостійне, ємність акумуляторної батареї СЕС розраховується за формулою [12]:

$$C_H = \frac{100}{S_p U_H} \cdot (P_{H1} \Delta t_1 + P_{H2} \Delta t_2 + \dots + P_{Hj} \Delta t_j) \quad (3.32)$$

Розрахунок потужності сонячних батарей необхідний для правильного їх вибору та забезпечення навантаження необхідною кількістю електроенергії.

Потужність блоку сонячних батарей СЕС розраховується за формулою [12]:

$$P_{сб} = \frac{P_H}{\eta_1} \quad (3.33)$$

де η_1 - ККД імпульсного перетворювача постійної напруги понижуючого типу.

Розділивши отримане значення на потужність окремої сонячної батареї, можна отримати необхідну кількість окремих сонячних панелей.

Однак даний метод не враховує той факт, що кількість електроенергії, що виробляється батареєю, безпосередньо залежить від погодних умов, особливості навколишньої місцевості тощо. Для більш точного розрахунку використовується наступний метод.

Кількість електроенергії, що виробляється окремою сонячною батареєю, визначається за формулою [13]:

$$W_{сб} = k \cdot P_{осб} \cdot E \cdot \Delta t_{дв} \quad (3.34)$$

де $P_{осб}$ - потужність окремої сонячної батареї, Вт;

k - коефіцієнт, що дорівнює 0,5 та 0,7 у літній та зимовий періоди, відповідно. Він робить поправку на втрату потужності сонячних елементів під час нагрівання на сонці, а також враховує похило падіння променів на поверхню модулів протягом дня;

E – коефіцієнт сонячної інсоляції, що характеризує денну суму сонячної радіації, Вт·ч/м².

Таким чином необхідну кількість сонячних панелей можна знайти за такою формулою:

$$N_{сб} = \frac{W_{н}}{W_{сб}} \quad (3.35)$$

де $W_{н}$ - кількість електроенергії, споживане електроприймачами об'єкта на добу, Вт · год.

Правильний вибір інвертора здійснюється таким чином, щоб його потужність як мінімум на 30% перевищувала потужність всіх електроприймачів, які підключаються до нього. Такий вибір пов'язаний, перш за все, з тим, що на об'єкті, що живиться від сонячної електростанції, можуть бути споживачі, пускові потужності яких можуть перевищувати в 3-4 рази їх номінальне значення. Невеликий запас потужності при виборі інвертора дозволяє здійснювати роботу таких електроприймачів без негативних наслідків системи.

Розділ 3. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Після вибору необхідного обладнання СЕС, а також проведення основних розрахунків визначається ефективність роботи сонячної електростанції [12]:

$$\eta = \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{сб}}}, \quad (3.36)$$

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 3

1. https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar_panel_orientation.
2. <https://www.revisionenergy.com/why-go-solar/solar-works-on-the-roof-ground-or-far-afield/>.
3. <https://sinovoltaics.com/learning-center/system-design/solar-panel-angle-tilt-calculation/>.
4. <https://www.suncalc.org/#/48.4758,35.053,8/2022.02.06/14:18/1/3>.
5. Александровский С. В. Теория температурных полей массивных бетонных тел с учётом экзотермии: Труды НИИ по строительству. Москва : Минмашстройиздат, 1949. Вып.1.
6. В.А. Шакиров. Методика оценки прихода суммарной солнечной радиации на наклонные поверхности с использованием многолетних архивов метеорологических данных. Системы Методы Технологии. Братск, 2017. № 4 (36). С. 115-121. DOI: 10.18324/2077-5415-2017-4-115-121.
7. Сивков С. И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. Ленинград: Гидрометеиздат, 1968. 234 с.
8. Кондратьев К. Я., Пивоварова З. И., Федорова М. П. Радиационный режим наклонных поверхностей. Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. 170 с.
9. Сабірзянов Т. Г., Сіріков О. І., Кубкін М. В. та ін. Алгоритм визначення густини потоку сонячного випромінювання на довільно-орієнтовану поверхню. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Кировоград, 2012. Вип. 25, Ч.І. С. 303–312.
10. Stadnik V. V., Razgonyaev Yu. V. Estimation of global solar radiation on inclined surfaces. Tr. Gl. geofizich. observatorii im. A.I. Voeikova. 2008. № 557. P. 67-84.
11. Stadnik V. V., Eorbarenko E. V., Shilovtseva O. A. et al. Comparison of the calculated and measured values of the global and diffuse radiation on inclined surfaces, according to observations at the meteorological observatory of the Moscow State University. Tr. Gl. geofizich. observatorii im. A.I. Voeikova. 2016. № 581. P. 138-154.

12. Охоткин, Г. П. МЕТОДИКА РАСЧЕТА МОЩНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ [Текст] / Г. П. Охоткин // Вестник Чувашского университета. – 2023. - № 3. – С. 222-230.

13. Митрофанов, С. В. Методика расчета мощности автономной солнечной электростанции для нужд освещения лаборатории энергосбережения и энергоэффективности [Текст] / С. В. Митрофанов, А. Ю. Немальцев // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции. Оренбургский государственный университет – 2017. – С. 333-337.

РОЗДІЛ 4.
НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ



4.1. Види акумуляції енергії

Накопичення енергії — це акумуляція енергії для її подальшого використання [1, 2].

Пристрій, що зберігає енергію, зазвичай називають акумулятором або батареєю. Типовим прикладом пристрою накопичення енергії (енергонакопичувача) є акумуляторна батарея, в якій тривалий час зберігається хімічна енергія, що легко перетворюється на електричну енергію.

Гідроелектростанція також є накопичувачем енергії: вода в резервуарі виступає в якості джерела потенціальної енергії гравітації.

Викопні види палива, такі як вугілля, нафта і газ, також є накопичувачами енергії, отриманої у свій час від сонячного світла живими організмами, які з часом і перетворилися на ці види палива.

Види акумулювання енергії:

1. Зберігання викопного палива.
2. Механічне:
 - Пневматичний акумулятор;
 - Безтопковий паровоз;
 - Супермаховик;
 - Гравітаційна потенціальна енергія;
 - Гідроакумулятор;
 - Гідроакумулявальна електростанція.
3. Електричний, електромагнітний:
 - Конденсатор
 - Суперконденсатор
 - Надпровідниковий магнітний акумулятор (надпровідникові магніти і надпровідні котушки (H01F6)).
4. Біологічний:
 - Глікоген;
 - Крохмаль.
5. Електрохімічний:
 - Проточний акумулятор;
 - Акумуляторна батарея;
 - UltraBattery.
6. Тепловий:
 - Акумулятор тепла;
 - Кріогенні системи зберігання, акумулювання енергії зрідженим повітрям (LAES);
 - Кріогенний двигун Дермана;
 - Евтектична система;
 - Акумулятор холоду;

- Фазовий перехід речовини;
- Сезонне зберігання теплової енергії;
- Сонячний ставок;
- Паровий акумулятор;
- Зберігання теплової енергії.

7. Хімічний:

- Біопаливо;
- Гідратовані солі;
- Зберігання водню;
- Перекис водню;
- Технологія Power-to-Gas (P2G);
- Оксид ванадію(V).

4.2. Зберігання викопного палива

4.2.1. Вугілля

Вугілля – одне з найстаріших та найбільш популярних типів викопного палива [3]. Його використовують на великих підприємствах: як для опалення приміщень, так і для роботи промислових печей та інших механізмів. У побуті таке паливо теж використовується дуже часто. Високі ціни на газ та низький рівень газифікації стали причиною того, що велика кількість людей шукають хорошу альтернативу, яка б давала тепло за мінімальні кошти.

Найчастіше використовується антрацит. Які ж головні переваги вугільного палива в цілому? Та чому варто звернути увагу на антрацит?

Вугільне паливо має безліч переваг. По-перше, його вартість не надто висока, адже родовища є на території України, тому за транспортування не потрібно платити додатково. По-друге, для використання такого палива не потрібно створювати додаткові системи відводу, як це буває з газом. Оснащення достатньо просте та дешеве, воно не потребує особливого догляду. Достатньо вчасно перевіряти роботу усіх систем та очищати від сажі, копоті, пилу.

Серед інших переваг варто зазначити:

Прості умови зберігання. Достатньо сухого приміщення з хорошою вентиляцією. Деякі види вугілля можна зберігати на подвір'ї. Головне – забезпечити захист від вологи у вигляді поліетиленової плівки чи брезенту.

Мінімальна кількість використання. Паливо має високий рівень тепловіддачі, тому мінімальної кількості достатньо для підтримання теплої та комфортної температури повітря навіть в сильні морози.

Ефективність. Вугілля забезпечує теплом великі за площею приміщення. При цьому, висока температура зберігається протягом усього процесу горіння, а повітря в будинку лишається теплим довгий час.

В результаті, вугільне паливо – оптимальний варіант для приватних будинків та промислових приміщень. Воно економне, дешеве та ефективне.

Антрацит та його особливості. Антрацит – це тип вугілля, який має в складі лише 10 % попелу та невелику кількість сірки. Завдяки цьому викиди в атмосферу не надто великі, тому шкоди для навколишнього середовища практично немає. Такий склад також продовжує термін експлуатації опалювальних систем. Попіл та сажа не осідають в димоходах, не забивають труби. Якщо регулярно прочищати оснащення, воно буде служити довгі роки.

Також антрацит має найкращі опалювальні характеристики серед усіх видів вугілля. Це:

- ✓ мінімальні витрати при великих тепловіддачах;
- ✓ рівномірне та довге горіння;
- ✓ мінімальна кількість шлаків та осадів.

Антрацит підходить для використання в різних системах опалення. Це може бути твердопаливний котел, класична піч або навіть камін. Він досить простий в догляді та використанні, тому часто використовується в побуті.

Серед головних недоліків варто зазначити вартість. Це найбільш дорогий сорт вугілля, який використовується в побуті. Проте, зважаючи на ефективність та велику тепловіддачу, таке паливо все рівно лишається досить економним.

Інший вагомий недолік – щільність, через яку важко розпалювати. Зазвичай для цього використовують інший тип вугілля або додаткові засоби, які забезпечують довготривале горіння для рівномірного розпалювання антрациту.

В цілому, такий тип палива вважається безпечним та ефективним. Його можна комбінувати з іншими видами вугілля для економії та швидкого розтоплювання.

Тривале зберігання вугілля пов'язано зі значними кількісними і якісними втратами. Однією з основних втрат є зниження якості вугілля внаслідок його самонагрівання [4].

Здатність до самонагрівання в інших рівних умов прямо залежить від ступеня вуглефікації і від віку вугілля. За ступенем стійкості до самонагрівання вугілля ділиться на такі групи:

- ✓ нестійке;
- ✓ середньої стійкості;
- ✓ стійке;
- ✓ найбільш стійке.

Щоб знизити втрати при зберіганні кам'яного вугілля, рекомендується:

- ✓ зберігати його в штабелях великих обсягів (рис. 4.1.);
- ✓ ущільнити дрібниця і рядове вугілля в штабелі;
- ✓ застосовувати захисні плівки та покриття;
- ✓ закладати вугілля на мерзлий ґрунт в зимовий час.



Рис. 4.1. Зберігання вугілля на відкритому повітрі в штабелях

<https://jak.waykun.com/articles/vugillja-trivale-zberigannja-kam-janogo-vugillja.html>

Формування штабелів проводиться нарощуванням висоти вугілля шляхом пошаровго укладання та ущільнення за допомогою катка. Терміни зберігання і висоту штабелів встановлюють залежно від рівня самонагрівання вугілля. Наприклад, антрацит може зберігатися до 1,5 років.

Вугілля можна зберігати як під відкритим небом, так і в складських приміщеннях. Він не боїться опадів. Але вугілля піддається іншим негативним впливам. Воно може змерзатися і самозайматися. Тому основним правилом при зберіганні вугілля також є пожежна безпека, яка забезпечується такими показниками:

- ✓ правильне розміщення вугілля;
- ✓ правильне формування штабелів;
- ✓ пошарове ущільнення вугілля при укладанні в штабель;
- ✓ постійний контроль якості палива;
- ✓ своєчасне оновлення запасів вугілля.

Щоб уникнути змерзання вугілля, необхідна пошарова пересипання вугілля негашеним вапном, крейдою, сіллю або тирсою. Але такі заходи

знижують якість вугілля. Тому щоб уникнути замерзання рекомендується відвантажувати вугілля вищої якості з низькою вологістю.

4.2.2. Нафта

Для зберігання нафти і продуктів її переробки (бензину, гасу та ін.) використовуються нафтохранилища [5].

Нафтохранилище (нафтобаза, нафтотермінал) - промисловий об'єкт для зберігання нафти і нафтопродуктів. Нафтохранилище може бути розподільним або перевалочним, а також перевалочно-розподільним. Як правило, таке хранилище являє собою резервуари, розташовані на землі і / або під землею, а також платформу для прийому / відвантаження зберігаються продуктів на транспорт (ж / д цистерни, автоцистерни, танкери та ін) або в нафтопровод.

Розрізняють нафтохранилища наземні, напівпідземні, підземні, підводні; сталеві, бетонні, залізобетонні й пластмасові; циліндричні, сферичні, прямокутні й краплиноподібні.

До складу нафтохранилища входять власне нафтові резервуари, напірні і безнапірні трубопроводи, насосні станції і ін. Місткість нафтохранилищ переважно 100—1000 м³ (деяких 50—100 тис. м³).

Місткість наземних нафтохранилищ звичайно не перевищує 1 млн м³ і обмежується розмірами території, типами резервуарів, що застосовуються, існуючими протипожежними і санітарними вимогами (рис. 4.2.).



Рис. 4.2. Наземне нафтохранилище

Підземні нафтохранилища дозволяють створювати значніші запаси нафти і нафтопродуктів при невеликих площах, що займаються. У порівнянні з наземними нафтохранилищами вони також безпечніші,

характеризуються меншими втратами від випаровування, меншими питомими витратами на спорудження і експлуатацію. За конструкцією резервуарів підземні нафтохранилища поділяються на: шахтні та безшахтні (створюються шляхом розмиву кам'яної солі водою через свердловини). Найефективніше підземне зберігання нафти в масивних соляних пластах і соляних куполах (див. соляні сховища). У пластичних породах резервуари нафтохранилищ споруджуються методом глибинних вибухів. Нафтохранилища можуть входити до складу нафтопромислів, нафтобаз, насосних станцій магістральних нафтопроводів і нафтопродуктопроводів, нафтопереробних заводів і нафтохімічних комплексів, а також є самостійними підприємствами.

Нафта зазвичай зберігається в резервуарах. Нафтові резервуари — це ємності різних розмірів, призначені для накопичення, короткочасного зберігання та обліку «сирої» і товарної нафти (рис. 4.3.) [6].



Рис. 4.3. Нафтові резервуари

https://uk.wikipedia.org/wiki/Резервуар_нафтовий#

Групу резервуарів, зосереджених в одному місці, називають резервуарним парком (рис. 4.4.) [7].

Загальний об'єм товарного резервуарного парку повинний бути рівним дводобовій плановій продуктивності всіх експлуатаційних свердловин родовища.

Нафтові резервуари будують з негорючих матеріалів у наземному, частково заглибленому та підземному виконаннях. Для збору, зберігання і заміру об'єму нафти на нафтових родовищах у більшості випадків споруджують циліндричні сталеві резервуари й рідше — бетонні або залізобетонні.

Резервуари середньої та великої місткості з метою економії металу виготовляють із змінною товщиною стінки в нижній частині резервуара.

Різновиди нафтових резервуарів. Резервуар нафтовий заглиблений — ємність для зберігання нафти і нафтопродуктів, яка повністю чи частково розташована нижче рівня землі; споруджується також з ґрунтовою

засипкою (наприклад, траншейні резервуари). Використовуються на складах нафти і нафтопродуктів, нафтопереробних заводах і ін.



Рис. 4.4. Резервуарний парк

https://uk.wikipedia.org/wiki/Резервуарний_парк

Резервуар нафтовий залізобетонний — ємність для зберігання нафти і нафтопродуктів, днище, корпус і покриття якої виготовляються із залізобетону. Форма резервуарів прямокутна або циліндрична. Розрізняють залізобетонні резервуари монолітні (днище, корпус і покриття мають загальний каркас із сталевих арматур) і збірно-монолітні (днище у вигляді монолітного блока, а корпус і покриття із збірних плит). За способом спорудження залізобетонні резервуари поділяють на наземні і заглиблені.

Резервуар морський — резервуар для збирання і зберігання нафти на морських родовищах.

4.2.3. Зберігання газу

Мережа підземних сховищ газу - важливий елемент енергетичної системи України. Їх стала та безперебійна робота необхідна для проходження опалювальних сезонів, функціонування промислових підприємств та виконання зобов'язань перед іноземними партнерами [8].

Підземні сховища природного газу в Україні — станом на початок XXI ст. — комплекс підземних газосховищ на території України, що складається з 13 об'єктів, проектна потужність яких за активним газом становить 37,8 млрд м³, з максимальною добовою продуктивністю — 383,0 млн м³. За своїми показниками український комплекс ПСГ посідає

третє місце у світі (після США та Росії) та друге — в Європі. Питома вага активної місткості українських ПСГ в Європі складає 20 %. Такі потужності надають Україні можливості для залучення клієнтів зі зберігання газу, зокрема європейських [9].

Підземні сховища природного газу є одним із найважливіших технологічних елементів газотранспортної системи України, який забезпечує її надійну та безперебійну роботу. Підземні сховища газу (ПСГ) створені на базі виснажених газових і газоконденсатних родовищ. Розташовані в усіх нафтогазових провінціях країни на глибині від 400 до 2000 м.

На сьогодні Україна має розвинуту мережу підземних сховищ природного газу, потенційні можливості якої є значними. Загально досягнута активна місткість підземних сховищ становить більше 24 млрд м³ газу, що відповідає 70 % проєктної величини, а їхня сумарна можлива максимальна продуктивність на початок сезону відбирання дорівнює близько 327 млн м³/доб. Західноукраїнський комплекс ПСГ є найпотужнішим комплексом сховищ в Україні, який задовольняє потреби Західного регіону країни як у необхідних об'ємах зберігання газу, так і у продуктивності. Він забезпечує надійність постачання газу не тільки в західному регіоні, а й транзитних поставок експортного газу в країни Західної та Східної Європи. Водночас в інших регіонах України (Північному, Центральному, Східному та Південному) існує значний дефіцит потужностей підземного зберігання газу. Особливо це стосується Східного регіону та Подніпров'я, де зосереджений найбільший промисловий потенціал країни.

З технічного погляду ПСГ є надзвичайно складною системою, основними елементами якої є пласт-колектор, зв'язаний з поверхневим обладнанням свердловинами. Режим роботи цих об'єктів на відміну від газових родовищ нестабільні в часі, що ускладнює їхню надійну експлуатацію. Тому наукові дослідження особливостей експлуатації ПСГ в умовах пружноводонапірного режиму їхнього розроблення, які спрямовані на вивчення формування газонасиченого об'єму покладу, виявлення особливостей прояву пружноводонапірного режиму під час циклічної експлуатації сховища, визначення впливу покладу на водоносну зону пласта, є актуальними проблемами підвищення надійності газопостачання. Враховуючи геостратегічне положення України та впровадження в її економіку ринкових відносин, наявність значної потужності сховищ в західному регіоні дає можливість створювати в майбутньому необхідні резерви природного газу для країн Східної Європи, де є обмежені можливості для його підземного зберігання. Для їхньої експлуатації передбачені 1535 свердловин і компресорні станції загальною потужністю 631,1 МВт. Із загальної кількості газосховищ 5 мають проєктний об'єм від 2 млрд м³ і більше, а одне з них перевершує 21 млрд м³. При проєктних

об'ємах зберігання український комплекс газосховищ дозволяє забезпечувати 40 % річного й близько 50 % добового обсягу споживання газу в країні й, окрім того, гарантує надійність транзиту газу.

Основними технологічними показниками ПСГ є буферний і активний газ, добова продуктивність сховища, тривалість відбору активного газу, кількість експлуатаційно-нагнітальних свердловин, максимальний і мінімальний пластові тиски.

Підземне зберігання газу є засобом регулювання постачання газу газотранспортними підприємствами, які експлуатують протяжні системи газопроводів і забезпечують поставки газу не тільки місцевим розподільчим підприємствам, але і пряме постачання крупним промисловим підприємствам і електростанціям. Підземні газосховища України характеризуються: активним об'ємом газу обсягом 31,95 млрд.м³, добовою продуктивністю — 250 млн.м³/добу.

За місцем розташування та підключення до системи магістральних газопроводів в Україні виділяють чотири комплекси підземного зберігання газу: Західний, Центральний, Східний і Південний.

Західний комплекс створений у Прикарпатському регіоні в системі трансконтинентальних, міждержавних і внутрішньодержавних газопроводів і містить 5 газосховищ: Більче-Волицько-Угерське (16 гор.), Угерське (14-15 гор.), Опарське, Дашавське й Богородчанське. Підземні газосховища комплексу пов'язані системою газопроводів, що створює сприятливі умови для перерозподілу потоків газу, задоволення потреб місцевих і віддалених споживачів. Також з'являється можливість накопичувати необхідні резерви газу для розв'язку оперативних і стратегічних завдань. Досягнута потужність комплексу за активним об'ємом становить близько 81 % від загальної величини активного газу в газосховищах країни; за фондом експлуатаційних свердловин — 53 % від загального числа експлуатаційних свердловин, пробурених на підземних газосховищах України.

Центральний комплекс, що містить Олишівське, Червонопартизанське, Солохівське й Кегичівське газосховища, створений у Київській системі внутрішніх, міждержавних і трансконтинентальних газопроводів і призначений для забезпечення надійності газопостачання споживачів м. Києва, Київської, Харківської, Полтавської та Чернігівської областей.

Досягнута величина активного об'єму газу становить 11,5 % від загальної величини активного газу в газосховищах країни; фонд експлуатаційних свердловин — 16 % від загального числа експлуатаційних свердловин, пробурених на підземних газосховищах.

Східний комплекс у складі Краснопопівського та Вергунського газосховищ створений у системі Донецького кільця газопроводів і призначений для забезпечення надійності газопостачання споживачів Донбасу. Величина активного газу в межах комплексу становить 2,5 % від

загальної величини активного газу в газосховищах країни, а фонд 24 експлуатаційних свердловин становить 8 % від загальної кількості експлуатаційних свердловин, пробурених на ПСГ.

Південний комплекс створений у Придніпровському регіоні в системі газопроводів південного напрямку та містить у собі 2 підземні газосховища: Пролетарське й Глібівське. Досягнута величина активного об'єму газу в межах комплексу становить 5 % від загальної величини активного газу в газосховищах країни, фонд експлуатаційних свердловин — 23 % від загального числа експлуатаційних свердловин, пробурених на ПСГ України.

Підземні сховища газу зазвичай використовуються для регулювання нерівномірності газопостачання в сезонні періоди, які залежать від навколишнього середовища, тобто від температури. Вони дозволяють газотранспортним підприємствам підвищувати коефіцієнт використання газопроводів, що дає змогу знизити питомі витрати при доставці газу споживачам, а також підвищити її надійність і безперервність.

Окрім підвищення показників надійності газопостачання, підземне зберігання газу відіграє значну роль також як засіб оптимізації навантаження трубопроводів і, відповідно, зменшення питомих експлуатаційних витрат газотранспортного комплексу, особливо в умовах загостреної конкуренції з боку альтернативних джерел енергії.

Підземні газосховища України призначені для:

- ✓ регулювання сезонної нерівномірності газоспоживання;
- ✓ додаткової подачі газу споживачам при екстремальних зниженнях температури як в окремі дні, так і в період аномально холодних зим;
- ✓ створення довгострокових резервів газу при виникненні непередбачених екстремальних ситуацій, таких як довгострокове припинення поставок газу у зв'язку з великими аваріями, стихійними лихами, відмовами постачальників тощо;
- ✓ резервування газу в випадку виникнення короточасних аварійних ситуацій у системі газопостачання;
- ✓ забезпечення надійності транзиту експортного газу територію України.

У систему 12 підземних сховищ "Укртрансгазу", 100% якого належить НАК "Нафтогаз України", загальною проектною ємністю 31 млрд куб. м, входять Більче-Волицьке-Угерське ПСГ (17,05 млрд куб. м), Угерське (1,9 млрд куб. м), Дашавське (2,15 млрд куб. м), Опарське (1,92 млрд куб. м), Богородчанське (2,3 млрд куб. м), Червонопартизанське (1,5 млрд куб. м), Солохівське (1,3 млрд куб. м), Олишівське (0,31 млрд куб. м), Пролетарське (1 млрд куб. м), Кегичівське (0,7 млрд куб. м), Краснопоповське (0,42 млрд

куб. м) і знаходиться на тимчасово окупованій території Вергунського (0,4 млрд куб. м) (рис. 4.5.).

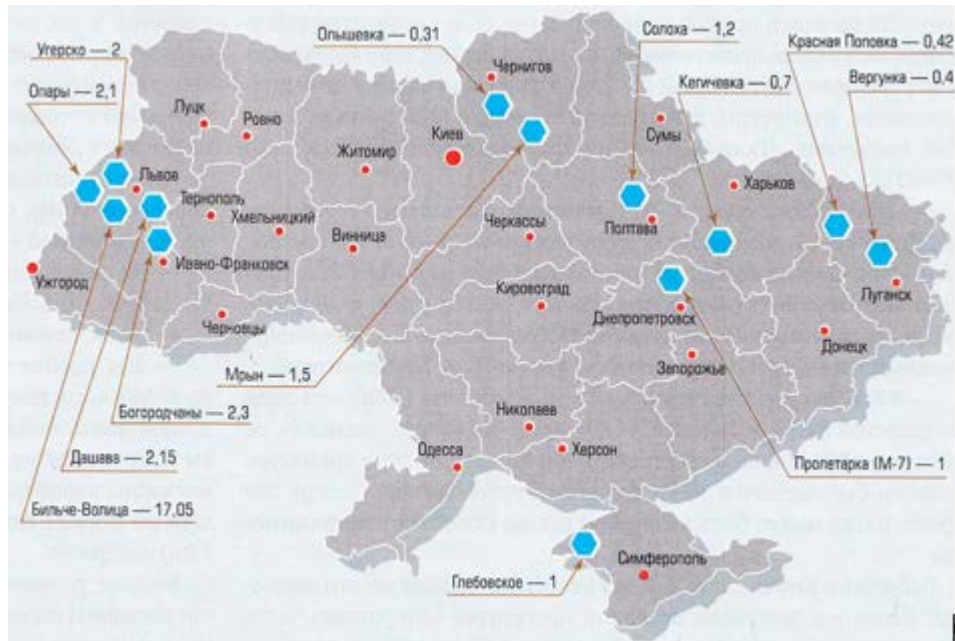


Рис. 4.5. Ємність основних підземних газових сховищ України, млрд м³

Незначні обсяги газу зберігаються в газгольдерах [10]. Газгольдер (від англ. gas holder) — стаціонарне газосховище — резервуар для накопичення і зберігання газу. Може бути зроблений з металу, гуми чи бетону.

За принципом роботи розрізняють газгольдери змінного і постійного об'єму. За формою — сферичні і циліндричні (рис. 4.6.).

Газгольдери змінного об'єму поділяються на мокрі і сухі.

«Мокрі» — з водяним басейном і рухомих дзвоном, під яким збирається газ; «сухі» — з металевим поршнем або гнучкою мембраною. Працюють при тиску до 4 кПа, величина якого залишається практично незмінною в процесі наповнення або випорожнення газгольдерів. Мокрі газгольдери являють собою вертикальну конструкцію, виконану з двох-трьох рухомих ланок, верхньої пересувної частини (дзвону) і стаціонарної нижньої (водяного басейну). Об'єм мокрих газгольдерів 100—30 000 м³, сухих — до 110 000 м³.

Газгольдери змінного об'єму в Україні практично не застосовуються; поширені в країнах Західної Європи і США. Газгольдери постійного об'єму працюють при тиску 4 кПа — 3 МПа, величина якого, на відміну від газгольдерів першого типу, змінюється в процесі їх наповнення і випорожнення. Виконуються сферичними і циліндричними (горизонтальними або вертикальними). Об'єм перших 300—4000 м³ (діаметр 9—20 м), других — 50-270 м³ (діаметр 3,2 м).



а)



б)

Рис. 4.6. Газгольдер: а) сферичний; б) циліндричний

<https://uk.wikipedia.org/wiki/Газгольдер>

Газгольдери бувають низького типу і високого типу, де газ зберігається під тиском 0,7...3 МПа.

Газгольдер застосовують у хімічній, нафтовій і газовій промисловості.

Застосування газгольдерів не вирішує завдання накопичення великих кількостей газу, потрібних для вирівнювання значних сезонних коливань у споживанні газу. Вони можуть відігравати роль буферної ємності лише при добових, незначних коливаннях в подачі газу споживачам: вночі заповнення газгольдерів, вдень – спорожнення при постійній продуктивності магістрального газопроводу.

Скrapлений газ (пропан - бутанова суміш) використовується споживачами де відсутня централізована система газопостачання. Пропан-бутанову суміш отримують в процесі нафтопереробки і яка є побічним продуктом при виробництві інших видів палива, таких як бензин або солярка.

Основна особливість зріджених вуглеводневих газів, таких як пропан-бутан, полягає в тому, що вони зберігаються і транспортуються в рідкому, а використовуються в газоподібному стані. При звичайних умовах вуглеводневі гази знаходяться в газоподібному стані, а при незначному підвищенні тиску без зміни температури перетворюються у рідину. Тому важливо пам'ятати правила користування газобалонними установками.

Сама по собі пропан-бутанова суміш не має вираженого запаху, тому до неї, в цілях безпеки, додають спеціальну пахучу речовину - одорант.

Саме запах одоранту прийнято називати "запахом газу", хоча до газу він не має ніякого відношення. Із-за стійкості пахучої речовини навіть порожній балон продовжує пахнути впродовж багатьох років.

У роздріб пропан-бутан поступає з газових ділянок заправки і обміну побутових балонів (рис. 4.7.).



Рис. 4.7. Балони для скрапленого газу

<http://houseofdream.com.ua/q/8603/skilki-kubiv-gazu-u-litri-skraplenogo-propanu>

Оскільки пропан-бутан - горюча і вибухонебезпечна речовина, відносно його зберігання і перевезення діє ряд суворих обмежень. Це примушує обирати досить віддалені від споживачів місця базування, придбавати спеціальний транспорт з допуском до перевезення небезпечних вантажів, реєструючи його в ДАІ.

Побутові газові балони - це місткості для транспортування, зберігання, регазифікації і роздачі пропан-бутанової суміші споживачам.

Побутові балони під пропан-бутан застосовуються згідно із стандартами (ДСТУ 3245-95 "Балони сталеві зварні для скраплених вуглеводневих газів на тиск 1,6 МПа. Загальні технічні умови) 5 л.; 27 л. і 50 л.

Після підключення газових балонів необхідно перевірити щільність з'єднань і відсутність витoku газу. Ця перевірка здійснюється за допомогою пінного (мильного) розчину, яким за допомогою пензлика обмазуються усі з'єднання. Після чого відкривається вентиль балона і робиться візуальне спостереження за нанесеною піною. Якщо здуття піни або утворення пухирів не виявлено, то з'єднання задовольняють заданим умовам герметичності. Перевірку рекомендується зробити не менше двох разів, причому кожного разу необхідно наносити мильний розчин.

4.3. Механічне зберігання енергії

4.3.1. Пневматичний акумулятор

Сховище енергії на стисненому повітрі — агрегат, призначений для зберігання енергії за рахунок стисненого повітря. Сховище енергії на стисненому повітрі зазвичай використовується у електромережах для відбору надлишків енергії з електромережі у період низького навантаження та живлення споживачів у період пікового навантаження [11]. Завод працює у добовому циклі, закачуючи повітря вночі та випускаючи вдень. Підігрівання стисненого повітря з використанням природного газу або геотермального тепла для збільшення кількості енергії вивчалось Pacific Northwest National Laboratory [12]. Маломасштабні системи сховищ енергії на стисненому повітрі також використовуються для руху транспорту або запуску двигунів внутрішнього згорання.

Сховище енергії на стисненому повітрі також можуть бути використані у меншому масштабі для автомобілів та локомотивів з пневмодвигунами з використанням міцних балонів з вуглеволокна. Тим не менше для збереження енергії балон повинен бути ізольований від оточуючого середовища для уникнення втрат енергії з теплом, яке виділяється при стисненні повітря (рис. 4.8.).



Рис. 4.8. Балон стиснутого повітря для запуску дизельного двигуна у метрополітені м. Париж

https://uk.wikipedia.org/wiki/Сховище_енергії_на_стисненому_повітрі

Сховище стисненого повітря. Сховище стисненого повітря — одна з найбільш важливих характеристик, яка визначає економічну ефективність,

щільність енергії та гнучкість. У залежності від термодинамічних умов сховища поділяються на:

- ✓ сховища з постійним об'ємом (печери, надземні споруди, підземні водоносні горизонти, балони суден, автомобільних додатків, тощо);
- ✓ сховища з постійним тиском (підводні контейнери тощо).

Сховище з постійним об'ємом. Сховище цього типу використовує камеру з жорсткими стінами. З точки зору термодинаміки це система з постійним об'ємом і змінним тиском. Це створює деякі проблеми у роботі компресорів та турбін. Коливання тиску не повинні перевищувати певної межі щоб не утворювати перенапруження у стінках сховища [13].

Сховище часто є підземною печерою, створеною внаслідок видобутку солі розчиненням [14], або використанням закинутих підземних виробок, або пористих геологічних структур, таких, як резервуари нафти і газу [12].

У деяких випадках наземні трубопроводи були випробувані як сховища з непоганими результатами. Вартість цих систем вища, хоча вони можуть бути розміщені де потрібно, тоді як підземні сховища потребують особливих геологічних формацій (соляних печер, водоносних горизонтів, вичерпаних газових родовищ) [13].

Сховище з постійним тиском. У сховищі цього типу ємність знаходиться під постійним тиском, тоді як об'єм повітря, яке зберігається у ній, змінюється. Створено багато різновидів даних сховищ, але вони використовують єдиний принцип, який полягає у розміщенні ємності на глибині сотень метрів під водою, де гідростатичний тиск водяного стовпа підтримує тиск на ємність на бажаному рівні.

Сховище цього типу дозволяє:

Збільшити щільність енергії за рахунок того, що використовується усе повітря, яке зберігається у ємності (тиск не залежить від заповненості ємності, тоді як у системах з постійним об'ємом турбіни вимикаються при досягненні нижнього рівня тиску з міркувань безпеки).

Збільшити ефективність турбінних установок, які працюють під постійним вхідним тиском.

Використовувати у різних географічних умовах (берегова лінія, плавучі платформи тощо) [15]. З іншого боку вартість таких систем вища через необхідність розміщення ємності сховища під водою (часто моря або океану) та вартості самої ємності.

4.3.2. Безтопковий паровоз

Безтопковий паровоз - тип паровоза, що не має топки (і, відповідно, димової труби). Пара, необхідна для його роботи, проводиться не на самому паровозі, а на стаціонарній установці, звідки періодично нагнітається в

паровий котел-акумулятор, що розташований на паровозі. У ньому замість котла для приготування пари є особливий резервуар, що наповнюється на стоянці водою та паром під тиском та постійних котлів центральної станції.

Паровий котел безтопочного паровоза конструктивно є замкненою циліндричною посудиною з посиленою теплоізоляцією. При підготовці безтопочного паровоза до роботи котел на 60-70% заповнюється водою, після чого через один або кілька патрубків у нього нагнітається перегріта пара високого тиску, що нагріває воду до кипіння. Під час роботи тиск пари в котлі поступово падає, що призводить до зниження температури її випаровування, і вода в котлі знову закипає, тим самим додаючи ще пару. Як правило, мінімальний тиск пароутворення в такому котлі - 3-4 кгс/см².

Пар з резервуару пропускається в циліндри парової машини паровоза через ініціальний редуційний клапан; в останньому тиск знижується до певної величини, на яку розрахована нормальна робота машини. У міру витрачання пари тиск у резервуарі поступово падає, резервуар виснажується і потребує нової зарядки.

Радіус дії такого паровоза дуже обмежений. Безтопковий паровоз як бездимний застосовували на міських дорогах в Америці. В даний час використовується головним чином для обслуговування заводських територій із складами вогненебезпечних (вибухових) речовин [16].

Головним недоліком безтопкових паровозів у порівнянні зі звичайними є робота парової поршневої машини на насиченій парі, бо така конструкція паровоза з паровим акумулятором не має пароперегрівача. Відповідно, робота на насиченій парі призводила до конденсації насиченої пари при її розширенні в циліндрах двигуна, а це різко знижувало ККД використання теплової енергії, запасеної у водяній парі.

Інший недолік – обмежений радіус дії такого паровоза; але в той же час відсутність топки, і, відповідно, вогню та іскор, дає їм значну перевагу у пожежній безпеці. Завдяки цьому безпаливні паровози набули широкого поширення на нафтоперегінних, деревообробних та паперових підприємствах та інших пожежонебезпечних виробництвах. Крім того, таким паровозам майже не потрібний котельний ремонт, а обслуговувати їх може один машиніст [17].

4.3.3. Супермаховик

Супермаховік — один з типів маховика, призначений для накопичення механічної енергії (рис. 4.9) [18]. Маховики як буферні пристрої почали використовуватися ще в часи неоліту, наприклад, у пристрої гончарного кола. У ХХ маховик зазнав ряд конструктивних змін, що дозволяв йому запасати енергію на значний час. Так, наприклад, в 1950-

х роках вакуумовані маховики використовувалися в експериментальному громадському транспорті, зокрема випробовувалися гіробуси.

За рахунок конструктивних особливостей здатний зберігати до 500 Вт·год (1,8 МДж) на кілограм ваги.

Сучасний супермаховик являє собою барабан, виготовлений з композитних матеріалів, наприклад, намотаний з тонких витків сталеві, пластичної стрічки, скловолокна або вуглецевих композитів. За рахунок цього забезпечується висока міцність на розрив. Для зменшення втрат на тертя супермаховик поміщається в вакуумований кожух. Найчастіше використовується магнітний підвіс.



Рис. 4.9. Супермаховик

<https://uk.wikipedia.org/wiki/Супермаховик>

Закінчений вигляд супермаховик приймає тоді, коли він здатний запасати і віддавати енергію. Для цього створюється мотор-генератор, де статором є барабан, а ротором - вісь, навколо якої він обертається. Таким чином, при підключенні в мережу він буде запасати енергію, а при підключенні навантаження - віддавати. ККД цього перетворення досягає 98% (рис. 4.10).

У основі цього способу зберігання лежить механічна інерція [19]. Коли електрична сила надходить у пристрій, електродвигун прискорює важкий диск, що обертається. Двигун діє як генератор, коли потік потужності змінюється, сповільнюючи диск і виробляючи електрику. Електрика зберігається як кінетична енергія диска. Тертя має бути мінімальним, щоб продовжити час зберігання. Це часто досягається шляхом розміщення маховика у вакуумі та використання магнітного підшипника, що робить метод дорогим. Більші швидкості маховика дозволяють збільшити ємність зберігання, але вимагають міцних матеріалів, таких як сталь або композитні матеріали, щоб протистояти відцентровій силі. Проте

діапазон технологій накопичення потужності та енергії, який робить цей метод економічним, має тенденцію зробити маховики непридатними для загального застосування в системі електропостачання; вони, ймовірно, найкраще підходять для вирівнювання навантаження на залізничних енергетичних системах і для покращення якості електроенергії від відновлюваних джерел, таких як система потужністю 20 МВт в Ірландії [20, 21].



Рис. 4.10. Маховик NASA G2

https://ru.wikipedia.org/wiki/Маховичный_накопитель_энергии

Програми, які використовують зберігання у маховиках, вимагають дуже високих сплесків потужності протягом дуже короткого часу, наприклад токамак [22] та лазерні експерименти, де двигун-генератор розкручується до робочої швидкості та частково сповільнюється під час розряду.

Наразі сховище на маховиках також використовується у вигляді дизель-роторного джерела безперебійного живлення для забезпечення систем безперебійного живлення (наприклад, у великих центрах обробки даних) для перехідного живлення, необхідного під час перемикання [23] – тобто відносно короткий проміжок часу між втратою живлення від мережі та прогріванням альтернативного джерела, такого як дизельний генератор.

Це потенційне рішення було реалізовано EDA [24] на Азорських островах на островах Грасіоза і Флореш. Ця система використовує маховик потужністю 18 мегават-секунд для покращення якості електроенергії і, таким чином, дозволяє збільшити використання відновлюваної енергії. Як випливає з опису, ці системи також призначені для згладжування

тимчасових коливань у постачанні, і їх ніколи не можна використовувати, щоб впоратися з відключенням, що перевищує кілька днів.

Powercorp в Австралії розробляє програми з використанням вітрових турбін, маховиків і дизельних технологій з низьким навантаженням, щоб максимізувати введення вітру в невеликі мережі. Система, встановлена в Корал-Бей, Західна Австралія, використовує вітряні турбіни в поєднанні з системою керування на основі маховика та дизель-генераторів з низьким навантаженням. Технологія маховика дозволяє вітровим турбінам іноді забезпечувати до 95 відсотків енергії Корал-Бей із загальним річним проникненням вітру в 45 відсотків [25].

4.3.4. Гравітаційна потенціальна енергія

Оскільки будь-яке тіло й Земля притягують одне одного, тобто взаємодіють, то потенціальна енергія тіла, піднятого над землею, залежатиме від h - висоти підняття (що більша висота підйому тіла, то більша його потенціальна енергія) та маси (тіло більшої маси матиме й більшу потенціальну енергію) [26, 27].

Під час падіння піднятого тіла на поверхню Землі сила тяжіння виконала роботу:

$$A = F_{th} = mgh \quad (4.1)$$

Вона відповідає зміні потенціальної енергії тіла від її значення на висоті h до значення на поверхні Землі. Якщо для зручності прийняти, що потенціальна енергія тіла на поверхні Землі дорівнює нулю, то потенціальна енергія тіла, піднятого на деяку висоту h , дорівнюватиме виконаній під час падіння роботі:

$$E_p = A = F_{th} = mgh, \quad (4.2)$$

де E_p - потенціальна енергія піднятого тіла;
 m - маса тіла;
 $g = 9,81$ Н/кг; h - висота, на яку підняли тіло.

Принцип роботи гравітаційних систем зберігання енергії ґрунтується на гравітації та терті, власне кажучи, аналогічний ГАЕС, але без води [28].

Цікавий пристрій для накопичення енергії та приклад гравітаційного сховища створила американська компанія Advanced Rail Energy Storage North America за допомогою міні-залізниці у Неваді (рис. 4.11.). При запасанні енергії проект ARES піднімає вагони з баластом ближче до

вершини пагорба, при віддачі енергії вагони спускають з пагорба. Кожен із вагонів оснащений генератором на 2 МВт, при підйомі він працює як електромотор, а на спуску віддає енергію в мережу.

ККД усієї системи оцінюється в 80 - 86%. Різниця у висоті між точками становить 900 м (це дуже великий перепад висот, у більшості ГАЕС такого немає), при тому, що довжина колій, якими рухаються вагони, 8 км. На піку система видає до 50 МВт потужності. Це близько 1,5 МВт із кожного з 32 вагонів (з урахуванням усіх втрат). Заявляється, що запуск вагонів у рух відбувається швидко – від 5 до 10 секунд. Це не так добре, як у літій-іонних акумуляторів, але в місцевості, де створено проект, мінливості ВДЕ балансують переважно газові ТЕС, які підключаються від півгодини.



Рис. 4.11. Гравітаційного сховище енергії за допомогою міні-залізниці

<https://kosatka.media/category/blog/news/5-sposobov-hraneniya-energii-i-naskolko-oni-effektivny>

За таким же гравітаційним принципом працює інший не менш цікавий проект – зберігання енергії у вежі. Принцип роботи – шестизірковий кран стоїть у центрі, а на відстані від нього лежать бетонні циліндри вагою 35 метричних тон (рис. 4.12.).

Коли виникає надлишок сонячної або вітрової електроенергії, запускається електродвигун, і кран, керований автоматичним алгоритмом, піднімає бетонні блоки один за одним, складаючи їх у вежу навколо своєї осі.

Система зберігання «цілком заряджена», коли кран створив навколо себе вежу з бетонних блоків. У вежі може зберігатись 20 МВт•год енергії.

Коли в мережі нестача електрики, система запускається у зворотному напрямку і електроенергія подається в мережу за рахунок гравітаційної енергії. Коли мережа працює на низькому рівні, двигуни повертаються в дію - за винятком того, що замість того, щоб споживати електрику, двигун поводить рухом заднім ходом гравітаційною енергією і, таким чином, генерує електрику.



Рис. 4.12. Зберігання енергії у вежі

<https://alternative-energy.com.ua/uk/tri-klyuchovi-tehnologi%D1%97-nakopichennya-energi%D1%97-yaki-dopomozhut-perejti-na-vikoristannya-vidnovlyvalnih-dzherel/>

Таку систему під промислове зберігання електроенергії розробив швейцарський стартап Energy Vault. Демонстраційний об'єкт розташований в Італії, неподалік Мілана. Оскільки бетон набагато щільніший за воду, для підйому бетонного блоку потрібно (і, отже, він може зберігати) набагато більше енергії, ніж резервуар з водою однакового розміру. ККД такої системи близько 85%.

Що стосується кінетичної енергетичної системи Energy Vault, то за своєю природою вона надзвичайно економічна. Обсяг накопиченої енергії безпосередньо залежить від кількості і маси блоків, а також висоти, на яку вони піднімаються, а потім опускаються [29].

Згідно з інформацією з новин, вартість зберігання енергії протягом терміну служби такої «вежі потужності» може становити приблизно кілька центів США за кіловат-годину (кВт/год), що приблизно в 7 разів нижче, ніж для еквівалентних систем з іонно-літєвими батареями.

Однак, незважаючи на різке скорочення використання літій-іонних акумуляторів, сучасним системам накопичення енергії поки складно конкурувати з традиційними електростанціями на сировинному паливі, особливо, якщо мова йде про довготривалі і великомасштабні проекти. Про це заявив співзасновник і генеральний директор компанії Energy Vault Роберт Пікон. Він підкреслює екологічну безпеку інноваційної технології, а також можливість поєднати з нею сонячну та вітрову енергію для повної заміни сировинного палива відновлюваними джерелами енергії.

Даний проект Energy Vault переміг серед ідей, що змінюють світ, в номінації «Енергія» на думку видання Fast Company в 2019 році.

4.3.5. Гідроаккумулятор

Гідроаккумулятор— акумулятор, гідропосудина, призначена для акумулювання та повернення енергії робочої рідини, що перебуває під тиском [30].

За способом накопичення енергії гідроаккумулятори поділяються на два типи: гідроаккумулятори з механічним накопичувачем; гідроаккумулятори з пневматичним накопичувачем (рис. 4.13.).

До конструкцій гідроаккумуляторів з механічним накопичувачем належать:

- ✓ вантажні гідроаккумулятори;
- ✓ пружинні гідроаккумулятори.

До цих конструкцій гідроаккумуляторів з пневматичним накопичувачем належать наступні, що відрізняються способом розділення рідини і газового середовища:

- ✓ балонні гідроаккумулятори;
- ✓ поршневі гідроаккумулятори;
- ✓ мембранні гідроаккумулятори;
- ✓ сільфонні гідроаккумулятори.

Як робоче стискуване середовище використовується газ азот чи стиснене повітря.

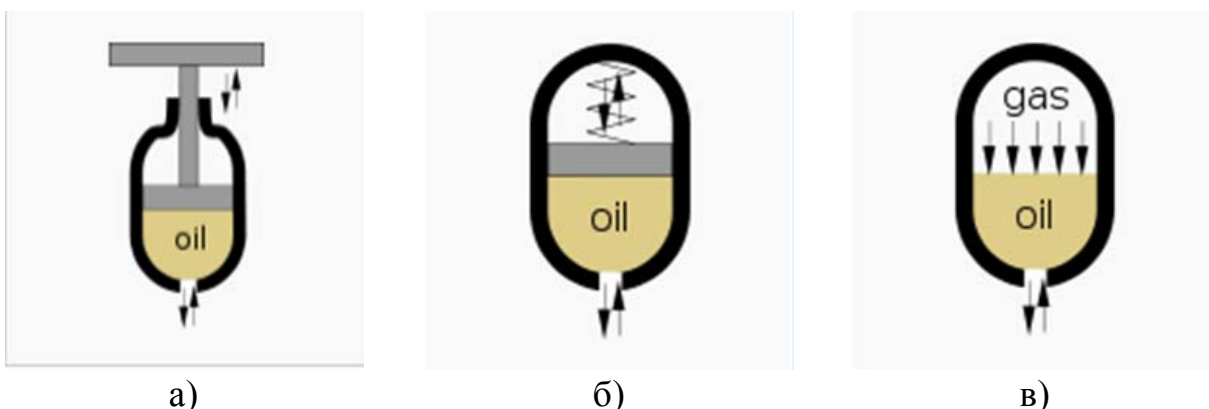


Рис. 4.13. Схеми гідроаккумуляторів: а) - схема вантажного гідроаккумулятора; б) - схема пружинного гідроаккумулятора; в) - схема гідроаккумулятора з пневматичним накопичувачем

<https://uk.wikipedia.org/wiki/Гідроаккумулятор>

Економічно доцільно застосовувати гідроакумулятори в системах з епізодичними піками споживаної витрати, що значно перевищують середні витрати рідини в гідросистемі. Потужність гідроприводу при цьому може бути зменшена у півтора-два рази, а споживання енергії такою системою можна знизити на понад 50 %.

Різні за конструкцією (поршневі, балонні, мембранні, сильфонні) і призначенням пневмогідроакумулятори дозволяють отримати технічні рішення для таких завдань:

- ✓ акумулювання (накопичення) гідравлічної енергії та підтримка фіксованого тиску;
- ✓ живлення системи в позаштатних і аварійних ситуаціях, забезпечення аварійного керування;
- ✓ урівноваження сил і навантажень;
- ✓ накопичення запасів рідини для компенсація витоків;
- ✓ демпфування пульсації тиску поршневих насосів;
- ✓ виключення пульсації потоку у зливній, напірній і всмоктувальній магістралях;
- ✓ демпфування гідравлічних ударів, механічних імпульсів та вібрацій;
- ✓ підпружинювання рухомих механізмів та амортизаційна підвіска мобільної техніки тощо.

4.3.6. Гідроакумуляююча електростанція

Гідроакумуляююча електростанція (ГАЕС) — гідроелектрична станція, що використовується для вирівнювання добового графіка навантаження енергосистеми [31]. В залежності від стану виробництва електроенергії у енергосистемі може виступати як терміновим споживачем електроенергії так і терміновим генератором. Оптимальна кількість гідроакумуляюючих станцій робить енергосистему стійкою та стабільною до магістральних аварій та непередбачених пікових споживань, раптових аварій на інших генеруючих об'єктах. Електроенергія у вигляді води має дешевшу ціну ніж аналогічна енергія збережена у вигляді стисненого повітря, накопиченого газу або акумуляторних батарей. В Україні експлуатуються: Київська ГАЕС, Ташлицька ГАЕС (рис. 4.14.), Дністровська ГАЕС, Канівська ГАЕС.

Гідроакумуляююча електростанція (ГАЕС) — гідроелектрична станція, принцип дії якої полягає в перетворенні електричної енергії, що отримується від інших електростанцій, в потенційну енергію води, при

зворотному перетворенні накопичена енергія віддається в енергосистему головним чином для покриття піків навантаження.



Рис. 4.14. Ташлицька ГАЕС

https://www.sunpp.mk.ua/uk/energocomplex/tashlyk_storage_plant

Гідротехнічні споруди ГАЕС складаються з двох басейнів, розташованих на різних рівнях, і сполучних водоводами. Гідроагрегати, встановлені в будівлі ГАЕС в нижній частині водоводу, можуть бути тримашинними, такими, що складаються зі сполучених на одному валу оборотної електричної машини (двигун-генератор), гідротурбіни і насоса, або двомашинними — оборотна електромашина і оборотна гідромашина, яка залежно від напрямку обертання може працювати як насос або як турбіна.

Надлишково вироблена електроенергія у системі змінного струму в межах енергосистеми має бути або утилізована або її генерація має бути зменшена оператором енергосистеми для запобігання збільшення частоти змінного струму. Надлишок виробленої електроенергії сонячною генерацією вдень та надлишок виробленої енергії вночі базовою генерацією може бути утилізований для наповнення гідроакumuлюючої станції. І навпаки, коли потужності в енергосистемі не вистачає, електроенергія може бути вироблена шляхом з спущення раніше закачаних об'ємів води. Таким чином, гідроелектростанція приймає участь у частотному регулюванні енергосистеми — коли вона генерує електроенергію — втримується частота струму від зменшення. Коли ГАЕС виступає як споживач — йде утримання частоти струму від збільшення.

Як споживач використовуються потужні насоси які перекачують воду з нижньої водойми у верхню. У періоди максимальних навантажень на енергосистему вода з верхнього басейну по трубопроводу підводиться до гідроагрегатів ГАЕС, включеним на роботу в турбінному режимі, вироблена при цьому електроенергія віддається в мережу енергосистеми, а вода накопичується в нижньому водоймищі. Кількість акумульованої електроенергії визначається ємністю басейнів і робочим напором ГАЕС. Верхній басейн ГАЕС може бути штучним або природним (наприклад озеро), нижнім басейном часто служить водоймище, що утворилося унаслідок перекриття річки греблею. Одне з переваг ГАЕС полягає в тому, що вони не схильні до дії сезонних коливань стоку. Гідроагрегати ГАЕС залежно від напору обладнуються поворотно-лопатевими, діагональними, радіально-осьовими чи ковшовими гідротурбінами. Час пуску і зміни режимів роботи ГАЕС вимірюється декількома хвилинами, що зумовлює їх високу експлуатаційну маневровість, ГАЕС власне і відносять до маневрових електростанцій. Регульовальний діапазон ГАЕС, з самого принципу її роботи, близький двократній встановленій потужності (як споживач і як виробник), що є одним з основних її переваг.

Здатність ГАЕС покривати піки навантаження і підвищувати споживання електроенергії вночі, робить їх дієвим засобом для вирівнювання режиму роботи енергосистеми. Загальний коефіцієнт корисної дії ГАЕС в оптимальних розрахункових умовах роботи наближається до 0,75. У реальних умовах середнє значення ККД з урахуванням втрат в електричній мережі не перевищує 0,66.

4.4. Електричне, електромагнітне акумулювання енергії

4.4.1. Електричний конденсатор

Конденсатор — система з двох чи більше електродів (обкладок), які розділені діелектриком, товщина якого менша у порівнянні з розміром обкладок (рис. 4.15.). Така система має взаємну електричну ємність і здатна зберігати електричний заряд [32].

Конденсатор є пасивним електронним компонентом і широко застосовується в електронних схемах для блокування постійного струму, пропускаючи змінний струм.

Класифікація конденсаторів.

Основна класифікація конденсаторів проводиться за типом діелектрика в конденсаторі. Тип діелектрика визначає основні електричні параметри конденсаторів: опір ізоляції, стабільність ємності, величину втрат тощо.

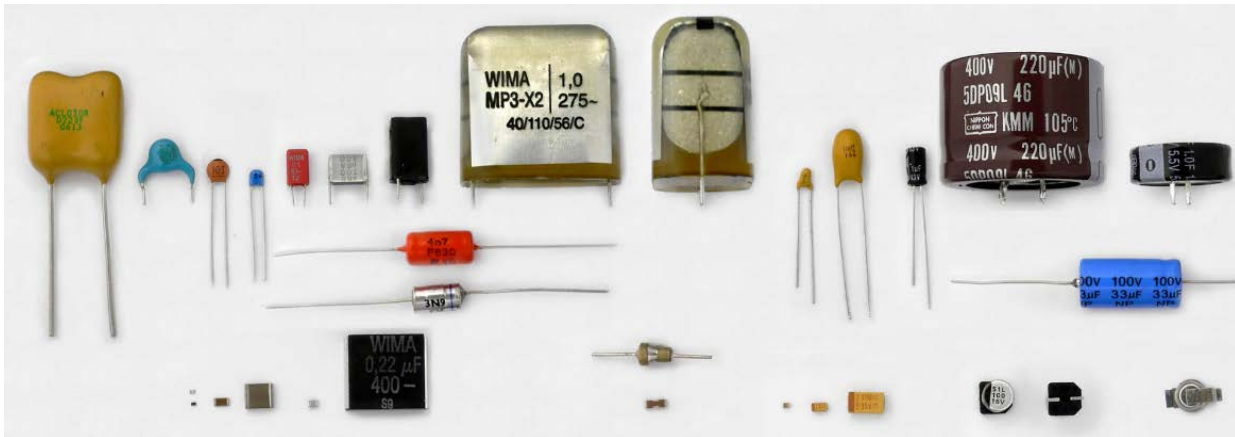


Рис. 4.15. Види конденсаторів

https://uk.wikipedia.org/wiki/Електричний_конденсатор

За видом діелектрика розрізняють:

- ✓ Вакуумні конденсатори (обкладки без діелектрика розташовані у вакуумі);
- ✓ Конденсатори з газоподібним діелектриком;
- ✓ Конденсатори з рідким діелектриком;
- ✓ Конденсатори з твердим неорганічним діелектриком: скляні, слюдяні, керамічні, тонкошарові із неорганічних плівок;
- ✓ Конденсатори з твердим органічним діелектриком: паперові, металопаперові, плівкові, комбіновані.

Електролітичні та оксидо-напівпровідникові конденсатори. Як діелектрик використовується шар оксиду металу. Наприклад для конденсаторів оксидно-алюмінієвих це Al_2O_3 , а для оксидно-танталових — Ta_2O_5 . Однією обкладкою слугує металева фольга (анод), а друга (катод) — це або електроліт (в електролітичних конденсаторах) або шар напівпровідника (в оксидно-напівпровідникових), нанесений безпосередньо на оксидний шар. Анод виготовляється, в залежності від типу конденсатора, з алюмінієвої, нібієвої чи танталової фольги. Такі конденсатори відрізняються від інших типів перш за все своєю великою питомою ємністю, але здатні працювати при відносно низьких напругах і мають значні діелектричні втрати.

Крім того, конденсатори розрізняються за можливістю зміни своєї ємності:

Постійні конденсатори — основний клас конденсаторів, який має сталу ємність (окрім як зменшення з часом використання);

Змінні конденсатори — конденсатори, які дозволяють зміни ємності в процесі функціонування апаратури. Керування ємністю може відбуватися механічно, електричною напругою (варіконди) та температурою

(термоконденсатори). Використовуються, наприклад, у радіоприймачах для налаштування частоти резонансного контуру.

Конденсатори підлаштування — конденсатори, ємність яких змінюється при разовому чи періодичному регулюванні і не змінюється в процесі функціонування апаратури. Їх використовують для підлаштування та вирівнювання початкових ємностей сполучених контурів, для періодичного підлаштування та регулювання ланцюгів схем, де потрібна незначна зміна ємності.

В залежності від призначення конденсатори можна умовно розділити на конденсатори загального та спеціального призначення. Конденсатори загального призначення використовуються практично у більшості видів і класів апаратури. Традиційно до них відносять найбільш розповсюджені низьковольтні конденсатори, до яких не висуваються особливі вимоги. Решта конденсаторів є спеціальними. До них належать високовольтні, імпульсні, дозиметричні, пускові та інші конденсатори.

За формою обкладок конденсатори бувають: плоскі, циліндричні, сферичні, рулонні та інші.

Конденсаторам знаходиться використання практично у всіх галузях електротехніки.

Конденсатори використовуються як фільтри при перетворенні змінного струму на постійний.

При з'єднанні конденсатора з котушкою індуктивності утворюється коливальний контур, який використовується у пристроях прийому-передачі.

За допомогою конденсаторів можна отримувати імпульси великої потужності, наприклад, у фотоспалахах.

Оскільки конденсатор здатний довгий час зберігати заряд, то його можна використовувати як елемент пам'яті. Цей принцип використовує динамічна оперативна пам'ять.

4.4.2. Суперконденсатор

Іоністор (супер-конденсатор, ультра-конденсатор) — конденсатор з обмеженим або необмеженим електролітом, «обкладками» в якому служить подвійний електричний шар на межі розділу електрода і електроліту (рис. 4.16.) [33].

У зв'язку з тим, що товщина подвійного електричного шару (тобто відстань між «обкладками» конденсатора) дуже мала, накопичена іоністором енергія вища в порівнянні зі звичайними конденсаторами того ж розміру. До того ж, використання подвійного електричного шару замість звичайного діелектрика дозволяє набагато збільшити площу поверхні електрода (наприклад, шляхом використання пористих матеріалів, таких, як

активоване вугілля або спінені метали). Питома ємність іоністора сягає десятка фарад/куб. см, при номінальній напрузі 2-4 вольты.

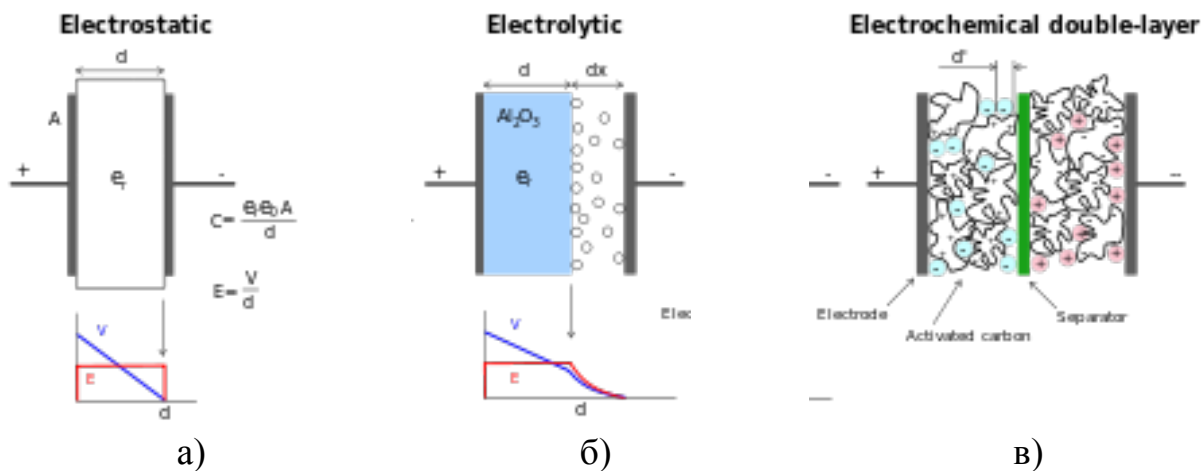


Рис. 4.16. Порівняння конструктивних схем трьох конденсаторів:
а) «звичайний» конденсатор; б) електролітичний; в) іоністор

https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%BE%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80#/media/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Supercapacitor_diagram.svg

З появою іоністорів стало можливим використовувати конденсатори в електричних колах не тільки як перетворюючий елемент, але і як джерело струму.

Такі елементи мають декілька переваг над звичайними хімічними джерелами струму — гальванічними елементами та акумуляторами:

- ✓ Високі швидкості заряду й розряду.
- ✓ Простота зарядного пристрою.
- ✓ Мала деградація навіть після сотень тисяч циклів заряду / розряду.
- ✓ Мала вага в порівнянні з електролітичними конденсаторами подібної ємності.
- ✓ Низька токсичність матеріалів.
- ✓ Висока ефективність (ккд більше 95%).
- ✓ Неполлярні (хоча на іоністорах і зазначені «+» і «-»), це робиться для позначення полярності залишкової напруги після його заряду на заводі-виробнику).

Недоліки суперконденсаторів:

- ✓ Питома енергія менша, ніж у традиційних джерел (1-3 Вт·год/кг при 30-40 Вт·год/кг для батарейок).
- ✓ Напруга залежить від ступеня зарядженості.
- ✓ Можливість вигорання внутрішніх контактів при короткому замиканні.
- ✓ Малий термін служби (сотні годин) на граничних напругах заряду.

- ✓ Великий внутрішній опір в порівнянні з традиційними конденсаторами (50-100 Ом у іоністора 1Ф x 5,5 В)
- ✓ Значно більший, у порівнянні з акумуляторами саморозряд: близько 1 мкА у іоністора 2Ф x 2.5В.

4.4.3. Надпровідниковий магнітний акумулятор

Надпровідниковий магнітний акумулятор — виріб, який зберігає енергію у магнітному полі, створеному постійним струмом у надпровідниковій котушці, яка охолоджена до криогенних температур нижче критичної температури надпровідності [34].

Типовий надпровідниковий магнітний акумулятор включає котушку з надпровідника, систему перетворення енергії та криогенний холодильник. Після заряджання струм не згасає, і енергія магнітного поля зберігається безперервно.

Енергія, яка зберігається, може бути повернута у мережу при розряджанні котушки. Система перетворення енергії використовує інвертор/випрямляч для перетворення змінного струму у постійний та постійного у змінний. Інвертор/випрямляч споживає 2-3% енергії при проходженні енергії у кожному напрямку. Надпровідниковий магнітний акумулятор втрачає найменше енергії у порівнянні з іншими методами накопичення енергії. Надпровідниковий магнітний акумулятор є високоефективним з ККД більше 95% [35].

Завдяки витратам енергії на охолодження і високу вартість надпровідникових провідників надпровідниковий магнітний акумулятор використовується для зберігання енергії на короткий час. Таким чином надпровідниковий магнітний акумулятор в основному призначений для покращення якості електроенергії.

Основною перевагою надпровідникового магнітного акумулятора є мала затримка між заряджанням та розряджанням. Енергія може бути доступна майже миттєво, і може бути забезпечена висока вихідна потужність протягом короткого періоду часу. Інші методи зберігання енергії, такі як гідроакумулююча електростанція або сховище енергії на стисненому повітрі мають істотну затримку при перетворенні збереженої потенційної енергії у електричну. Ще однією перевагою є те, що втрати енергії менші, ніж у інших методах зберігання, бо струм не зустрічає опору. Основні частини надпровідникового магнітного акумулятора нерухомі, що забезпечує високу надійність.

Існує декілька малих установок надпровідникових магнітних акумуляторів, які доступні для комерційного використання і декілька більших для тестових проєктів. Декілька установок ємністю 1 МВт·год використовуються для керування якістю електроенергії по світу, особливо

на виробництвах, які потребують особливо якісної електроенергії, такі як виробництва інтегральних схем.[джерело?]

Ці установки призначені для забезпечення стабільності розподільчих мереж. У північному Вісконсині розподілені установки надпровідникових магнітних акумуляторів розгорнуті для забезпечення стабільності по кільцю ліній електропередач. Лінія електропередач схильна до великих, різких змін навантаження через роботу целюлозно-паперового комбінату, з можливістю неконтрольованих коливань і падіння напруги.

Тестова модель має ємність приблизно 20 МВт·год, здатна забезпечити потужність 40 МВт на 30 хвилин або 10 МВт потужності на 2 години.

Крім властивостей провідника, також важливим питанням є конфігурація самої котушки у аспекті машинобудування. Є три фактори, які впливають на конструкцію і форму котушки, а саме: стійкість до розтягнення, теплове стискання при охолодженні і сила Лоренца у зарядженій котушці. Стійкість до розтягнення важлива не через електричні ефекти, а через те, що вона визначає необхідність механічної підтримки котушки. Для невеликих систем, призначених для малого та середнього бізнесу, оптимістичним є значення 0,3% стійкості до розтягнення. Тороїдальна геометрія дозволяє зменшити зовнішні магнітні сили і, отже, зменшити розмір деталей механічної підтримки. Крім того, завдяки слабкому зовнішньому магнітному полю надпровідникові магнітні акумулятори тороїдальної конструкції можуть бути розташовані близько від корисного навантаження або споживача.

Для малих надпровідникових магнітних акумуляторів зазвичай використовується конструкція на основі соленоїда, тому що їх легко збирати і вони не потребують попередньої опресовки. У надпровідникових магнітних акумуляторах тороїдальної конструкції котушки завжди знаходяться під тиском зовнішніх обручів та двох дисків (зверху і знизу), які запобігають руйнуванню. Важливість механічних сил зростає по мірі збільшення розмірів надпровідникових магнітних акумуляторів, тому тороїдальна конструкція стає більш актуальною.

У старих концепціях великих надпровідникових магнітних акумуляторів зазвичай використовується соленоїд з маленьким співвідношенням сторін діаметром приблизно 100 м, заритим у землю. У концепціях надпровідникових магнітних акумуляторів екстремально малого розміру ємність близько 1 МДж.

У стаціонарних умовах і в надпровідному стані, опір котушки є незначним. Однак, холодильник, який потрібен для підтримання температури надпровідника вимагає електроенергії, і енергія для роботи холодильника повинна враховуватися при оцінці ефективності надпровідникового магнітного акумулятора як пристрою для зберігання енергії.

Хоча високотемпературні надпровідники мають більш високу критичну температуру, проникнення магнітного поля відбувається в помірних магнітних полях навколо більш низькій температурі, ніж ця критична температура. Тепло, яке повинне бути видалене за допомогою системи охолодження, включає теплопередачу через деталі механічної підтримки, теплове випромінювання від тепліших частин до більш холодних, втрати змінного струму в провіднику (під час заряджання і розряджання), нагрівання від введів електричної енергії, які з'єднують котушку з системою перетворення енергії. Теплопередача радіацією та за рахунок теплопровідності може бути мінімізована шляхом правильного проектування теплих поверхонь. Теплопередача від введів може бути мінімізована правильною конструкцією введів. Втрати змінного струму в провіднику залежать від циклу заряджання/розряджання, конструкції провідника та потужності.

Витрати на охолодження для високотемпературних та низькотемпературних тороїдальних котушок для основних температур 77 К, 20 К, та 4.2 К збільшуються на порядок. Витрати визначаються як електрична потужність, необхідна для роботи холодильника. При збільшенні кількості енергії у 100 разів вартість зростає лише у 20 разів. Також економія на охолодженні для високотемпературних надпровідників більше (на 60% - 70%), ніж для низькотемпературних надпровідників.

Вибір між високотемпературними та низькотемпературними надпровідниками залежить від економічної доцільності, оскільки існують інші основні компоненти, що визначають вартість надпровідникового магнітного акумулятора, такі як провідник, що складається з надпровідника та мідного стабілізатора, та деталі підтримки. Вони складають більшу частину вартості. Вони повинні оцінюватися з загальної ефективності і вартості пристрою. Інші компоненти, такі як вакуумна посудина, теплоізоляція складають малу частину витрат у порівнянні з вартістю котушки. Об'єднані витрати на провідники, конструкцію і холодильник для тороїдальних котушок переважають вартість надпровідника. Те ж відноситься і до котушок. Котушки з високотемпературних надпровідників коштують дорожче у 2-4 рази, ніж котушки з низькотемпературних надпровідників.

Вартість провідника переважає серед інших складових у всіх трьох випадках, які зазвичай розглядаються (2, 20 та 200 МВт·год), особливо важлива для котушок малих розмірів. Принципова причина полягає у густині струму високотемпературних та низькотемпературних надпровідників. Критичний струм у провіднику з високотемпературного надпровідника нижчий ніж у провіднику з низькотемпературного надпровідника при робочих магнітних полях (приблизно 5-10 Тл). Через те, що високотемпературні надпровідники мають менший критичний струм, ніж низькотемпературні, потрібно більше провідників для тієї ж

індуктивності. Тим більше вартість високотемпературних надпровідників вища, ніж низькотемпературних. При збільшенні ємності надпровідникового магнітного акумулятора від 2 до 20 і далі до 200 МВт·год вартість низькотемпературного надпровідника зростає щоразу у 10 разів на кожному кроці. Вартість високотемпературного надпровідника зростає повільніше, але на сьогоднішній день все ще зависока.

Витрати на механічну конструкцію зростають рівномірно (у 10 разів при збільшенні ємності надпровідникового магнітного акумулятора від 2 до 20 і далі до 200 МВт·год) і для високотемпературних та низькотемпературних надпровідників. Але витрати для високотемпературних надпровідників вищі через їх меншу стійкість до розтягнення (кераміка не може витримати значних напружень), ніж для низькотемпературних, таких як Nb₃Ti або Nb₃Sn. Таким чином, для особливо великих виробів вартість високотемпературного надпровідника не може бути компенсована простим зменшенням розміру котушки у сильному магнітному полі.

Варто відзначити, що вартість холодильника у всіх випадках настільки мала, що відсоток економії, пов'язаний зі зниженням вимог до холодильника при вищій температурі, незначний. Це означає, що якщо високотемпературний надпровідник працює краще при низькій температурі, скажімо, 20К, то він, звичайно, працюватиме при ній. Для дуже малих установок, зниження вартості холодильника буде мати більш істотний позитивний вплив.

Очевидно, що ємність надпровідникових котушок зростає з об'ємом. Крім того, максимальний діаметр тороїдального акумулятора завжди менше на високотемпературних надпровідниках через роботу при сильніших магнітних полях. Для соленоїдів висота або довжина і менше для котушок з високотемпературних надпровідників, але все ще значно вище, ніж для тороїдальної конструкції (через слабке зовнішнє магнітне поле).

Зростання пікового магнітного поля веде до зменшення і об'єму (завдяки вищій щільності енергії), і вартості (завдяки зменшенню довжини провідника котушки). Існує оптимальне значення пікового магнітного поля близько 7 Тл. Якщо поле вище оптимального подальше зменшення об'єму можливе з мінімальним збільшенням вартості. Межа, до якої поле може бути збільшене, як правило, не економічна, а фізична, і вона пов'язана з можливістю встановлення внутрішніх ніжок тороїда ближче одна до одної і при цьому наявності місця для компенсаційного циліндра.

Матеріал надпровідника є основною проблемою надпровідникових магнітних акумуляторів. Зусилля з розробки надпровідників спрямовані на збільшення критичного струму та стійкості до розтягнення при зниженні вартості виробництва.

Вміст енергії в сучасних надпровідникових магнітних акумуляторах, як правило, дуже малий. Методи збільшення енергії, запасеної в

надпровідникових магнітних акумуляторів часто включають масштабування. Як і в інші застосування надпровідників, надпровідникові магнітні акумулятори потребують криогенних температур. Надійна механічна конструкція зазвичай потрібна, щоб утримувати дуже велику силу Лоренца, що утворюється у магнітній котушці. Переважаючою є вартість надпровідника, а потім в системи охолодження та іншої частини механічної конструкції.

Механічна підтримка - потрібна через силу Лоренца.

Розмір - для досягнення комерційно прийнятної ємності близько 1 ГВт·год (3,6 ТДж) установка має бути кільцем близько 160 км. Вона зазвичай зображується кільцем, хоча на практиці має вигляд прямокутника зі заокругленими кутами. У іншому випадку установка потребуватиме багато місця для розміщення.

Виробництво — надпровідникові матеріали, як правило, представляють собою тендітну кераміку, до якої не можуть бути застосовані звичні методи виробництва кабельної продукції. Технології спрямовані на нанесення тонких надпровідникових плівок на стабільний носій, але зараз доступні маленькі відрізки надпровідникових провідників.

Інфраструктура — поки не винайдені надпровідники, які зберігають надпровідність при кімнатній температурі, кільце з надпровідника повинне бути замкнене у корпус з рідким азотом.

Критичне магнітне поле - у полі вище певної межі властивість надпровідності зникає.

Критичний струм - у загальному випадку у системах енергопостачання намагаються максимізувати максимальний робочий струм. Це робить будь-які втрати через неефективність у системі відносно незначними. На жаль, великі струми можуть генерувати магнітні поля більш ніж критичне поле надпровідників. При розробці надпровідників прикладаються зусилля щоб витримати достатній струм, щоб зробити комерційний надпровідниковий магнітний акумулятор економічно життєздатним.

На початку існування технології її використанню заважала висока вартість холодильників. Однак сучасні досягнення зробили її прийнятною для використання у комерційних застосуваннях.

4.5. Біологічний спосіб накопичення енергії

4.5.1. Глікоген

Глікоген (також відомий як «тваринний крохмаль») — полісахарид, гомополімер α -глюкози, основна форма її зберігання в клітинах тварин,

більшості грибів, багатьох бактерій та архей. В людському організмі головними місцями накопичення глікогену є печінка та скелетні м'язи [36].

Здатність печінки підвищувати концентрацію глюкози в крові та наявність у ній крохмалеподібної речовини, яку було названо глікогеном, була відкрита в 1875 році Клодом Бернаром [37, 38].

Глікоген є формою запасання глюкози у тварин [39], грибів деяких бактерій (зокрема ціанобактерій) та архей [40]. У мікроорганізмів глікоген більш менш рівномірно розкиданий по цитоплазмі клітини у вигляді гранул діаметром 20—100 нм, їх зазвичай можна побачити тільки через електронний мікроскоп. Якщо клітина містить багато глікогену вона стає червоно-коричневою при зафарбовуванні розчином йоду [40]. У хребетних тварин найбільші кількості глікогену запасуються печінкою, де він може становити 7—10 % загальної маси (100 —120 г у дорослої людини), та скелетними м'язами (1-2 % від загальної маси) [39]. Невеликі кількості глікогену знаходяться в нирках, і ще менші — в певних гліальних клітинах мозку і білих кров'яних тільцях.

Запасання глюкози не у вільній формі, а саме у вигляді полісахаридів диктується двома причинами. По-перше, якби, наприклад, у гепатоциті вся маса глюкози, що входить до складу глікогену, перебувала у вільному стані, її концентрація сягнула би 0,4 моль/л. А це у свою чергу призвело би до значного підвищення осмотичного тиску цитозолю, надмірного надходження води у клітину і її розривання. По-друге, така висока концентрація глюкози зробила би фактично неможливим її активний транспорт з оточення клітини, у випадку гепатоцита із крові, де рівень глюкози становить всього 5 ммоль/л. Зберігання ж глюкози у формі глікогену дозволяє скоротити її концентрацію у клітині до 0,01 мкмоль/л [39].

Запаси глікогену у людей значно менші ніж запаси жирів. Останні мають ряд переваг: по-перше, вони дають можливість отримати більше ніж вдвічі більше енергії ніж така ж маса вуглеводів, по-друге, це гідрофобні молекули і, на відміну від вуглеводів, не потребують гідратації, а це дозволяє скоротити масу енергетичних запасів. Проте глікоген є швидшим джерелом енергії, крім того в організмі тварин відсутні метаболічні шляхи перетворення жирних кислот у глюкозу, а отже вони не можуть використовуватись мозком і в анаеробному метаболізмі м'язів [39].

У гепатоцитах глікоген зберігається у вигляді великих цитоплазматичних гранул. Елементарна так звана β -частинка, що є однією молекулою глікогену, має діаметр близько 21 нм і включає до 55 000 залишків глюкози та має 2000 нередукуючих кінців. 20—40 таких часточок разом утворюють α -роzetки, які можна бачити у під мікроскопом у тканинах тварин, яких добре годують. Проте вони зникають після 24-годинного голодування. Глікогенові гранули — це складні агрегати, до складу яких

крім самого глікогену входять ферменти, що синтезують і розщеплюють його, а також регуляторні молекули [39].

Глікоген у м'язах слугує джерелом швидкої енергії як за аеробного, так і за анаеробного метаболізму. Його запаси можуть бути вичерпані за одну годину інтенсивного фізичного навантаження. Регулярне тренування дозволяє збільшити запаси глікогену в м'язах, внаслідок чого вони можуть довше працювати без втоми [41]. У печінці глікоген є резервом глюкози для інших органів, на той випадок, якщо її надходження із їжею обмежене. Особливо важливий такий запас для нейронів, які не можуть використовувати жирні кислоти як енергетичний субстрат. Печінковий запас глікогену під час голодування вичерпується за 12—24 годин [39].

Глікоген також міститься у секреті залоз матки, який вони виділяють в її порожнину у постовуляційний період менструального циклу після запліднення. Тут полісахарид використовуються як джерело живлення для ембріона до його імплантації [41].

Глікоген також надходить в організм із їжею і розщеплюється у тонкому кишківнику гідролітичними ферментами [39].

4.5.2. Крохмаль

Крохмаль, $(C_6H_{10}O_5)_n$ — рослинний високомолекулярний полісахарид амілози і амілопектину, мономером яких є глюкоза [42]. Резервний гомополісахарид рослин. Нагромаджується в результаті фотосинтезу у плодах, зерні, коренях і бульбах деяких рослин як запасна форма вуглеводів [43].

Види крохмалю: картопляний, кукурудзяний, амілопектиновий, пшеничний, рисовий, гороховий, тапіоковий, модифікований і ін. [44].

Найбагатше крохмалем зерно злакових рослин: рису (до 86 %), пшениці (до 75 %), кукурудзи (до 72 %), а також бульби картоплі (до 24 %) та зерно ячменю.

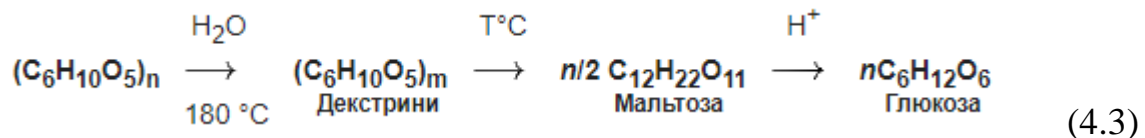
Для організму людини крохмаль поряд з сахарозою служить основним постачальником вуглеводів — одного з найважливіших компонентів їжі. Під дією ферментів крохмаль гідролізується до глюкози, яка окислюється в клітинах до вуглекислого газу і води з виділенням енергії, необхідної для функціонування живого організму [45].

Відомо, що крохмаль активізує обмін жовчних кислот та сприяє виведенню холестерину з організму.

Фізичні властивості. Білий, хрусткий, аморфний і дуже гігроскопічний порошок без смаку і запаху. Зазвичай містить 10-20 % зв'язаної води, яку можна видалити висушуванням при 100—110 °С. Під мікроскопом — зернистий (гранулярний) порошок (рис. 4.17.). Нерозчинний у холодній воді, ефірі, спирті; у гарячій воді набухає, і утворює колоїдний

розчин, при охолодженні якого утворюється стійкий гель — крохмальний клейстер; [46] із розчином йоду дає синє забарвлення (амілоза дає синє забарвлення, а амілопектин — від червоного до фіолетового) (рис. 4.18.). Реакція з йодом дає змогу виявити навіть мільйонну частину крохмалю в розчині [47]. Молекули крохмалю неоднакові за розмірами.

При повному гідролізі у промисловості одержують глюкозу, а проміжними продуктами можуть бути олігосахариди, мальтоза:



Під дією амілаз у травному каналі людини і тварин крохмаль піддається гідролізу та розщеплюється з утворенням глюкози та мальтози, що розщеплюється мальтазою до глюкози, яка засвоюється організмом.

Крохмаль одержують з картоплі і рису, рідше — з інших зернових. Саго — крохмалистий продукт з деревини сагової пальми, а також деяких саговників [48].

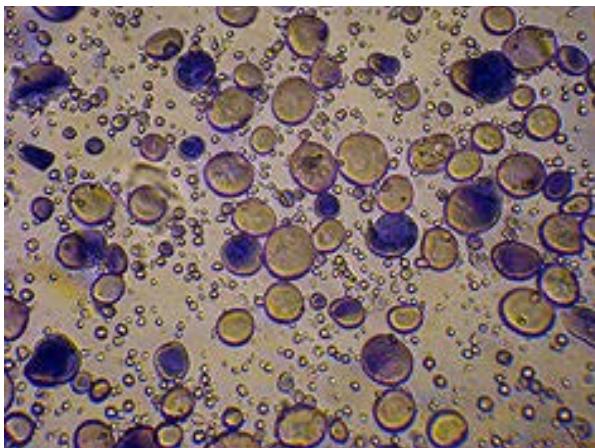


Рис. 4.17. Пофарбовані йодом гранули пшеничного крохмалю. Сфотографовано через світловий мікроскоп

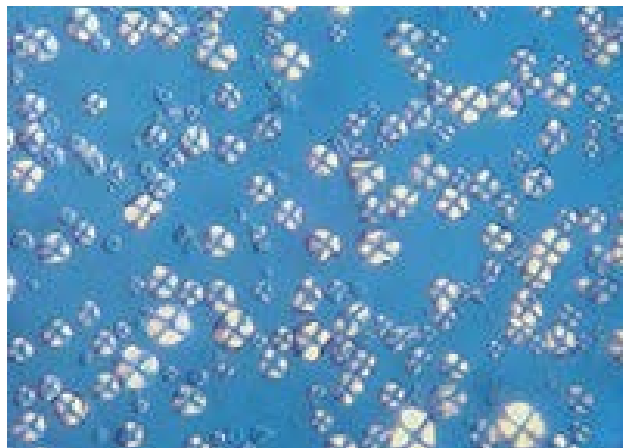


Рис. 4.18. Крохмаль в поляризованому світлі при 800х збільшенні. Простежується подвійне заломлення променів у характерній формі «мальтійського хреста»

<https://uk.wikipedia.org/wiki/Крохмаль>

У тропіках вирощують багато крохмаленосних рослин: батат, ямс, таро, маніок та інші [48].

Щоб добути крохмаль, потрібно зруйнувати клітинні стінки й добути сік. Для цього сировину подрібнюють на тертках, отримуючи кашку. Щоб

виділити вільний крохмаль, кашку багаторазово промивають на ситах в ситових апаратах. Ситові апарати в п'ять ступенів проводять розділення продукту на мезгу та крохмальну суспензію (крохмальне молоко) різної концентрації. Крохмальне молоко рафінують (очищують). Після цього виділений крохмаль багаторазово промивають чистою водою на спеціальних центрифугах-пурифікаторах або гідроциклонах.

У виробництві картопляного крохмалю застосовують процеси очищення картоплі від легких і важких домішок, мийки, подрібнення, виділення клітинного соку, ситуння і промивання, центрифугування і сушки.

З картопляного крохмалю можна отримати окремо амілозу (суперлозу) і амілопектин (ромалін). Для цього на крохмаль діють розчинами солей $MgSO_4$, $(NH_4)_2SO_4$, Na_2SO_4 , які містять н-бутиловий спирт, при $120^\circ C$. Після цього амілозу осаджують при $70^\circ C$, а амілопектин — при $20^\circ C$ [47].

У виробництві кукурудзяного крохмалю існує два способи: сірчисто-кислотний і лужний. По першому способу кукурудзяне зерно замочують в 0,1-0,2 % водному розчині сірчистої кислоти при $48-50^\circ C$ протягом двох діб, зерно промивають, грубо подрібнюють, виділяють зародок, тонко подрібнюють, промивають крохмаль на ситових апаратах, відокремлюють від дрібної і крупної мезги, глютену (на сепараторах), промивають на вакуум-фільтрах, центрифугують, висушують або переробляють на крохмалепродукти. За другим способом кукурудзу замочують у водному розчині лугу, промивають, подрібнюють, крохмаль виділяють і проминають на ситових апаратах, центрифугують, висушують або направляють без висушування на переробку.

Крохмаль сільськогосподарських культур є провідним компонентом раціону людини, важливою сировиною для харчової, фармацевтичної та технічних галузей промисловості: текстильній, нафтовій, паперовій і ін.

Крохмаль широко застосовується в харчовій галузі як загущувач (E1404), при виробництві патоки різного вуглеводного складу, для одержання декстринів, глюкози (кристалічної глюкози, глюкозного концентрату, глюкозно-фруктозного сиропу, етанолу, та інших продуктів бродіння. Крохмаль зі ступенем гідролізу (по глюкозі) менше 5 % — мальтодекстрин — використовується як стабілізатор у виробництві майонезу. У виробництві цукрових кондитерських виробів крохмаль використовують як рецептурний компонент рахат-лукуму, а також як формувальний компонент для цукерок і драже.

Комплексна переробка крохмалю: крохмаль гідролізується до глюкози, яка ізомеризується у фруктозу та гідруванням перетворюється у сорбіт, або йде на отримання інших продуктів — етанолу, молочної кислоти, лимонної кислоти; гідролізат змішується з волокнами для кормів худобі [49].

Сировиною для виробництва кристалічної глюкози є крохмаль, отриманий з кукурудзи, чи пшениці, хоча може бути використаний і картопляний крохмаль. Однак картопляний крохмаль є незамінною сировиною в інших галузях промисловості і для виробництва глюкози не використовується. Основна сировина для виробництва кристалічної глюкози — кукурудзяний крохмаль.

Крохмаль використовують як клей, як мікробіологічне середовище при одержанні різних ензимів, антибіотиків, вітамінів, а також як основа штучних біодеградабельних біополімерів.

У лікарській практиці крохмаль дуже часто використовують як наповнювач і субстрат для виготовлення таблеток (як наповнювач у твердих лікарських формах) і облаток та у пастах, у присипках та мазях застосовують при хворобах шкіри, у вигляді відвару (клейстеру) — при захворюваннях травного каналу як обволікуючий засіб. Крохмаль та декстрини (продукти неповного гідролізу лінійних полісахаридів) позитивно впливають на холестериновий обмін, поліпшують травлення. Він входить як важливий компонент практично до всіх дієт. Також розчини крохмалю є часткою інфузійних розчинів, які використовують для лікування невідкладних станів.

Основний об'єм крохмалепродуктів готують з кукурудзи, на частку якої припадає 45 млн т, решту сировинної бази складає тапіока (5 млн т), пшениця (4 млн т) і картопля (2,5 млн т) [50].

Амілопектин придатний для виробництва плівок і упаковочного матеріалу, які можна після використання повністю компостувати [51].

4.6. Електрохімічний

4.6.1. Акумуляторна батарея

Електричний акумулятор — хімічне джерело електричного струму багаторазової дії, основна специфіка якого полягає в зворотності внутрішніх хімічних процесів, що забезпечує його багаторазове циклічне використання (через заряд-розряд) для накопичення електричної енергії та автономного електроживлення різноманітних електротехнічних пристроїв та систем. Електричний акумулятор належить до категорії вторинних хімічних джерел струму (рис. 4.19) [52].

Принцип дії акумулятора заснований на зворотності хімічної реакції. Найпоширеніші електричні (кислотні та лужні) акумулятори накопичують хімічну енергію (внаслідок зворотних хімічних реакцій між речовиною електродів та електролітом), і віддають електричну енергію, будучи гальванічними елементами. Працездатність акумулятора може бути відновлена шляхом заряду, тобто пропусканням електричного струму в

напрямку, зворотному напрямку струму при розряді: на від'ємному електроді (катоді) реакція окиснення замінюється реакцією відновлення, а на позитивному електроді (аноді) реакція відновлення змінюється на реакцію окиснення [53].



Рис. 4.19. Нікель-кадмієві (NiCd) акумулятори



Рис. 4.20. Акумуляторна батарея

https://uk.wikipedia.org/wiki/Електричний_акумулятор

Розрізняють кислотні (свинцеві) і лужні акумулятори.

Кислотні акумулятори мають високу номінальну напругу (2 В), малий внутрішній електричний опір та відносно високий коефіцієнт корисної дії (до 0.85). Проте невеликий термін служби, недостатня міцність та незадовільна робота при низьких і високих температурах обмежують їх застосування.

Лужні акумулятори мають ряд переваг перед кислотними: вони міцніші, не бояться перевантажень, добре працюють в широкому інтервалі температур, невимогливі до виробничих умов. Основні їх недоліки: низький ККД (до 60 %) і напруга (1,2; 1,25; 1,33 В).

За складом електродів (активної маси) лужні акумулятори поділяють на: кадмій-нікелеві; залізо-нікелеві; цинк-нікелеві; срібло-цинкові.

Кадмій-нікелеві акумулятори можуть бути дуже малих розмірів — 1—3 см² (т. з. гудзики), їх застосовують у слухових апаратах для глухих та в напівпровідникових радіоприладах. Лужні акумулятори виробляють сухими.

Акумулятор, як і будь-яке хімічне джерело струму, складається з позитивного і негативного електродів та електроліту, в який вони занурені. Різниця потенціалів, що виникають на межі стикання електродів з електролітом, утворює ЕРС акумулятора (або напругу акумулятора при розімкнутому колі). Під час розряду акумулятора енергія хімічних реакцій перетворюється на електричну енергію; при зарядці, навпаки, електрична енергія перетворюється на хімічну (рис. 4.20.).

Стартерна акумуляторна батарея виконана у формі системи із декількох електрохімічних комірок. Послідовно з'єднані електрохімічні комірки називають «батареєю» [54].

Акумуляторна батарея може бути виконана із декількох електрохімічних комірок, об'єднаних в один електричний ланцюг. Ці комірки сполучені електрично і конструктивно для отримання необхідних значень струму і напруги. Використовується, зокрема, як джерело енергії для живлення тягових електродвигунів акумуляторних електровозів. Основні параметри, які характеризують такий акумулятор, — електрорушійна сила, напруга, внутрішній опір, струм та ємність.

В акумуляторах глибокого заряду-розряду (поїздів, човнів, автотранспорту), автомобільних акумуляторах (забезпечують постійну подачу струму протягом тривалого періоду часу) енергію виробляють елементи — група свинцевих пластин покритих окисом свинцю і кислотою [55]. Свинцеві решітки покриті окисом свинцю і кислотою називають пластинами. Поперемінно чергуючи позитивні і негативні пластини складені стопками і вставлені у футляри називають елементами [55].

Лужні залізонікелеві акумулятори (що застосовуються частіше) у порівнянні з кислотними свинцевими мають ряд переваг: можуть зберігатися в розрядженому або напіврозрядженому стані, не виходять з ладу в результаті коротких замикань, мають більший строк служби. Переваги кислотних А.б.: вищий ККД, вища розрядна напруга, менший внутрішній опір. На шахтах в акумуляторних батареях використовують кислотні (свинцеві) і лужні (залізонікелеві) акумулятори.

Нині одним з найбільших в Європі виробників стартерних акумуляторних батарей є Національна акумуляторна корпорація "ISTA".

Акумулятори широко застосовують в техніці: на автомобільному, морському, повітряному і залізничному транспорті, в радіотехніці, на телефонних і електричних станціях, електромобілях, для освітлення і сигналізації на штучних супутниках Землі, космічних апаратах тощо.

У 2016 році міжнародна енергетична компанія AES ввела в експлуатацію сховище електроенергії з батареями літій-іонних акумуляторів ємністю 20 МВт•год, під'єдане до єдиної енергосистеми Нідерландів, призначене для зберігання надлишку електроенергії від віднолюваних джерел енергії [56].

4.6.2. Проточний акумулятор

Проточний (редокс) акумулятор – це електричний пристрій зберігання енергії, що є чимось середнім між звичайною батареєю та паливним елементом [57].

Проточні акумулятори - акумулятори нового типу, що є накопичувачами електричної енергії, що відрізняються за конструкцією від традиційних акумуляторів. У проточному акумуляторі рідкий електроліт прокачується ядром за допомогою насосів (рис. 4.21.) [58].

Принципово електроліт такої батареї є розчином металевих солей, здатний переносити позитивний і негативний заряди. У процесі прокачування електроліту через розділений мембраною резервуар, позитивний та негативний електрод забезпечують іонний обмін з електролітом та генерацію електрики в ході окислювально-відновних реакцій.

Як електроліт для проточних акумуляторів добре підходить розчин сірчаної кислоти та ванадієвої солі, тоді як електроди виготовляються з графіту (ванадієвий проточний акумулятор).

Суть у цьому, що ванадій, 23-й елемент періодичної таблиці Менделєєва, належить до небагатьом активним речовин, із якими ерозію можна контролювати. Сьогодні дослідники шукають менш дорогі речовини, які б дозволили зробити технологію проточних акумуляторів широко доступною і недорогою.

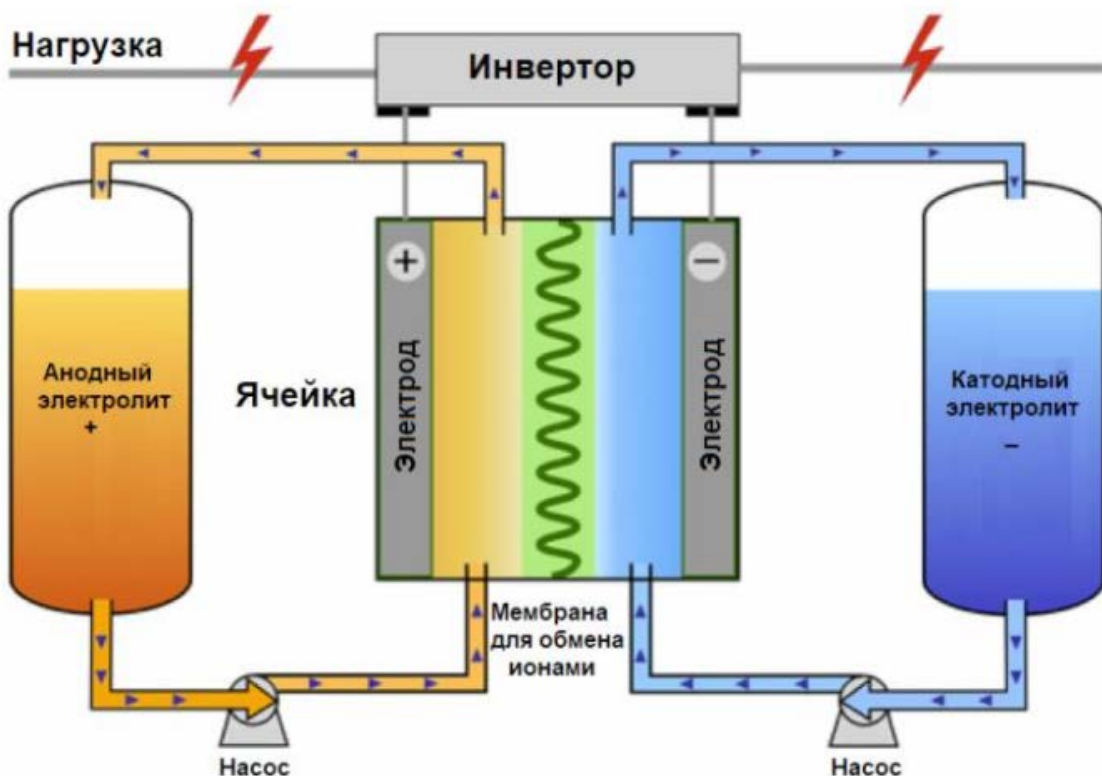


Рис. 4.21. Схема проточного акумулятора

<http://elektrik.info/main/news/1664-protocnyye-akkumulyatory-ustroystvo-princip-raboty.html>

Проточні акумулятори приводяться в дію мінімум - двома потужними насосами, що дозволяють отримувати ємності 20 кВт·год і більше. Кількість життєвих циклів заряду/розряду може в принципі сягати тут 10000, що еквівалентно 20 рокам інтенсивного використання таких батарей.

Одна комірка здатна виробляти різницю потенціалів від 1,15 до 1,55 вольт. Як і в будь-якій іншій системі батарей, для отримання потрібного рівня напруги на клеммах, достатньо з'єднати кілька таких комірок послідовно.

Питома енергоємність проточного акумулятора на основі солі ванадію становить близько 40 Вт·год/кг, тобто акумулятор на 20 кВт·год важитиме півтонни, приблизно як свинцево-кислотний акумулятор аналогічної ємності. Але жити проточний акумулятор буде довше, що робить його придатним для зберігання електричної енергії у великій кількості. Однак швидкість споживання енергії має залишатися помірною.

Електроліт проточного акумулятора фізично розподілений з двома резервуарами (анодний і катодний резервуари — для анодної та катодної частин електроліту), розмір яких для акумуляторів різної ємності може змінюватись. За необхідності заміни комірок на нові допускається повторне використання електроліту, що призводить до суттєвої економії матеріалів.

Найвразливіша частина проточного акумулятора — мембрана в центрі комірки, що відокремлює один від одного відповідні півкомірки. Проблема в тому, що мембрана з часом кородує (зазнає руйнівної корозії), тому до електроліту додають спеціальні домішки, що уповільнюють корозію мембрани.

Отже, коли електроліт через півкомірку прокачується насосами в одному напрямку - на електродах акумулятора виробляється електрика, а коли акумулятор необхідно зарядити - напрям прокачування електроліту насосами змінюється на протилежний, тобто насоси при заряді і розряді качають електроліт в різні боки. Головне тут забезпечити необхідний обсяг ванадієвої солі.

Найбільші запаси ванадію на планеті належать Китаю, Росії та ПАР. Проте основна сфера його промислового застосування сьогодні (90%) - виготовлення сплавів на основі сталі.

Проте тенденція до використання ванадію в чистій енергетиці вже намічається, адже це дозволить створювати акумулятори великої ємності, що за характеристиками перевершують літєві, при цьому вдвічі дешевші. Стандартизовані проточні акумулятори на потужність 250 кВт можуть збиратися в батареї необхідної ємності до великих.

Найперші проточні акумулятори будувалися за запатентованою у 1954 році технологією, де як електроліт виступав хлорид титану. Технологія ж на основі ванадієвого електроліту була розроблена пізніше - в 1986, в Австралійському Університеті Нового Південного Уельсу, і отримала назву "редокс" - Reduction-Oxidation [59].

4.6.3. UltraBattery

UltraBattery — це гібридний накопичувач енергії, винайдений Австралійською організацією наукових і промислових досліджень Співдружності (CSIRO). UltraBattery поєднує ультраконденсаторну технологію з технологією свинцево-кислотного акумулятора в одній комірці зі загальним електролітом (рис. 4.22.) [60].

Дослідження, проведені незалежними лабораторіями, такими як Національна лабораторія Сандія США [61], Консорціум передових свинцево-кислотних батарей (ALABC) [62], Організація наукових і випробування Penn Manufacturing, Furukawa Battery і Escoult вказують на те, що в порівнянні зі звичайними промислових досліджень Співдружності (CSIRO) [63] та комерційні свинцево-кислотними акумуляторами з клапанним регулюванням (VRLA), технологія UltraBattery має вищу енергоефективність, більший термін служби та краще сприйняття заряду в умовах часткового стану заряду.

UltraBattery® Technology

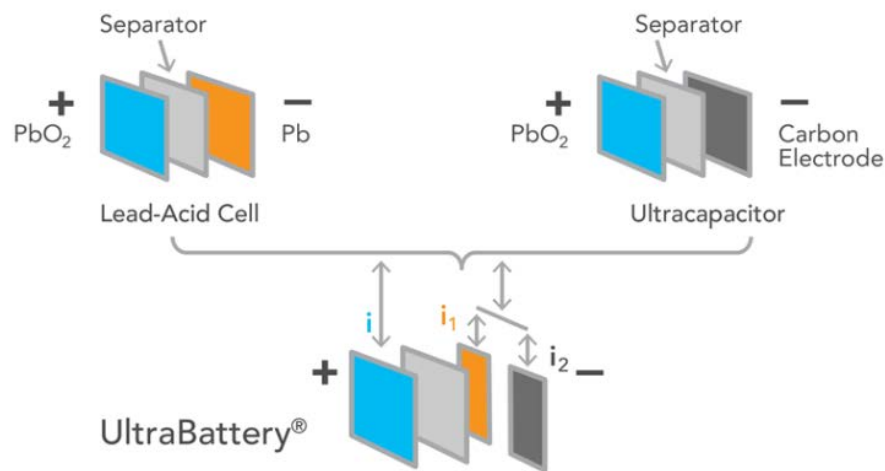


Рис. 4.22. UltraBattery технологія

<https://en.wikipedia.org/wiki/UltraBattery/>

Поєднання двох технологій в одному елементі батареї означає, що UltraBattery працює дуже ефективно в порівнянні зі звичайними свинцево-кислотними технологіями [64] значною мірою завдяки тому, що він може працювати протягом тривалого часу в частковому стані заряду, тоді як звичайний свинцево-кислотний батареї, як правило, призначені для використання високої якості заряду (тобто коли акумулятор майже повністю заряджений) [65]. Робота в частковому діапазоні заряду продовжує термін служби батареї, головним чином, за рахунок зменшення

сульфатації та за рахунок скорочення часу роботи при дуже високому та дуже низькому заряді, де різні побічні реакції мають тенденцію викликати погіршення. Звичайна батарея VRLA має тенденцію швидко псуватися при роботі в цьому частковому діапазоні заряду [65]

UltraBattery — це гібридний пристрій, який поєднує технологію ультраконденсаторів із технологією свинцево-кислотних акумуляторів в одній комірці зі загальним електролітом (рис. 4.23).

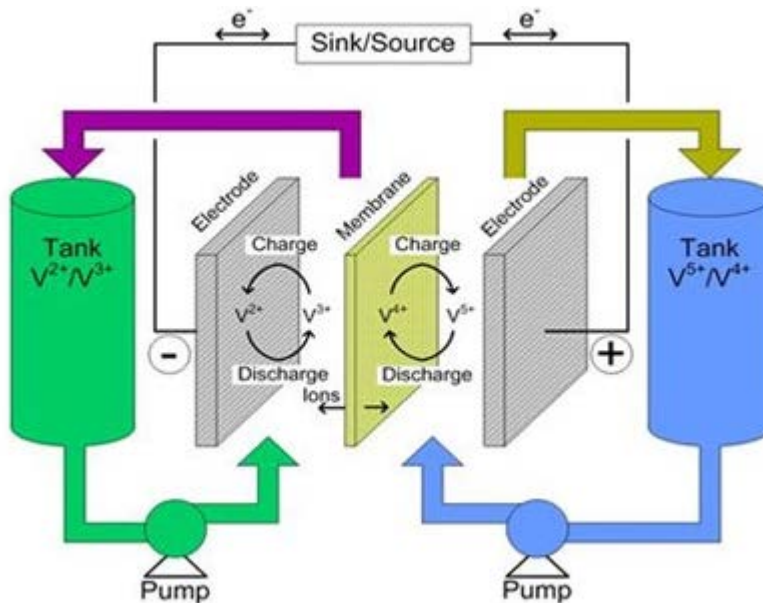


Рис. 4.23. Проточний акумулятор

<https://best-energy.com.ua/support/battery/be-210-b>

Фізично UltraBattery має один позитивний електрод і подвійний негативний електрод - одна частина вуглецю, одна частина свинцю в загальному електроліті. Разом вони складають негативний електрод блоку UltraBattery, але конкретно вуглець є електродом конденсатора, а свинець є електродом свинцево-кислотного елемента. Один позитивний електрод (оксид свинцю) є типовим для всіх свинцево-кислотних акумуляторів і є загальним для свинцево-кислотного елемента та ультраконденсатора.

Ця технологія (зокрема додавання вугільного електрода) надає UltraBattery відмінні характеристики продуктивності від звичайних батарей VRLA. Зокрема, технологія UltraBattery значно менше страждає від розвитку постійної (або жорсткої) сульфатації на негативному електроді батареї – проблема, яка часто зустрічається у звичайних свинцево-кислотних акумуляторах.

Під час нормальної роботи свинцево-кислотного акумулятора кристали сульфату свинцю виростають на негативному електроді під час розрядки і знову розчиняються під час заряджання. Утворення цих

кристалів називається сульфатацією. З часом сульфатація може стати постійною, оскільки деякі кристали ростуть і протистоять розчиненню. Це особливо стосується випадків, коли акумулятор змушений працювати з дуже високими темпами розряду, що має тенденцію сприяти росту кристалів сульфату свинцю на поверхні електрода. При помірних швидкостях розряду кристали сульфату свинцю ростуть по всьому поперечному перерізу електродної пластини (яка має консистенцію, схожу на губку), оскільки електроліт (розведена сірчана кислота) протягується через тіло електрода, щоб реакція могла протікати. відбуваються по всій пластині [66].

Але при дуже швидких темпах розряду кислота, яка вже всередині пластини, швидко витрачається, і свіжа кислота не може дифундувати через електрод вчасно, щоб продовжити реакцію. Таким чином, реакція сприятлива до зовнішньої стінки електрода, де кристали можуть утворюватися в щільному маті, а не в дисперсних згустках по всій пластині. Цей килимок із кристалів ще більше перешкоджає переносу електроліту. Потім кристали збільшуються, і оскільки більші кристали мають великий об'єм порівняно з площею поверхні, стає важко видалити їх хімічним шляхом під час заряджання, особливо оскільки концентрація сірчаної кислоти в електроліті, ймовірно, буде високою (оскільки лише обмежена на поверхні пластини утворився сульфат свинцю), і сульфат свинцю менш розчинний у концентрованій сірчаній кислоті (концентрація понад 10% за масою), ніж у розведеній сірчаній кислоті.

Цей стан іноді називають «жорсткою» сульфатацією електрода батареї. Жорстка сульфатація збільшує опір батареї (оскільки кристали сульфату свинцю мають тенденцію ізолювати електрод від електроліту) та зменшує її потужність, ємність та ефективність через посилення небажаних побічних реакцій, деякі з яких виникають всередині негативної пластини внаслідок заряджання, що відбувається з низька доступність сульфату свинцю (всередині корпусу пластини). Одним з небажаних ефектів є утворення водню всередині пластини, що ще більше знижує ефективність реакції. «Жорстка» сульфатація, як правило, необоротна, оскільки побічні реакції мають тенденцію домінувати, оскільки все більше енергії надходить в батарею [67].

Щоб зменшити ймовірність жорсткої сульфатації, звичайні батареї VRLA слід розряджати з певною швидкістю, визначеною різними алгоритмами зарядки. Крім того, їх потрібно часто оновлювати, і вони найбільш підходять для роботи на верхній частині SoC (від 80% до 100% заряду). У той час як робота в такому обмеженому стані заряду пом'якшує постійну сульфатацію на негативному електроді, робота батареї виключно на повному SoC або поблизу нього дуже неефективна. Неефективність значною мірою пояснюється збільшенням частоти побічних реакцій (наприклад, електролізу), які розсіюють енергію.

Наявність ультраконденсатора, вбудованого в UltraBattery, обмежує утворення жорсткої сульфатації всередині елемента. Це підтримує здатність акумулятора працювати протягом тривалого періоду в частковому SoC, де акумулятор працює більш ефективно. Звичайні VRLA дещо обмежені для роботи в неефективній області до вершини їхньої зарядної ємності, щоб захистити їх від пошкодження сульфатацією. Продовжуються дослідження причин, чому присутність ультраконденсатора так успішно зменшує сульфатацію. Експериментальні результати показують, що присутність вуглецю в елементах VRLA має деяку пом'якшувальну дію, але захисні ефекти паралельно під'єданого ультраконденсатора в UltraBattery є набагато більш значущими. В дослідженнях виявлено, що типові режими відмови батареї VRLA (втрата води, негативна сульфатація пластин і корозія сітки) зведені до мінімуму в UltraBattery. Результати також показали, що UltraBattery, яка використовується в режимі часткового заряду з високою швидкістю, демонструє знижене утворення газів, мінімізує негативну тверду сульфатацію пластини, покращує продуктивність і мінімізує робочу температуру порівняно зі звичайними елементами VRLA.

Матеріали які використовуються. Свинець є частиною негативного електрода батареї.

Вуглець є частиною негативного електрода ультраконденсатора.

Розчин електроліту складається з сірчаної кислоти і води.

Сульфат свинцю являє собою білий кристал або порошок. При нормальній роботі свинцево-кислотного акумулятора невеликі кристали сульфату свинцю ростуть на негативному електроді під час розрядки та розчиняються назад в електроліті під час заряджання.

Електроди виготовлені із свинцевої сітки, з активним компонентом на основі свинцю – оксидом свинцю – утворює залишок позитивної пластини.

Застосування. UltraBattery можна використовувати для низки додатків для накопичення енергії, таких як:

В акумуляторах електромобілів (EVs).

Для зберігання відновлюваної енергії та безперебійного постачання електроенергії з періодичних джерел енергії.

Як частина ефективних гібридних енергосистем з електрогенераторами на викопному паливі [68] для надання допоміжних послуг електричним мережам.

UltraBattery практично на 100 відсотків підлягає вторинній переробці і може бути виготовлений на існуючих виробничих потужностях акумуляторів [69].

UltraBattery в гібридних електромобілях. При використанні в гібридних електромобілях ультраконденсатор UltraBattery діє як буфер під час високошвидкісної розрядки та зарядки, що дозволяє йому швидко забезпечувати та поглинати заряд під час прискорення та гальмування автомобіля [70].

Тестування продуктивності Ultrabattery в гібридних електромобілях, проведене Консорціумом Advanced Lead Acid Battery Consortium, дозволило проїхати понад 100 000 миль на одній акумуляторній батареї без значної деградації [62]. Лабораторні результати прототипів UltraBattery показують, що їх ємність, потужність, доступна енергія, холодний запуск і саморозряд відповідають або перевищують усі цілі продуктивності, встановлені для мінімальних і максимальних гібридних електромобілів з підсилювачем потужності.

UltraBattery в мікромережах. UltraBattery можна використовувати для згладжування та переміщення (тобто зберігання для подальшого використання) відновлюваних джерел енергії в мікромережах, щоб покращити передбачувану доступність електроенергії. UltraBattery також можна використовувати в автономних мікромережах, системах відновлюваної енергії та гібридних мікромережах. Автономні мікромережі поєднують дизельне паливо або інше викопне паливо з накопичувачем UltraBattery, щоб підвищити ефективність виробництва енергії на викопному паливі. Включення накопичувача енергії в систему зменшує розмір генераторної установки (тобто масиву генераторів), оскільки батареї можуть витримувати піки навантаження. UltraBattery також зменшує споживання палива генераторною установкою, оскільки генератори можуть працювати з найвищою ефективністю, незалежно від коливань навантаження на систему.

Системи живлення з відновлюваних джерел поєднують технологію UltraBattery з джерелом відновлюваної генерації для забезпечення локальної електроенергії. Гібридні мікромережі об'єднують джерела відновлюваної генерації з накопичувачем енергії UltraBattery і генераторними установками на викопному паливі, щоб максимізувати ефективність генерації базового навантаження. Це може значно знизити вартість енергії в порівнянні з мікромережами, що працюють лише на дизельному двигуні. Вони також істотно зменшують викиди парникових газів. Прикладом такого типу мікромереж є проект інтеграції відновлюваної енергії на острові Кінг (KIREIP) [71] який здійснює Hydro Tasmania. Цей мегават-масштабний проект відновлюваної енергії має на меті знизити як вартість доставки електроенергії на острів, так і забруднення вуглецю [68].

Багатоцільове призначення центрів обробки даних.

UltraBattery можна використовувати для резервного копіювання джерела безперебійного живлення (ДБЖ). У звичайних системах безперебійного живлення батареї залишаються, по суті, не використовуються, доки не відбудеться відключення мережі. Оскільки UltraBattery може забезпечувати регулювання частоти та пов'язані з мережею послуги, він може генерувати дохід для власника активу ДБЖ одночасно із забезпеченням резервного живлення [72].

Спільнота, комерційне використання та застосування. Для громадського застосування UltraBattery можна використовувати як резервну копію на випадок відключення мережі і для пікового згладжування. Також відоме як скорочення піків, пікове складання – це здатність заряджати батареї під час непікового періоду та використовувати енергію батарей у час пік, щоб уникнути вищих зарядів електроенергії. Іншим прикладом спільної програми є демонстраційна система розумної мережі потужністю 300 кВт, створена Furukawa Battery в районі Маеда в Кітакюсю, Японія. Ця програма вирівнювання навантаження використовує 336 елементів UltraBattery (1000 А год, 2 В). Компанія також встановила дві демонстрації інтелектуальної мережі технології зсуву піків UltraBattery в Музеї природної історії та історії людства Кітакюсю [73].

У Японії корпорація Shimizu створила мікромережу у комерційній будівлі. Система «розумної будівлі», яка включає 163 елемента UltraBattery (500 Ач, 2 В), також контролює напругу, опір і температуру елемента. Друга система, встановлена на заводі Furukawa Battery в Івакі, включає 192 елемента UltraBattery, систему кондиціонування потужністю 100 кВт і систему керування батареєю. Ця програма вирівнювання навантаження була налаштована, щоб контролювати попит на електроенергію на заводі.

Для житлових додатків локальне використання сонячних батарей на даху може бути покращено, використовуючи UltraBattery як для накопичення енергії для використання мешканцями, які володіють панелями, так і для подачі електроенергії або послуг регулювання в мережу під час піків високої вартості.

Сервіси для мережі. UltraBattery може керувати змінністю в електричних мережах п'ятьма основними способами: регулювання частоти, інтеграція відновлюваної енергії (згладжування та перемикання), резерв обертання, контроль швидкості, а також якість електроенергії та підтримка слабкої мережі.

Регулювання частоти. Електричні мережі повинні керувати постійними коливаннями попиту та пропозиції електроенергії, щоб підтримувати постійну частоту, щоб підтримувати фізичну роботу мережі. UltraBattery може поглинати і передавати електроенергію в мережу, щоб допомогти керувати балансом між попитом і пропозицією, а також підтримувати стабільну напругу. Ecoult впровадив систему зберігання енергії в масштабі мережі, яка надає 3 МВт послуги регулювання в мережі зв'язку Пенсільванія-Джерсі-Меріленд (РJM) у Сполучених Штатах. Чотири рядки елементів UltraBattery підключені до мережі на станції Ліон, штат Пенсільванія. Проект забезпечує безперервне розміщення послуг з регулювання частоти на відкритому ринку РJM.

Згладжування та зміщення. Технологію UltraBattery можна використовувати для інтеграції відновлюваних джерел енергії, таких як сонце та вітер, в електричну мережу, керуючи коливаннями виробництва

відновлюваних джерел енергії. Він робить це шляхом «згладжування» та «зміщення» енергії.

Згладжування перетворює притаманну змінну потужності фотоелектричних панелей або вітрових турбін у плавний, передбачуваний сигнал. Система контролює вихід переривчастого відновлюваного джерела, і коли сонячний (або вітровий) сигнал змінюється, UltraBattery негайно реагує або вивільняє енергію, або поглинає надлишок енергії. Управління мінливістю відновлюваного сигналу таким чином робить відновлювані джерела енергії більш надійними.

Енергія перемикається відноситься до здатності UltraBattery зберігати надлишок енергії, виробленої відновлюваними ресурсами, у періоди непікового навантаження, а потім вивільняти її, коли це необхідно, в періоди пікового попиту. Це дозволяє комунальним підприємствам покращувати загальну продуктивність системи в часи пік.

PNM, провідна електрична комунальна компанія в Нью-Мексико, США, інтегрувала систему зберігання енергії UltraBattery з фермою, що генерує сонячну енергію, щоб продемонструвати згладжування та зміщення сонячної енергії для використання як відновлюваного ресурсу, який можна відправляти. Проект PNM Prosperity включає одну з найбільших у Сполучених Штатах комбінацій фотоелектричної енергії та накопичувача сонячних батарей.

Контроль швидкості для розподіленого сховища. Багато невеликих розгортань фотоелектричних панелей на дахах мають тенденцію помножити ефект переривчастості сонячної генерації, створюючи проблему для операторів мереж. Сховище енергії UltraBattery було використано для зменшення нестабільності відновлюваних джерел за рахунок контрольованого збільшення потужності в електричній мережі, що робить енергію, вироблену з відновлюваних джерел, більш передбачуваною.

Властивості. UltraBattery має п'ять основних характеристик, які є відмінністю між цією технологією та традиційною технологією батарей VRLA: більший оборот ємності, нижча вартість кіловат-години, вища ефективність постійного струму, менша кількість необхідних зарядів для оновлення та вища швидкість заряду.

4.7. Тепловий

4.7.1. Акумулятор тепла

Акумулятор тепла або тепловий акумулятор — пристрій (або сукупність пристроїв), що забезпечує оборотні процеси накопичення, зберігання і віддавання теплової енергії відповідно до вимог споживача (рис. 4.24.) [74].



Рис. 4.24. Рідинні теплоаккумулятори

Акумулятор тепла складається з:

- ✓ теплоакumuлюючого матеріалу (ТАМ);
- ✓ теплоізолюючого резервуару для збереження ТАМ;
- ✓ системи для зарядки і розрядки;
- ✓ допоміжного обладнання.

Акумулятори тепла розрізняють:

- за природою ТАМ:
 - ✓ Термохімічні акумулятори тепла, засновані на виділенні або поглинанні теплоти при оборотних хімічних і фотохімічних реакціях;
 - ✓ Теплоємнісні акумулятори тепла, в яких використовується теплоємність ТАМ без зміни агрегатного стану;
 - ✓ Акумулятори тепла на фазовому переході, в яких використовується прихована теплота плавлення речовини;
- за періодом зарядки і розрядки:
 - ✓ Короткострокові акумулятори тепла (до 3 днів);
 - ✓ Середньострокові акумулятори тепла (до 1 місяця);
 - ✓ Довгострокові акумулятори тепла;
- за рівнем робочої температури:
 - ✓ Низькотемпературні акумулятори тепла (до 100 ° С);
 - ✓ Средньотемпературні акумулятори тепла (від 100 до 400 ° С);
 - ✓ Високотемпературні акумулятори тепла (понад 400 ° С)

(рис.4.25., 4.26.).

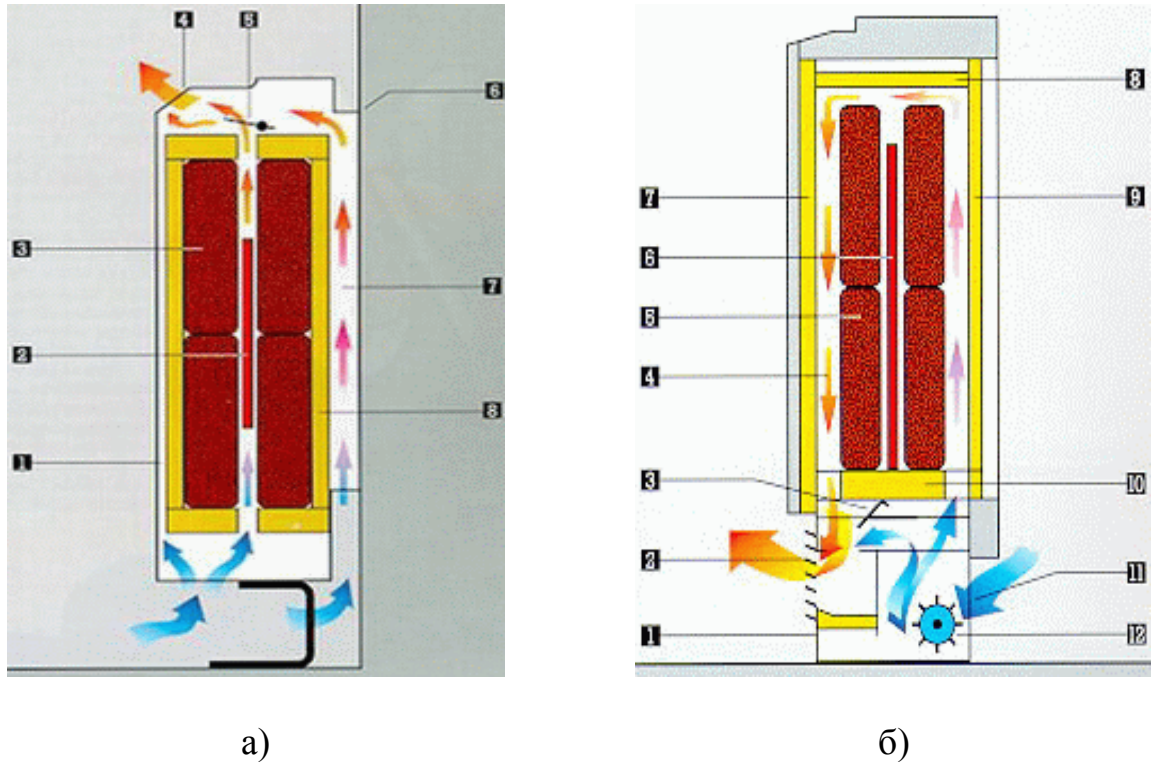


Рис. 4.25. Твердотільний електричний високотемпературний теплонакопичувач:

- а) статичний: 1 - передня теплоізоляція; 2 - нагрівальний елемент (ТЕН); 3 - акумуляційний блок; 4 - вихід гарячого повітря. Решітка; 5 - заслінка з автоматичним управлінням; 6 - повітряний канал; 7 - повітряний потік; 8 - теплоізоляція;
- б) динамічний: 1 – ізоляція нижній частині ядра накопичувача; 2 - вихід гарячого повітря. Решітка; 3- змішувач повітря з термостатом розряду; 4 - потік повітря в акумуляційному блоці; 5 - акумуляційний блок; 6 - нагрівальні елементи (ТЕН); 7 - передня теплоізоляція; 8 - верхня теплоізоляція; 9 - тильна теплоізоляція; 10 - нижня теплоізоляція; 11 - вхід холодного повітря; 12 - вентилятор.

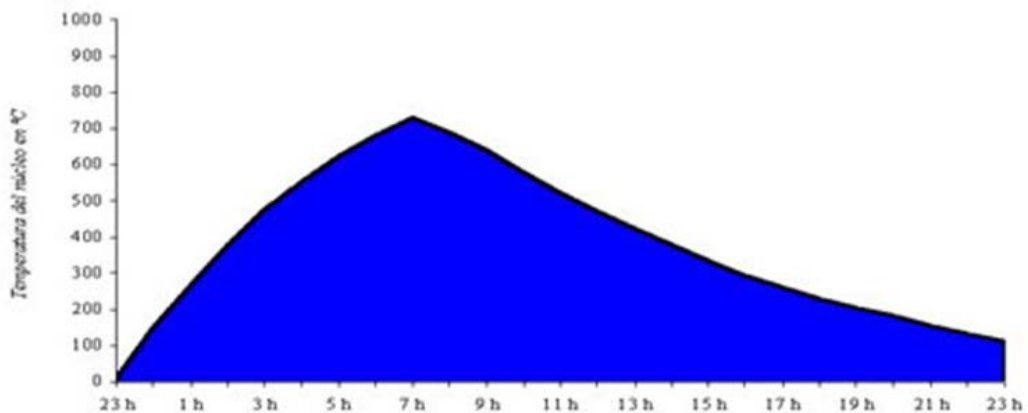


Рис. 4.26. Характеристики кривої при максимальному заряді та максимальному розряді статичного теплового накопичувача

Теплові акумулятори можуть виконувати наступні завдання:

- ✓ компенсація піків споживання теплової енергії;
- ✓ вирівнювання (оптимізація) графіків виробництва теплової енергії шляхом накопичення надлишкової енергії;
- ✓ накопичення теплової енергії, яка буде використана під час відключення (відсутності) енергопостачання.

4.7.2. Технологія накопичення криогенної енергії

Кріогеніка (від грец. кріо --холод, мороз, лід, генос -- походження) - наука про одержання та використання низьких температур. Сьогодні кріогенні технології перестали бути екзотикою, вони

використовуються у багатьох галузях економіки. вважати Кріогенною областю температури вважаються температури, нижчі за 120 К (-153 °С). Причина цього: при атмосферному тиску температури кипіння/конденсації звичайних холодоагентів (фреони, NH₃) лежать вище за цю точку, а точки кипіння/конденсації газів (N₂, O₂ та ін.) - нижче за неї (табл. 4.1).

Таблиця 4.1. Характеристики деяких газів

Назва	Атомна вага	Температура конденсації, T _{конд} , К /°С	Питома теплота пароутворення, г, кДж/кг
Кисень (O ₂)	16* , 17, 18	90,2 /-183,0	212,8
Аргон (Ar)	36, 38, 40	87,3 /-185,9	163,0
Азот (N ₂)	14, 15	77,4 /-195,8	199,3

*Жирним шрифтом виділена атомна вага найпоширенішого ізотопу.

Кріогенна техніка займається розробкою та вдосконаленням низькотемпературних технологій, процесів та обладнання. На відміну від фізики низьких температур вона цікавиться не фундаментальними дослідженнями, а практичним використанням низькотемпературних явищ.

Кріорідини. Якщо поступово охолоджувати газову суміш (наприклад, повітря чи природний газ), то при досягненні відповідної температури конденсації (див. табл. 4.1) з неї почергово почнуть конденсуватися компоненти. Таким чином можна отримати майже у чистому вигляді компоненти суміші. Такі зріджені гази називають кріорідинами.

У промисловості за допомогою цього методу отримують азот, кисень, аргон (із повітря), виділяють компоненти природного газу (метан та ін.), отримують водень із коксового газу тощо. Кріорідини та чисті гази, отримані

з них, широко використовуються у різноманітних криогенних технологіях як холодоагенти, холодоносії, охолодні середовища.

Кисень, що отримується з повітря, широко використовується у металургії, медицині, будівництві (зварювання) та інших галузях, проте побічним продуктом цього виробництва є холодний газоподібний азот у великій кількості. Подекуди цей азот просто викидається в атмосферу через відсутність споживачів. Будуючи поряд із кисневими заводами підприємства чи цехи зі швидкого заморожування, кріоподрібнення тощо (споживачі зрідженого азоту), можна досягти значного збільшення рентабельності як зазначених підприємств, так і кисневих заводів.

Британська компанія Highview Power, яка базується в США, бачить перспективу в своїй технології зберігання енергії у вигляді зрідженого повітря [29]. Нещодавно її керівництво оголосило про створення спільного підприємства з багатонаціональною компанією TSK, яка займається проектуванням, закупівлями і будівництвом. Співпраця передбачає розробку великомасштабних проектів у згаданій сфері енергетики в Європі (Німеччина, Італія і Іспанія), Великобританії і США, а також в Нігерії та інших східноафриканських країн, таких як Мавританія і Сенегал..

За оцінками спеціалістів компанії вартість такої енергії буде наполовину меншою в порівнянні з аналогічними системами накопичення енергії на іонно-літєвих батареях. Останні можуть чудово справлятися із завданням швидкого створення та високоефективного накопичення енергії, але тільки на термін до чотирьох годин. Однак витрати на експлуатацію та технічне обслуговування систем швидко ростуть, роблячи їх занадто витратними.

Системи зберігання енергії у вигляді зрідженого повітря від Highview здатні вирішити дві великі проблеми, що стримують швидке зростання використання енергії сонця, вітру та інших енергоресурсів без викидів. А саме – дати їм більше можливостей для розвитку. Сьогодні відновлювані джерела енергії забезпечують близько 17% світових потужностей з виробництва електроенергії. Щоб отримати 50%, необхідно збільшити їх кількість в 3 рази. Надійне, масштабне і тривале зберігання – відсутній шматочок такого пазла.

Стандартна система Highview забезпечує 50 мегават-годин (МВт/год) ємності зберігання енергії протягом 8 годин на день. Вона можуть працювати протягом 10 або 20 років, керуючись здебільшого дистанційно і вимагаючи відносно невеликих витрат на експлуатацію та обслуговування.

Збільшення робочої потужності з 0 до 100% відбувається менш ніж за 10 секунд, що було продемонстровано в Манчестері. На найбільш швидкозростаючих ринках електроенергії Highview може легко поєднати свої системи з літій-іонними акумуляторами, щоб досягти блискавичної швидкості.

До того ж, методика і технологія перетворення повітря в рідку форму добре відома і широко використовуються в промисловості і торгівлі. Це спрощує і прискорює розвиток та інтеграцію систем, що, в свою чергу, знижує загальні витрати. Сьогодні існує безліч установ, де використовують зріджене повітря в аналогічному температурному діапазоні (кисень або азот). Причому, охолоджуючись, повітря додатково очищається, оскільки видаляється вуглекислий газ CO₂, температура скраплення якого вище, ніж у кисню.

Цей газ можна використовувати і продавати в якості побічного продукту, наприклад, для виробництва газованої води та інших подібних напоїв. Наразі Highview працює з британською пивоварною компанією в Південному Уельсі, щоб робити це в рамках одного з проектів, який перебуває на етапі розробки, додав Кавада (рис. 4.27.).



Рис. 4.27. Системи зберігання зрідженого повітря

<https://enerhodzherela.com.ua/novyny/Альтернативна-енергетика-в-світі-29.06-05.07.2020>

Компанія вбачає безліч варіантів застосування своєї технології. В Італії вона розробляє кілька проектів, щоб зробити енергію сонця або вітру повністю керованою (24 години, 7 днів на тиждень, 365 днів на рік), для чого потрібно достатньо місця для зберігання.

Цінність системи зберігання енергії у вигляді зрідженого повітря відрізняється в країнах, що розвиваються або менш розвинених країнах. Там технологія Highview може істотно підтримати національні та місцеві ініціативи по електрифікації, а також зробити істотний внесок в досягнення національних і міжнародних цілей в галузі відновлюваної енергії та зміни клімату.

Система зберігання енергії у вигляді зрідженого повітря здатна збільшити використання природного газу або вугільних електростанцій, сприяючи їх діяльності та переходу на енергію з нульовим викидом вуглецю. Технологія може бути синхронізована з газовими електростанціями, наприклад. В такому випадку природний газ буде використовуватися тільки тоді, коли в цьому виникає гостра потреба.

Але такий підхід суперечить місії і стратегії компанії, адже її головне завдання – прискорити зростання відновлюваних джерел енергії і повністю замінити ядерне і видобувне паливо. Багато нафтогазових компаній знають про це і Highview співпрацює з ними, щоб досягти своєї мети.

Державні органи та комунальні служби в різних країнах виявляють великий інтерес до технології Highview. З метою техніко-економічного обґрунтування ефективності компанія розробила в США установку потужністю 50 МВт/400МВт/ч, з'єднану з вітряною електростанцією, а також підписала угоду зі споживачем комунальних послуг, плануючи незабаром оголосити про укладення угоди.

Запустивши дві невеликі установки в Великобританії, компанія Highview також працює над розробкою системи потужністю 50 МВт/250МВт, ємність зберігання якої можна буде збільшити з 8 до 10 годин.

4.7.3. Кріогенний двигун

Розвиток й область застосування двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) мають у даний час всеосяжний характер [75].

Численні наукові дослідження і розробки перетворили ДВЗ у складну і в той же час надійну й універсальну систему. Досвід тривалої експлуатації в складі транспортних засобів виявив недоліки, які практично неможливо виключити шляхом модернізації конструкції двигуна не торкнувшись базових принципів його роботи, таких як механічні втрати на тертя і процес внутрішнього згорання палива.

Головним недоліком ДВЗ, який в результаті масового поширення автомобільного транспорту зайняв лідируюче становище, став фактор забруднення навколишнього середовища вихлопними газами. Частка шкідливих речовин, що надходять в атмосферу з відпрацьованими газами автомобільних двигунів, становить до 63% від загального забруднення навколишнього середовища. У зв'язку з цим в останні десятиліття в світі посилюються вимоги до екологічних норм для транспортних засобів, і в першу чергу це стосується двигунів внутрішнього згорання [76].

ДВЗ, споживаючи п'яту частину первинних енергоносіїв [77], є основним джерелом забруднення навколишнього середовища безпосередньо в зоні дихання людини [78]. Однак плановані заходи, навіть у разі їх повної

реалізації, здатні лише знизити темпи збільшення забруднюючої дії ДВЗ, перш за все транспортних засобів, на тлі швидкого зростання їх кількості і потужності.

Таким чином, назріла необхідність виробництво принципово іншого двигуна, здатного кардинально змінити ситуацію, що працює на різних видах палива і не має шкідливих викидів в атмосферу. У зв'язку з цим можна пред'явити наступні вимоги до сучасних двигунів:

- ✓ зменшити кількість токсичних викидів;
- ✓ зменшити викид тепла в атмосферу;
- ✓ знизити металоємність двигуна;
- ✓ зменшити шум і вібрації;
- ✓ використовувати для роботи двигуна будь-який вид палива, у тому числі водень;
- ✓ використовувати поновлювані джерела енергії.

Пошук шляхів створення екологічно чистого транспорту, що використовує альтернативні джерела енергії, привів в останні три роки до розробки перших зразків криогенних (низькотемпературних) двигунів [79].

Криогенний двигун, що працює на рідкому азоті, забезпечує практично абсолютну екологічну безпеку при отриманні корисної роботи, що не створює проблем при утилізації накопиченої енергії.

Енергетика криогенного «палива» близька до енергетики, що реалізується за допомогою найбільш перспективних літєвих акумуляторів. Вартість зберігання акумуляованої енергії у вигляді рідкого азоту набагато менша за вартість її зберігання в літєвих акумуляторах через їх високу вартість. Розвиток альтернативної енергетики також багато в чому стримується невирішеною проблемою тривалого зберігання і повернення накопиченої енергії. Існуючі системи зберігання на базі хімічних акумуляторів малоефективні, екологічно не бездоганні і дорогі.

Усі перераховані вище проблеми можуть бути успішно вирішені за допомогою криогенних двигунів і систем, створених на його базі.

Створення на базі криогенного двигуна і машини з виробництва рідкого азоту - криогенної акумуляуючої системи (КРАС) вирішує проблеми альтернативної, по крайній мірі, малої енергетики – радикально [80].

Можливість рішення вже цих проблем, на думку експертів, забезпечує стійкий попит ринку.

Новостворюваний криогенний двигун буде необхідний на ринку, якщо його переваги будуть підтвержені для початку в дослідному зразку.

Основні переваги криогенного двигуна:

- ✓ абсолютна екологічна чистота при роботі двигуна;
- ✓ швидкість і безпека заправки бака «паливом» - рідким азотом;
- ✓ достатня дешевизна «палива» - як наслідок невисока вартість, наприклад, тонно-кілометра в порівнянні з електромобілем;

- ✓ необмежена і поновлювана сировинна база для виробництва рідкого азоту з атмосферного повітря;
- ✓ налагоджене промислове екологічно чисте виробництво і зберігання «палива»;
- ✓ невисока вартість кріогенного двигуна в порівнянні з електроприводом.

Крім того, поява двигуна, що працює на рідкому азоті, дасть імпульс до розвитку виробництва рідкого азоту вже як енергоносія («палива») альтернативному, наприклад, біопаливу, яке в даний час поглинає харчові ресурси, принципово не вирішуючи проблеми екологічної чистоти енергоустановок. Якщо вдасться продемонструвати та доказати перевагу кріогенних двигунів, наприклад, у транспортних засобах у порівнянні з електроприводом з використанням хімічних акумуляторів, попит на них може стати однаковий з попитом на двигуни внутрішнього згорання.

Зріджений азот отримують на спеціальних повітророздільних установках з навколишньої атмосфери. При цьому на отримання 1 кг рідкого азоту в середньому потрібно затратити близько 1 кВт/год електроенергії, що в 5 раз менше, ніж на отримання 1 кг бензину чи дизеля. Виробництво його широко освоєно в індустріально розвинених країнах (зокрема, в Україні його можуть виробляти більш, ніж на 10 металургійних і хімічних підприємствах).

Тому рідкий азот є доступним і відносно дешевим джерелом енергії в порівнянні, наприклад, з рідким воднем, що в свою чергу є вибухонебезпечним.

У кріогенному двигуні замінений процес горіння на процес випаровування рідкого азоту, поглинання тепла з навколишнього середовища і перетворення цього тепла в корисну роботу.

На (рис. 4.28.) представлений варіант пристрою з одним робочим циліндром (7), поєднаним з компресором (10). У цьому випадку використовується загальний теплообмінник для робочого тіла і парів холодоагенту.

Пари холодоагенту після вихлопу з пневмодвигуна через клапан (14) частково подаються на вхід робочого тіла в холодильник-випарник, потім вони стискаються в компресорі (10). Через клапан (13) пари холодоагенту надходять у теплообмінник (11), а потім - на вхід пневмодвигуна. Система подачі холодоагенту подає холодоагент у холодильник-випарник (18), і в сорочку охолодження (9) компресора (10). З сорочки охолодження пари холодоагенту також надходять на вхід у компресор (10).

У цьому випадку тиск подачі холодоагенту може бути істотно зменшений, що знижує витрати енергії на роботу насоса (19), або він може бути відсутнім, а подачу холодоагенту можна здійснити за рахунок парової подушки в баку (20).

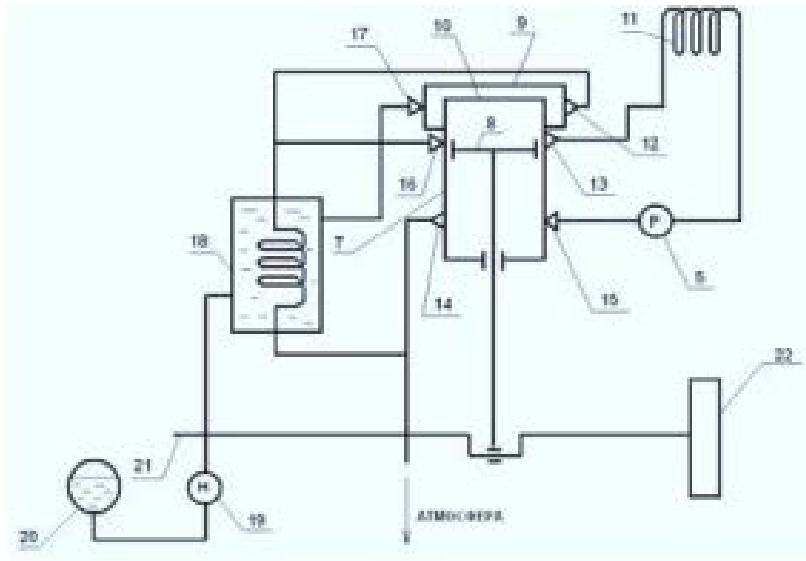


Рис. 4.28. Схема кріогенного двигуна

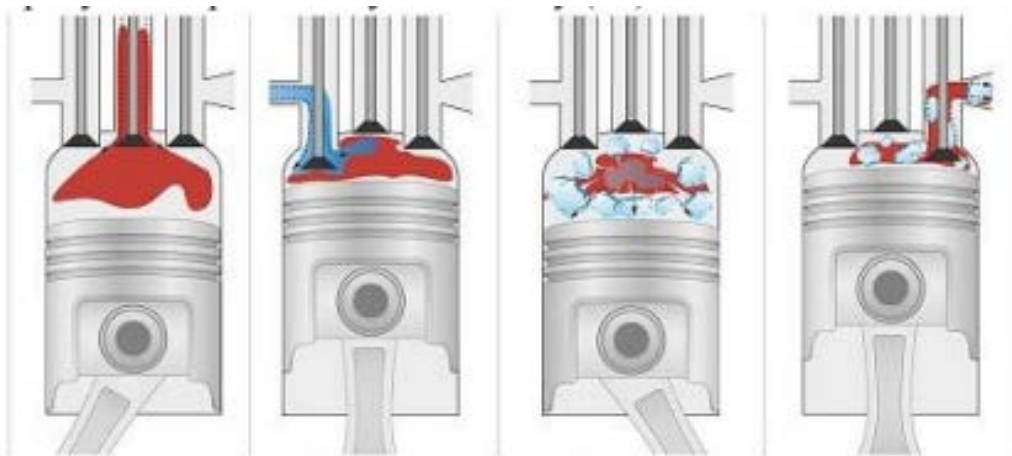


Рис. 4.29. Принцип роботи кріогенного двигуна в робочій камері

Принцип роботи кріогенного двигуна в робочій камері (рис. 4.29.):

1. Теплоносій закачується в циліндри двигуна, заповнюючи майже весь їх обсяг.

2. Потім в циліндр вводять вакуумний азот, який вступає в контакт з теплообмінною рідиною і починає розширюватися.

3. Тепло від теплоносія поглинається розширюється газом, в результаті чого відбувається майже ізотермічне розширення.

4. Поршень рухається вниз, випускний клапан відкривається, і суміш газу з рідким теплоносієм виходить з двигуна.

5. Теплоносій відновлюється, нагрівається і багаторазово використовується, в той час як азот або повітря випускається в атмосферу.

В процесі роботи кріогенного двигуна відбувається емісія тільки повітря або азоту, без викидів окисів азоту (NO_x), вуглекислого газу (CO_2) або твердих частинок.

У кріогенному двигуні технологія має безліч переваг в порівнянні з іншими низьковуглецевими технологіями. За оцінками фахівців, подібна система може ефективно використовувати до 40% енергії рідкого азоту, що практично аналогічно ефективності роботи дизельного двигуна. Але в результаті ми отримуємо істотну різницю, так як рідкий азот дешевший від того ж дизпалива і в той же час не забруднює навколишнє середовище. Зараз дослідний зразок двигуна Дермана готується до випробувань на дорогах Великобританії, після чого, у разі успіху, двигун піде в масове виробництво.

4.7.4. Евтектична система

Евтэктика — тип кристалізації розплаву, який складається з певних компонентів у співвідношенні, що відповідає найнижчій температурі їх одночасної кристалізації. Ця температура (евтектична точка) завжди буває нижчою, ніж температура кристалізації кожного компонента окремо [81].

Евтектична реакція - ізотермічна, оборотна реакція між двома (або більше) твердими фазами, що відбувається під час нагрівання системи і внаслідок якої утворюється одна рідка фаза.

Евтектична суміш - суміш двох або більше речовин з точкою топлення меншою, ніж для будь-якої іншої суміші тих самих речовин.

Евтектична температура - температура співіснування в рівновазі рідкої фази з двома або більше твердими фазами.

Евтектична точка - точка на фазовій діаграмі стану, яка відповідає складові розчину, співіснуючому зі щонайменше двома твердими фазами. У цій точці плавиться евтектична суміш. Наприклад, для суміші NaCl і води (23,3 % NaCl за масою) це стається при $-21,1$ °C. Отже, найнижчою температурою, при якій існує рідкий розчин NaCl є $-21,1$ °C, при нижчій температурі розчин замерзатиме, перетворюючись у суміш льоду й кристалів солі (рис. 4.30.).

Технологія розплаву солей також використовується для зберігання сонячної енергії при високих температурах. Розплави солей можуть застосовуватися в якості методу акумулювання залишкової теплової енергії. На даний момент це - комерційна технологія для зберігання тепла, зібраного геліоконцентратора (наприклад, з СЕС баштового типу або параболоциліндров). Тепло пізніше може бути перетворено в перегрітий пар для харчування звичайних парових турбін і вироблення електрики в погану погоду або вночі. Це було продемонстровано в 1995-1999 роках в рамках проекту «Solar Two». Оцінки 2006 року передбачали річну ефективність в

99%, посилаючись на порівняння енергії, збереженої у вигляді тепла перед перетворенням в електрику і перетворення тепла в електрику безпосередньо. Використовуються різні евтектичних суміші солей (наприклад, нітрат натрію, нітрат калію і нітрат кальцію). Використання таких систем в якості середовища перенесення тепла помітно в хімічній і металургійній промисловості.

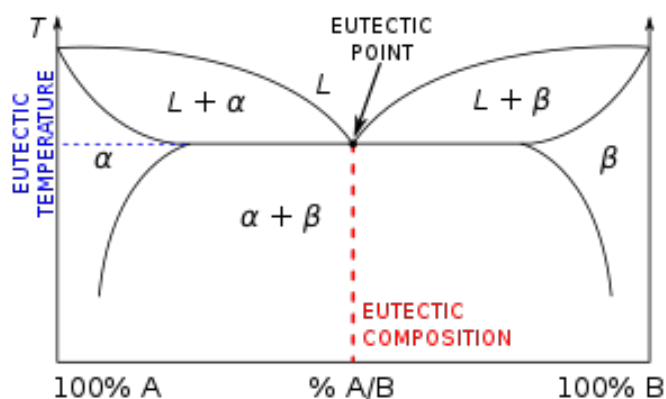


Рис. 4.30. Бінарна фазова діаграма з евтектичною рівновагою

<https://uk.wikipedia.org/wiki/Евтектика>

Технологія розплаву солей також використовується для зберігання сонячної енергії при високих температурах [82]. Розплави солей можуть застосовуватися в якості методу акумулювання залишкової теплової енергії. На даний момент це - комерційна технологія для зберігання тепла, зібраного геліоконцентратора (наприклад, з СЕС баштового типу або параболоциліндрів). Тепло пізніше може бути перетворено в перегрітий пар для харчування звичайних парових турбін і вироблення електрики в погану погоду або вночі. Це було продемонстровано в 1995-1999 роках в рамках проекту «Solar Two». Оцінки 2006 року передбачали річну ефективність в 99%, посилаючись на порівняння енергії, збереженої у вигляді тепла перед перетворенням в електрику і перетворення тепла в електрику безпосередньо. Використовуються різні евтектичних суміші солей (наприклад, нітрат натрію, нітрат калію і нітрат кальцію). Використання таких систем в якості середовища перенесення тепла помітно в хімічній і металургійній промисловості.

Сіль плавиться при 131С (268F). Вона зберігається в рідкому стані при 288С (550F) в ізольованих «холодних» ємностях для зберігання. Рідка сіль перекачується через панелі сонячного колектора, де сфокусоване сонячне тепло нагріває її до 566С (1 051F). Потім воно відправляється в гарячу ємність для зберігання. Самоізоляція ємності може використовуватися для зберігання теплової енергії протягом тижня. У разі потреби в електриці, гарячий розплав солей перекачується в звичайний парогенератор для

виробництва перегрітої пари і запуску стандартної турбогенераторної установки, використовуваної на будь-якій вугільної, нафтової або атомної електростанції. Турбіна потужністю в 100 МВт зажадає ємність висотою в 9,1 м і діаметром 24 м футів) для її запуску в протягом чотирьох годин за подібним принципом.

У розробці знаходиться єдиний бак з розділовою плитою для збереження і холодного, і гарячого розплаву солей. Набагато більш економічним буде досягнення на 100% більшої кількості зберігання енергії на одиницю об'єму в порівнянні з парними ємностями, так як ємність для зберігання розплаву солей досить дорога через складної конструкції. Сольові грілки також використовуються для зберігання енергії в розплавах солей.

Кілька Параболоциліндричних електростанцій в Іспанії і «Solar Reserve» - розробник сонячних електростанцій баштового типу використовує цей концепт для зберігання теплової енергії. Електростанція Солана в США може зберігати в розплавах солей енергію, яка виробляється 6 годин. Влітку 2013 року на електростанції «Gemasolar Thermosolar», що працює і як геліоконцентратор, і як електростанція на розплавах солей в Іспанії, вперше вдалося виконати безперервне виробництво електрики протягом 36 днів.

4.7.5. Акумулятор холоду

Акумулятор холоду — охолоджувальний пристрій у вигляді герметичного контейнера, заповненого речовиною з великою теплоємністю [83].

Акумулятори холоду застосовуються як основні охолоджувальні елементи в холодильних сумках (термосумках), ізотермічних контейнерах (термобоксах), автомобільних та побутових холодильниках.

Найбільше застосування знайшли такі типи акумуляторів холоду: водний, гелевий, водо-солевий та силіконовий. Розрізняються вони за видами наповнювача:

Акумулятор холоду на основі дистильованої води (рис.4.31.).

Гелевий охолоджувач виготовлений із щільної плівки зі спеціальним гелем всередині. Він може як підтримувати знижену температуру, так і зберігати підвищену.

Водо-солевий акумулятор — це пластикова ємність з сольовим розчином, підтримує температуру в межах від -20 до +8 °С. Функції активної речовини у водо-солевих акумуляторах виконує зазвичай 2%-ний водний розчин Na-карбоксиметилцелюлози.

Силіконовий охолоджувач — це пакет з міцної пластикової плівки з наповнювачем, до складу якого входить силікон. Такий акумулятор

підтримує температуру $0...2\text{ }^{\circ}\text{C}$, але протягом тривалого (до 7 днів) періоду. У цьому й полягає його перевага перед згаданими вище типами охолоджувачів.



Рис. 4.31. Акумулятор холоду на основі дистильованої води у пластиковому контейнері

https://uk.wikipedia.org/wiki/Акумулятор_холоду

Перед застосуванням акумулятор холоду поміщають у морозильну камеру, де речовина охолоджується до потрібної температури (до замерзання рідини).

При використанні в побутових холодильниках акумулятори холоду стабілізують температуру в камері (завдяки чому холодильний компресор вмикається і вимикається рідше), збільшують час безпечного зберігання продуктів при відключенні електроенергії, підвищують потужність заморожування в морозильних камерах.

Акумулятори холоду, використовуються при транспортуванні й зберіганні вакцин, медичних препаратів, біологічних тканин (наприклад, крові) і пропонуються для декількох рівнів температур. Найпопулярніші мають такі температури замерзання: $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Зокрема, для доставки лабораторних реагентів використовуються холодильники з акумуляторами холоду на основі дистильованої води.

Зазвичай для побутових потреб рекомендують, щоб маса акумуляторів холоду була з розрахунку близько 600 г на 10 літрів об'єму сумки чи боксу [84].

4.7.6. Фазовий перехід речовини

Будь-яка речовина може перебувати в різних агрегатних станах: твердому, рідкому і газоподібному. При певних умовах можливе одночасне стан речовини відразу в декількох фазах. Наприклад, в рідкому і газоподібному, газоподібній і твердої, твердої і рідкої фазах. У потрібній точці речовина може перебувати відразу в трьох фазах.

Перехід речовини з одного агрегатного стану в інше називається фазовим переходом [85]. Фазові переходи супроводжуються процесами виділення або поглинання теплоти без зміни температури робочої речовини. У цьому випадку виділяється або поглинається теплота фазового переходу витрачається на подолання сил зчеплення між молекулами. При виділенні теплоти відбувається нагрів будь-якого тіла, поміщеного в робочу речовину. При поглинанні теплоти, навпаки, від тіла віднімається теплота і відбувається його охолодження.

До фазових переходів з виділенням теплоти відносяться кристалізація, конденсація, десублімації і ін. Такі процеси в холодильній техніці для отримання низьких температур не застосовуються.

Для отримання температур нижче температури навколишнього середовища використовуються фазові переходи, які супроводжуються поглинанням теплоти. До них відносяться плавлення, кипіння, випаровування і сублімація.

Плавлення. Плавленням називається процес фазового переходу робочої речовини з твердого стану в рідке, при повідомленні йому теплоти. Найбільш широко для отримання низьких позитивних температур застосовується водний лід. Його температура плавлення при атмосферному тиску дорівнює 0°C , питома теплота плавлення становить 334 кДж / кг . Недоліком охолодження за допомогою водного льоду є неможливість отримання негативних температур. Якщо шматочки водного льоду змішати з будь-якої сіллю, то можна знизити температуру його плавлення до негативних значень. Температура танення льодосоляною суміші залежить від виду солі та її концентрації. Так, наприклад, додавання 20% хлористого натрію дозволяє знизити температуру плавлення льоду до $-13,7^{\circ}\text{C}$. Однак існує певна концентрація солі, вище якої не відбувається зниження температури плавлення суміші. Ця температура є найнижчою для даної суміші. Зі збільшенням концентрації солі у воді температура плавлення знижується. При якійсь певній концентрації спостерігається найнижча температура плавлення. Подальше збільшення концентрації не призводить до зниження температури плавлення. У транспортних холодильних установках для охолодження рефрижераторів застосовується плавлення евтектичного льоду в зероторах. Евтектичний лід являє собою заморожений водно-соляний розчин з криогідратною або евтектичною концентрацією солі. Температура плавлення евтектичного льоду, наприклад, з сіллю CaCl_2 дорівнює -55°C .

Кипіння. Кипінням називається процес переходу робочої речовини з рідкого стану в газоподібний з утворенням бульбашок пари по всьому об'єму рідини. Для здійснення процесу кипіння необхідно постійно підводити теплоту. Кожна речовина характеризується певною температурою кипіння, яка залежить від тиску в посудині. Підвищуючи або знижуючи тиск можна змінювати температуру кипіння робочої речовини. Рідини з низькими температурами кипіння використовуються для отримання холоду в парових холодильних машинах. Наприклад, температура кипіння хладону 22 при атмосферному тиску дорівнює -41°C , аміаку -33°C , хладону 142 "В" - 9°C .

Випаровування. Випаровуванням називається перехід робочої речовини з рідкого стану в газоподібний тільки з поверхні рідини. У герметично закритій посудині між рідиною і парою встановлюється динамічна рівновага, тобто кількість молекул речовини виходять з рідини в пар дорівнює кількості молекул що переходять з пари в рідину. Певному тиску при цьому відповідає певна температура. Порушення динамічної рівноваги призводить до процесів, які прагнуть відновити його знову. Якщо з посудини почати відкачувати пар, то тиск почне зменшуватися і кількість молекул що виходять з рідини значно перевищить кількість молекул що переходять з пари в рідину. В цьому випадку теплота буде поглинається від самої робочої речовини і температура рідини знизиться.

Сублімація. Сублімацією називається перехід робочої речовини з твердого стану відразу в газоподібний, минаючи рідку фазу. Для отримання низьких температур найчастіше використовується сублімація твердого діоксиду вуглецю CO_2 . Так як при сублімації він не утворює рідини, то його ще називають "сухим" льодом. Температура сублімації "сухого" льоду при атмосферному тиску становить $-78,5^{\circ}\text{C}$, теплота сублімації дорівнює 573 кДж / кг .

Матеріал зміни фази (PCM) — це речовина, яка виділяє/поглинає достатню енергію при фазовому переході для забезпечення корисного тепла/охолодження. Як правило, перехід буде відбуватися з одного з перших двох основних станів речовини - твердого і рідкого - до іншого. Фазовий перехід також може відбуватися між неklasичними станами матерії, такими як конформність кристалів, коли матеріал переходить від відповідності одній кристалічній структурі до відповідності іншій, яка може бути вищим або нижчим енергетичним станом.

Енергія, що виділяється/поглинається при фазовому переході з твердого стану в рідкий, або навпаки, теплота плавлення, як правило, набагато вища, ніж відчутна теплота. Наприклад, для танення льоду потрібно $333,55 \text{ Дж/г}$, але тоді вода підніметься на один градус далі, якщо додати лише $4,18 \text{ Дж/г}$. Тому вода/лід є дуже корисним матеріалом для зміни фаз і використовувався для зберігання зимового холоду для охолодження будівель влітку принаймні з часів імперії Ахеменідів.

Завдяки плавленню та затвердінню при температурі зміни фази (РСТ), РСМ здатний зберігати та вивільняти велику кількість енергії порівняно з розумним накопиченням тепла. Тепло поглинається або виділяється, коли матеріал переходить з твердого стану в рідкий і навпаки або коли змінюється внутрішня структура матеріалу; РСМ відповідно називають матеріалами для зберігання латентного тепла (LHS).

Існує два основних класи матеріалів із зміною фази: органічні (вуглецеві) матеріали, отримані з нафти, рослин або тварин; і гідрати солі, які зазвичай використовують природні солі з моря або мінеральних родовищ або є побічними продуктами інших процесів. Третій клас - це перехід твердої фази в тверду.

РСМ використовуються в багатьох різних комерційних застосуваннях, де необхідні накопичення енергії та/або стабільні температури, включаючи, серед іншого, нагрівальні колодки, охолодження для телефонних комутаційних коробок та одяг.

На сьогоднішній день найбільшим потенційним ринком є опалення та охолодження будівель. В даний час РСМ привертають велику увагу для цієї програми через поступове зниження вартості відновлюваної електроенергії в поєднанні з обмеженими годинами доступності, що призводить до невідповідності між піковим попитом і доступністю пропозиції. У Північній Америці, Китаї, Японії, Австралії, Південній Європі та інших розвинених країнах із спекотним літом пік пропозиції припадає на полудень, а пік попиту – приблизно з 17:00 до 20:00. Це створює великий попит на носії інформації.

Матеріали з фазовими змінами тверда-рідка зазвичай інкапсульовані для установки в кінцевому застосуванні, щоб утримуватися в рідкому стані. У деяких випадках застосування, особливо коли потрібне включення до текстилю, матеріали фазової зміни мікрокапсулюють. Мікроінкапсуляція дозволяє матеріалу залишатися твердим у вигляді маленьких бульбашок, коли ядро РСМ розплавиться.

Тривале та ефективне зберігання теплової енергії, отриманої від відновлювальних джерел енергії, таких як сонце чи геотермальна енергія є ключовим фактором впливу на сталий розвиток теплотехніки.

Приховане акумулювання дає змогу зберігати набагато більше енергії в порівнянні з звичайним баками, що використовують воду. Технології з використанням фазового переходу постійно розвиваються та приймають нові форми.

Одним з цікавих рішень вдосконалення традиційних систем акумулювання теплової енергії стали продукти HeatSel або HeatStixx, що дозволяють в 3-4 рази підвищити теплову чи холодильну ємність баку (рис. 4.32.) [86].

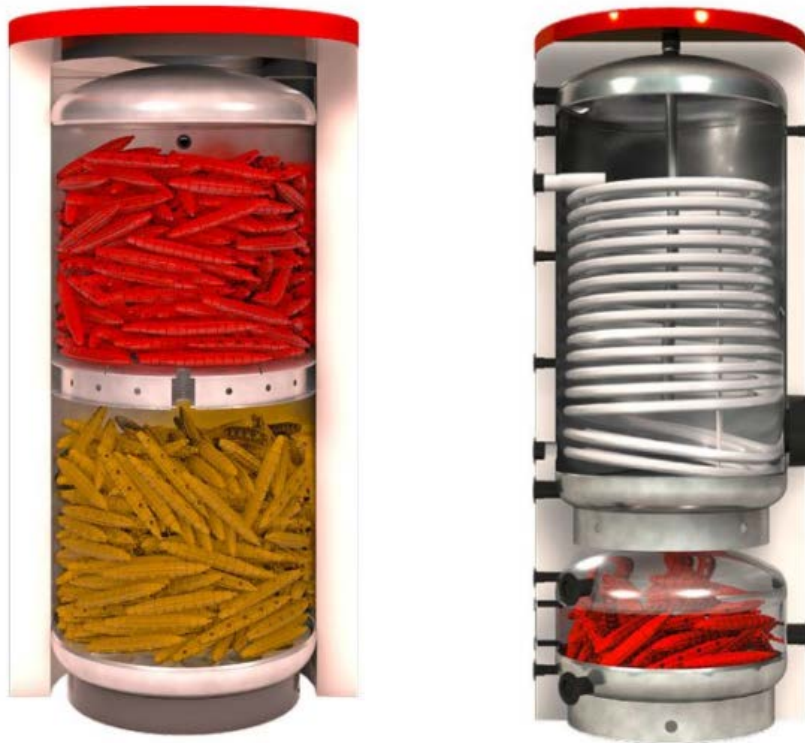


Рис. 4.32. HeatStixx для використання в стандартних накопичувальних баках

<https://caxapa.ua/kompaniya-statti-novi-materiali-z-fazovim-perehodom-heatsel-ta-heatstixx-dlja-vdoskonalennja>

HeatSel та HeatStixx представляють собою полімерні модулі, що наповнюються відповідним матеріалом із зміною фази РСМ (Phase Change Material). Зміна фази тут грає вирішальну роль. Залежно від матеріалу РСМ (парафіни, гідрати солі тощо) при досягненні відповідної температури відбувається плавлення матеріалу (танення) і проходить процес акумуляції тепла. Таке латентне (приховане) зберігання енергії дозволяє накопичити значну кількість тепла та характерне відсутністю тепловтрат (рис. 4.33.). При зніманні тепла РСМ знову твердне і цикл повторюється знову.

HeatStixx і heatSel розроблені таким чином, що, крім великої площі поверхні, товщина шару РСМ є дуже тонкою, що забезпечує участь всієї маси матеріалу у процесі фазової зміни, таким чином забезпечуючи ефективну передачу тепла (швидке заряджання та розрядження) навіть при дельтах з дуже низькою температурою. Завдяки роботі з водяним зберіганням, таке гібридне рішення надає максимально можливу динаміку процесам, і тому підходить для великої кількості застосувань у системах охолодження / кондиціонування та опалення.

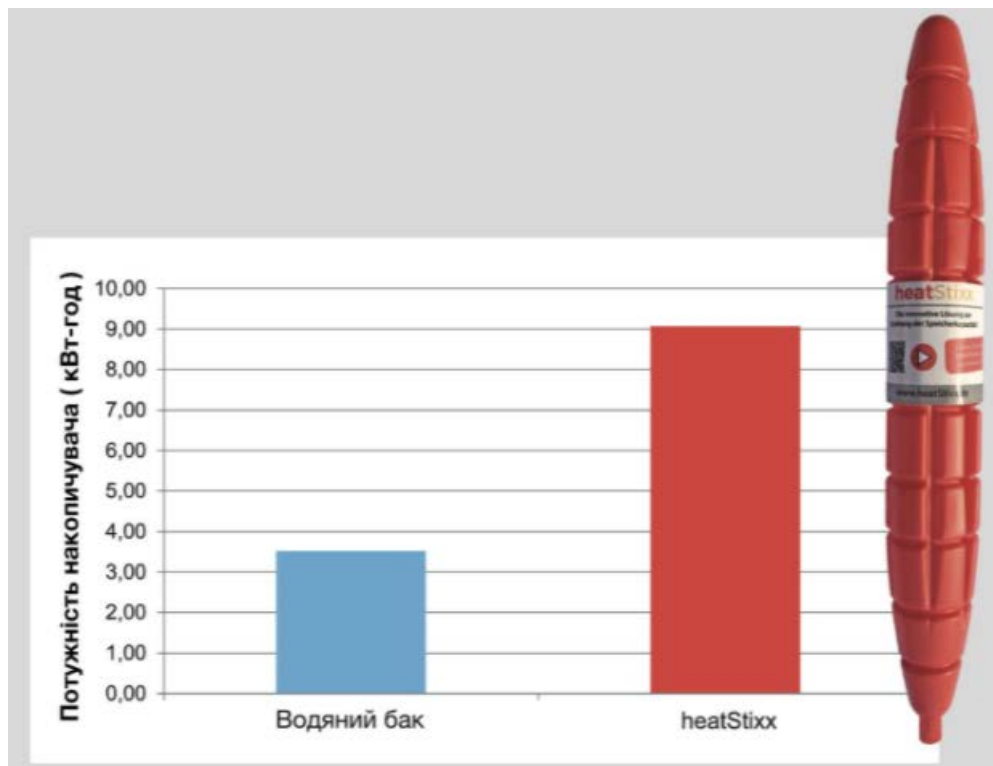


Рис. 4.33. Ефективність HeatStixx порівняно з водою

<https://сахара.ua/kompaniya-statti-novi-materiali-z-fazovim-perehodom-heatsel-ta-heatstixx-dlja-vdoskonalennja>

HeatStixx розроблений спеціально для використання в стандартних накопичувальних баках. Сигароподібні еліпсоїди можна легко інтегрувати в будь-який бак, використовуючи стандартні патрубки підключення. Власники таких модернізованих систем можуть отримати додаткову вигоду за рахунок збільшення теплоємності своїх існуючих баків та оптимізації процесів накопичення та споживання енергії (наприклад запобігати кипінню (стагнації) сонячних установок).

HeatSel® представляє собою плоский модуль з високою продуктивністю. Дизайн капсули дозволяє суттєво збільшити площу поглинання та забезпечує участь всієї маси PCM в процесі фазового переходу. HeatSel® ідеальний компонент для різних застосувань в області охолодження, кондиціонування повітря і опалювальної техніки.

Європейська комісія ESDA назвала HeatSel® найінноваційнішою ідеєю 2017 року в Європі.

4.7.7. Сезонне зберігання теплової енергії

Сезонне накопичення теплової енергії (або STES - Seasonal thermal energy storage) - це зберігання тепла або холоду протягом періодів до

декількох місяців [87]. Теплову енергію можна збирати, коли вона доступна, і використовувати, коли це необхідно, наприклад, в сезон, що настає. Наприклад, тепло від сонячних колекторів або відпрацьоване тепло з кондиціонера обладнання можна збирати в жаркі місяці для опалення приміщень, коли це необхідно, в тому числі в зимові місяці. Відпрацьоване тепло від промислового процесу можна схожим чином зберігати і використовувати набагато пізніше [88]. Або природний холод зимового повітря можна зберігати для літнього кондиціонування [89, 90].

Магазини STES можуть обслуговувати системи централізованого опалення, а також окремі будівлі або комплекси. Серед сезонних сховищ, що використовуються для опалення, проектні пікові річні температури, як правило, знаходяться в діапазоні від 27 до 80 °С, а різниця температур, що виникає в сховищі протягом року, може становити кілька десятків градусів. Деякі системи використовують тепловий насос, щоб допомогти зарядити та розрядити накопичувач протягом частини або всього циклу. Для охолодження часто використовуються лише циркуляційні насоси. Менш поширеним терміном для технологій STES є міжсезонне зберігання теплової енергії [91].

Технології сезонного накопичення теплової енергії (СНТЕ) дозволяють використовувати тепло або холод через місяці після того, як воно було отримане з природних джерел або відходів [92]. Акумуляція може відбуватися у водоносних шарах, скупченнях свердловин в геологічних субстратах, таких як пісок або кристалічні породи, в вистелених ямах, заповнених гравієм і водою, або в заповнених водою шахтах. Технології СНТЕ часто мають термін окупності в діапазоні від чотирьох до шести років. Прикладом є спільнота сонячних батарей Drake Landing в Канаді, для якої 97 % цілорічного тепла забезпечується сонячно-тепловими колекторами на дахах гаражів, а свердловинний накопичувач теплової енергії (СНТЕ) є підтримувальною технологією [93].

У Бредstrupі (Данія) система комунального сонячного теплопостачання, також використовує СНТЕ за температури зберігання 65 °С. Тепловий насос, який працює тільки за наявності надлишкової енергії вітру в єдиній енергомережі, використовується для підвищення температури до 80 °С для постачання. Коли надлишкової електрики, що генерується вітром, немає, використовується газовий котел. 20 % відсотків тепла у Бредstrupі мають сонячне походження [94].

4.7.8. Сонячний ставок

Сонячний ставок це басейн, солоня вода якого збирає і зберігає сонячну теплову енергію (рис. 4.34.) [95]. Солоня вода природним чином утворює вертикаль (градієнт також відомий як "галоклін"), в якій вода з

низьким вмістом солі плаває поверх води з високим вмістом солі. Шари сольових розчинів збільшуються в концентрації (а отже і щільності) з глибиною. Нижче певної глибини розчин має рівномірно високу концентрацію солі.



Рис. 4.34. Сонячні випаровувальні басейни в Пустеля Атакама

https://uk.wikijaa.ru/wiki/Solar_pond

Коли сонячні промені стикаються з дном неглибокого басейну, вони нагрівають прилеглу до дна воду. Коли вода на дні басейну нагрівається, вона стає менш щільною, ніж прохолодна вода над ним, і конвекція починається. Сонячні водойми нагрівають воду, перешкоджаючи цій конвекції. Сіль додають у воду, поки нижні шари води повністю не стануть насиченими. Вода з високим вмістом солі на дні водойми не змішується легкою водою з низьким вмістом солі над нею, тому, коли нижній шар води нагрівається, конвекція відбувається окремо в нижньому та верхньому шарах, при цьому відбувається лише помірне перемішування між ними. Це значно зменшує тепловтрати і дозволяє воді високої солоності досягати температури 90°C , зберігаючи при цьому температуру 30°C води з низьким вмістом солі [96]. Потім цю гарячу, солону воду можна відкачати для використання у виробництві електроенергії через турбіни або як джерело теплової енергії.

Отримана енергія має форму низькотемпературного тепла від 70 до 80°C порівняно із передбачуваною температурою навколишнього середовища 20°C . Відповідно з другим законом термодинаміки (Цикл Карно), максимальна теоретична ефективність циклу, який використовує тепло з високотемпературного резервуару при 80°C і до температури 20°C , становить $1 - (273 + 20) / (273 + 80) = 17\%$. Для порівняння, тепловий двигун електростанції, що використовує високоякісне тепло при 800°C , мав би

максимальний теоретичний ліміт 73% для перетворення тепла в корисну роботу (і, отже, був би змушений втратити лише 27% в відпрацьоване тепло до водойми з холодною температурою при 20 °С). Низький коефіцієнт корисної дії сонячних ставків зазвичай виправдовується аргументом, що "колектор", будучи просто ставком із пластиковою обшивкою, потенційно може призвести до широкомасштабної системи, в якій вартість енергії загалом нижча порівняно з сонячною концентраційною системою.

Подальші дослідження спрямовані на вирішення таких проблем, як розвиток мембранних ставків. Вони використовують тонку проникну мембрану для розділення шарів, не допускаючи проходження солі.

Найбільшим діючим сонячним ставком для виробництва електроенергії був ставок Бейт ХаАрава, побудований в Ізраїлі і який експлуатувався до 1988 року. Він мав площу 210 000 м² і давав електричну потужність 5 МВт [97].

Індія була першою азіатською країною, яка створила сонячний ставок Бхудж, в Гуджараті. Проект був виконаний у 1987 р. - 1993 р. відповідно до Національної програми сонячних ставків Міністерства нетрадиційних джерел енергії після тривалих зусиль спільної діяльності TERI, Гуджаратського агентства з енергетичного розвитку та GDDC (Гуджаратська корпорація з розвитку молочних продуктів). Сонячний ставок успішно продемонстрував доцільність цієї технології, подаючи щодня на завод 80 000 літрів гарячої води. Він призначений для подачі близько 22 000 000 кВт год термальної енергії щорічно. Інститут енергетики та ресурсів надав усі технічні викладки та взявся за повне виконання досліджень, розробок та демонстрації. TERI експлуатувала та підтримувала цей об'єкт до 1996 року, перш ніж передати його GDDC. Сонячний ставок функціонував без особливих зусиль до 2000 року, і серйозні фінансові збитки в GDDC завершили його функціонування. Згодом землетрус у Бхуджі залишив молокозавод Катч непрацюючим [98].

Сонячний ставок площею 3200 м², що забезпечує 20% діяльності компанії Bruce Foods Corporation в Ель-Пасо, штат Техас, є другим за величиною в США, а також першим у світі сонячним ставком із сольовим градієнтом [99].

4.7.9. Паровий акумулятор

Паровий акумулятор - Steam accumulator – це ізольовані сталевий напірний бак, що містить гарячу воду і пар під тиску. З його допомогою можна згладити вершини та западини, що потребують пари. Парові акумулятори можуть набувати значення для накопичення енергії проектів сонячної теплової енергії. Прикладом є сонячна енергетична вежа заводу

поблизу Севілья, Іспанія [100] і запланований проект "сонячного парового поїзда" в Сакраменто, Каліфорнія [101].



Рис. 4.35. Вежа пароаккумулятора центрального опалення на вул. Сади Черчілля (Садиба, Пімліко, Лондон, Об'єднане Королівство)

https://wikiukuk.top/wiki/Steam_accumulator

Паровий акумулятор був винайдений в 1874 році шотландським інженером Ендрю Беттс Браун [102].

Таблиця 4.2. Залежність між тиском і температурою в котлі або пароаккумуляторі

Манометричний тиск, бар	Абсолютний тиск, бар	Температура, ° C
0	1	100
2.4	3.4	138
5.9	6.9	164
9.3	10.3	181
12.8	13.8	194
16.2	17.2	205

Примітки: 1. Абсолютний тиск = манометричний тиск + атмосферний тиск;

2. Бар (бар) - позасистемна одиниця вимірювання тиску, що дорівнює 10^5 Па або 10^6 дин/см² (в системі СГС). Бар приблизно дорівнює атмосферному тиску лише на рівні моря. $100\,000\text{ Pa} = 1\text{ bar} \approx 750,0616827\text{ мм рт. ст.}$

Заряд. Резервуар наполовину заповнений холодною водою, і з нього продувається пара котел через перфоровану трубу біля дна барабана. Частина пари конденсується і нагріває воду. Залишок заповнює простір над рівнем води. Коли акумулятор повністю заряджений, конденсована пара підніме рівень води в барабані приблизно до трьох чвертей, і температури і тиск також зросте.

Розряд. Пару можна використовувати за потреби, або для керування автомобілем з паровою турбіною або для цілей виробничого процесу (наприклад, в хімічній інженерії), відкривши для пари клапан зверху барабана. Тиск у барабані впаде, але знижений тиск призводить до того, що води закипає більше, і акумулятор може продовжувати подавати пар (при цьому поступово знижуючи тиск і температуру) деякий час, перш ніж його доведеться заряджати.

4.7.10. Зберігання теплової енергії

Зберігання теплової енергії (Thermal energy storage) досягається за допомогою різноманітних технологій. Залежно від конкретної технології вона допускає зберігати та використовувати надлишок термальної енергії годинами, днями, місяцями згодом в масштабах, що варіюються в залежності від індивідуального процесу, будівлі, багатофункціональної будівлі, району, міста чи регіону. Прикладами використання є збалансування енергетичних потреб між денним та нічним часом, зберігання літнього тепла для зимового опалення або зберігання зимового холоду для літнього кондиціонування (сезонне накопичення теплової енергії). До середовищ зберігання належать резервуари для води або глини, маси природної землі або гірських порід, доступ до яких здійснюється теплообмінниками за допомогою свердловин, глибоких водоносних горизонтів, що містяться між непроникними шарами; неглибокі, викладені ями, заповнені гравієм і водою і утеплені зверху, а також евтектичні рішення і матеріали з фазовою зміною [103, 104].

Інші джерела теплової енергії для зберігання включають тепло або холод, що виробляються тепловими насосами від пікової, дешевшої електричної енергії, що називається практикою «пікове згладжування»; тепло від комбінованих теплоелектроцентралей (ТЕЦ); тепло, що виробляється відновлюваною електричною енергією, що перевищує попит в мережі та відпрацьоване тепло від промислових процесів. Зберігання тепла, як сезонне, так і короткострокове, вважається важливим засобом для дешевого балансування відновлюваної електроенергії [105, 106, 107].

Накопичення сонячної енергії. Більшість практичних активних систем сонячного опалення забезпечують зберігання енергії від декількох

годин до доби. Однак зростає кількість об'єктів, які використовують сезонне зберігання теплової енергії (STES), що дозволяє зберігати сонячну енергію влітку для опалення приміщень взимку [108, 109, 110].

Сонячна спільнота Дрейка в Альберті, Канада, зараз досягла цілорічного 97% обсягів сонячного опалення, світовий рекорд став можливим лише завдяки включенню STES [111].

Різні евтектичні суміші металів, такі як алюміній та кремній (AlSi12), забезпечують високу температуру плавлення, придатну для ефективного виробництва пари [112]. Матеріали на основі глиноземного цементу також мають хороші можливості зберігання тепла [113].

Технологія розплавленої солі. Помітне тепло з розплавленої солі також використовується для зберігання сонячної енергії при високій температурі. Це називається технологія розплавленої солі або накопичення енергії розплавленої солі (MSES). В даний час це комерційно вживана технологія накопичення тепла, що збирається з концентрованої сонячної енергії (наприклад, з сонячної вежі або сонячного корита). Пізніше тепло можна перетворити на перегрітий пар для живлення звичайних парових турбін та виробництва електроенергії у негоду або вночі. Оцінки в 2006 році передбачали щорічний коефіцієнт корисної дії 99%, енергії, що зберігається за рахунок накопичення тепла перед перетворенням його в електроенергію, проти перетворення тепла безпосередньо в електрику [114, 115, 116]. В цій технології використовуються різні евтектичні суміші різних солей (наприклад, нітрат натрію, нітрат калію і нітрат кальцію). Досвід використання таких систем є у несонячних системах хімічної та металургійної промисловості.

Сіль плавиться при 131 °C. Він зберігається рідиною при 288 °C в ізольованому "холодному" резервуарі. Рідка сіль перекачується через панелі в сонячному колекторі, де сфокусоване сонце нагріває її до 566 °C. Потім вона направляється в резервуар для гарячого зберігання. З належним утепленням резервуара тепла енергія може зберігатися до тижня [117]. Коли потрібна електроенергія, гаряча розплавлена сіль перекачується до звичайного парогенератора, що виробляє перегріту пару для приводу звичайної турбіни / генераторної установки, яка використовує будь-яке вугілля, нафту чи на атомній електростанції. Для такої конструкції турбін на 100 мегават потрібен бак висотою близько 9,1 метра і діаметром 24 метри.

Єдиний резервуар з розділовою пластиною для зберігання як холодної, так і гарячої розплавленої солі знаходиться в розробці [118] Це більш економічно завдяки досягненню на 100% більше накопичення тепла на одиницю об'єму в системі подвійних резервуарів, оскільки резервуар для зберігання розплавленої солі є дорогим через його складну конструкцію. Матеріал фазової зміни (PCM) також використовуються для зберігання енергії розплавленої солі [119]. Дослідження щодо отримання

стабілізованих за формою РСМ з використанням матриць з високою пористістю тривають [120].

Кілька параболічних жолобів електростанції в Іспанії [121] і сонячна енергетична вежа використовують цю концепцію накопичення теплової енергії. Виробнича станція Солана в США може зберігати виробничу потужність у розплавленій солі протягом 6 годин. Протягом літа 2013 року соляна електростанція в Іспанії постійно виробляла електроенергію 24 години на добу протягом 36 днів [122].

Адсорбційне (або сорбційне) сонячне опалення та зберігання. Низька вартість (200 доларів за тонну) і висока швидкість циклу синтетичних цеолітів, таких як Linde 13X з водним адсорбатом, останнім часом викликають значний науковий та комерційний інтерес для використання для зберігання теплової енергії, зокрема низькосортної сонячної енергії і відходів тепла. Кілька пілотних проектів фінансуються в ЄС з 2000 р. до теперішнього часу (2020 р.). Основна концепція - зберігати сонячну теплову енергію як хімічну, приховану енергію в цеоліті. Як правило, гаряче сухе повітря із плоских пластинчастих сонячних колекторів проходить через шар цеоліту таким чином, що будь-який присутній адсорбат води відходить. Зберігання може бути добовим, щотижневим, щомісячним або навіть сезонним, залежно від обсягу цеоліту та площі сонячних теплових панелей. Коли протягом ночі вимагається тепло, або безсонячні години, або зима, зволожене повітря протікає крізь цеоліт. Оскільки вологість адсорбується цеолітом, тепло виділяється в повітря і згодом у будівельний простір. Цю форму зберігання теплової енергії із специфічним використанням цеолітів вперше запропонував Герра в 1978 році [123]. Через низьку температуру та енергію, яка зберігається як прихована теплота адсорбції, виключаються вимоги до ізоляції системи такої як зберігання розплавленої солі.

Зберігання тепла в резервуарах або кам'яних печерах. Паровий акумулятор складається з ізольованого сталевого резервуара під тиском, що містить гарячу воду та пару під тиском. Як пристрій для зберігання тепла, він використовується для опосередкованого виробництва тепла змінним або стабільним джерелом для змінної потреби в теплі. Парові акумулятори можуть набувати значення для накопичення енергії в проектах сонячної теплової енергії.

Великі ємності широко використовуються в Скандинавії для зберігання тепла протягом декількох днів, для розмежування виробництва тепла та електроенергії та для задоволення пікових потреб. Міжсезонне зберігання в печерах було досліджено і представляється економічним [124] і відіграє значну роль у опалення у Фінляндії. 300 000 м³ скельних печер на глибині 50 метрів під рівнем моря в Круунувуоренрента (близько Лааджасало) були використані в 2018 році для зберігання тепла влітку від

теплої морської води і виділення його взимку для централізованого опалення [125].

Зберігання тепла в гарячих гірських породах або бетоні. Вода має одну з найвищих теплових потужностей - $4,2 \text{ Дж}/(\text{см}^3 \cdot \text{К})$ тоді як бетон має приблизно третину від цього. З іншого боку, бетон можна нагрівати до набагато вищих температур ($1200 \text{ }^\circ\text{C}$), наприклад, електричним нагріванням, і тому він має набагато більшу загальну об'ємну потужність. Таким чином, ізольований куб об'ємом $2,8 \text{ м}^3$, забезпечує достатнє накопичення для одного будинку, щоб задовольнити 50% потреб у опаленні. Це, в принципі, може бути використано для накопичення надлишкового вітрового або сонячного тепла завдяки здатності електричного опалення досягати високих температур.

Прект у Віггенхаузен-Зюда в Фрідріхсгафен на півдні Німеччина отримав міжнародну увагу. Тут є залізобетонний тепловий накопичувач на $12\,000 \text{ м}^3$ пов'язаний з 4300 м^2 сонячних колекторів, який забезпечує 570 будинкам близько 50% опалення та гарячої води.

Компанія Siemens-Gamesa побудувала поблизу теплового накопичувача потужністю 130 МВт-рік в м. Гамбург при $750 \text{ }^\circ\text{C}$ в базальті і 1,5 МВт електричної потужності [126, 127]. Подібна система запланована на Soro, Данія. При цьому 41-58% від накопиченого 18 МВт / рік тепла повертається місту в централізоване опалення, а 30-41% повернулося як електроенергія [128].

Технологія сплаву з розривом змішуваності. Розрив змішуваності сплавів [129] використовується при зміні фази металевих матеріалів для накопичення теплової енергії [130].

Замість перекачування рідкого металу між резервуарами, як у системі розплавленої солі, метал капсульований в інший металевий матеріал, з яким він не може змішуватись. Залежно від вибраних двох матеріалів (матеріал, що змінює фазу, та інкапсулюючий матеріал) щільність зберігання може становити від 0,2 до 2 МДж/л.

Робоча рідина, як правило, вода або пара, використовується для передачі тепла в систему та з неї. Технологія ще не впроваджена у великих масштабах.

Електричні теплові накопичувальні обігрівачі. Накопичувальні обігрівачі є звичним явищем у європейських будинках, використовується дво- або трьохзонний тариф (традиційно використовують дешевшу електроенергію вночі). Вони складаються з керамічної цегли високої щільності або феоліт блоки, нагріті до високої температури за допомогою електрики, і можуть мати або не мати хорошої ізоляції та регулятори для виділення тепла протягом певної кількості годин [131].

Технологія на основі льоду. Розробляється кілька застосувань, де лід виробляється в непікові періоди і використовується для охолодження

пізніше. Наприклад, кондиціонер можна використати більш економічно, за допомогою дешевої електроенергії вночі для заморожування води в лід, а потім використовуючи потужність охолодження вдень льоду, щоб зменшити електроенергію, необхідну для задоволення потреб у кондиціонерах. Зберігання теплової енергії з використанням льоду використовує високу теплоту плавлення води. Історично склалося, що лід транспортували з гір у міста для використання в якості охолоджуючої рідини. Одна метрична тонна води (один кубічний метр) може зберігати 334 мільйони джоулів (МДж) або 93 кВт-год. Порівняно невелике сховище може вмістити достатньо льоду, щоб охолодити велику будівлю протягом дня або тижня.

На додаток до використання льоду в системах прямого охолодження, він також використовується в системах опалення на основі теплових насосів. У цих додатках енергія фазової зміни забезпечує дуже значний шар теплової потужності, який знаходиться поблизу нижнього діапазону температур, в якому можуть працювати теплові насоси.

Кріогенне накопичення енергії. Кріогенне накопичення енергії використовує зрідження повітря або азоту як запас енергії.

Пілотна кріогенна енергетична система, яка використовує рідке повітря як накопичувач енергії та низькосортне відпрацьоване тепло для забезпечення теплового повторного розширення повітря, працює на електростанції в Слау, Великобританія з 2010 року [132]

Технологія гарячого кремнію. Твердий або розплавлений кремній пропонує набагато вищі температури зберігання, ніж солі, що забезпечує більшу ємність та ефективність. Це значить, що можлива більш енергоефективна технологія зберігання. Кремній здатний зберігати більше 1 МВт-год енергії на кубічний метр при 1400 °C [133, 134]

Зберігання теплової енергії розплавленого кремнію розробляється австралійською компанією 1414 Degrees як більш енергоефективна технологія зберігання, що поєднує тепло та когенерацію.

Зберігання електроенергії, що відкачується. У накопичувачі тепла з перекачуваною тепловою енергією (PHES) використовується реверсивна система теплових насосів для накопичення енергії як різниця температур між двома запасами тепла [135, 136, 137].

Ізентронний. Одна система, яка розроблялася британською компанією Isentropic, працює наступним чином [138]. Вона включає дві ізольовані ємності, заповнені подрібненою породою або гравієм: гаряча посудина, що зберігає теплову енергію при високій температурі та високому тиску, і холодна посудина, що зберігає теплову енергію при низькій температурі та низькому тиску. Ємності з'єднані зверху і знизу трубами, і вся система наповнена інертним газом аргоном.

Під час циклу зарядки система використовує електроенергію без піку, щоб працювати як тепловий насос. Аргон при температурі навколишнього

середовища та тиску зверху холодильника стискається адіабатично до тиску 12 бар, нагріваючи його до, приблизно, 500 °С. Стислий газ передається у верхню частину гарячої посудини, де він просочується через гравій, передаючи своє тепло гірській породі та охолоджуючись до температури навколишнього середовища. Охолоджений, але все ще під тиском газ, що виходить на дно посудини, потім розширюється (знову адіабатично) назад до 1 бар, що знижує його температуру до -150 ° С. Потім холодний газ пропускається через холодну посудину, де він охолоджує породу, нагріваючись до початкового стану.

Енергія відновлюється у вигляді електрики шляхом зворотного циклу. Гарячий газ з гарячої посудини розширюється для приводу генератора, а потім подається в холодильну камеру. Охолоджений газ, витягнутий з дна холодильника, стискається, що нагріває газ до температури навколишнього середовища. Потім газ подається на дно гарячої посудини для повторного нагрівання.

Процеси стиснення та розширення забезпечуються спеціально розробленим поршнеvim верстатом за допомогою висувних клапанів. Надлишки тепла, що утворюються внаслідок неефективності процесу, скидаються в навколишнє середовище через теплообмінники під час циклу скидання [139, 140].

Розробник стверджував, що ефективність процесу «туди-назад» у 72-80% досяжна. Це порівняно з >80%, досяжним при накопичуванні гідроенергії [136].

Інша запропонована система використовує турбомашинобудування і здатна працювати на значно вищих рівнях потужності [141]. Використання фазообмінного теплонакопичувального матеріалу ще більше підвищить продуктивність [142].

Ендотермічні / екзотермічні хімічні реакції. *Технологія сольового гідрату.* Одним із прикладів експериментальної системи зберігання, заснованої на енергії хімічної реакції, є технологія гідратів солі. Система використовує енергію реакції, що утворюється при гідратації або зневодненні солей. Він працює, зберігаючи тепло в контейнері, що містить 50% розчин їдкого натру (NaOH). Тепло (наприклад, від використання сонячного колектора) зберігається випаровуванням води в ендотермічній реакції. При повторному додаванні води виділяється тепло при екзотермічній реакції при 50 °С. Існуючі системи працюють з ефективністю 60%. Система особливо вигідна для сезонного зберігання теплової енергії, оскільки висушену сіль можна тривалий час зберігати при кімнатній температурі без втрат енергії. Ємності з зневодненою сіллю можна навіть транспортувати в інше місце. Система має вищу щільність енергії ніж тепло, що зберігається у воді, і ємність системи може бути призначена для накопичення енергії від декількох місяців до років [143].

У 2013 році голландський розробник технологій TNO представив результати проекту MERITS для зберігання тепла в контейнері для солі. Тепло, яке можна отримати від сонячного колектора на даху, витісняє воду, що міститься в солі. При повторному додаванні води виділяється тепло, майже без втрат енергії. Ємність з кількома кубічними метрами солі могла зберігати достатньо цієї термохімічної енергії, щоб опалювати будинок протягом всієї зими. В умовах помірного клімату, такого як у Нідерландах, середньому домогосподарству з низьким енергоспоживанням потрібно близько 6,7 ГДж/зима. Для зберігання цієї енергії у воді (при різниці температур 70 °С), 23 м³ знадобиться ізольоване сховище води, що перевищує можливості зберігання більшості домогосподарств. За допомогою технології гідратів солі з щільністю зберігання близько 1 ГДж/м³, 4–8 м³ може бути достатнім [144].

Станом на 2016 рік дослідники кількох країн проводять експерименти для визначення найкращого виду солі або сольової суміші. Низький тиск у контейнері здається сприятливим для транспортування енергії [145]. Особливо перспективними є органічні солі, так звані іонні рідини. Порівняно з сорбентами на основі галогеніду літію, вони менш проблематичні з точки зору обмежених глобальних ресурсів, а в порівнянні з більшістю інших галогенідів та гідроксиду натрію (NaOH) вони менш їдкі та не викликають негативного впливу забруднення CO² [146].

Молекулярні зв'язки. Енергія зберігається в молекулярних зв'язках. Були досягнуті щільності енергії, еквівалентні літій-іонні батареї [147].

4.8. Хімічний

4.8.1. Біопаливо

Біопаливо - це паливо, що виробляється за допомогою сучасних процесів від біомаси, на відміну від палива, виробленого дуже повільними геологічними процесами, що беруть участь у формуванні горючих корисних копалин, наприклад, нафти [148]. Оскільки біомаса технічно може використовуватися як паливо безпосередньо (наприклад, деревні колоди), деякі люди використовують терміни біомаса та біопаливо як взаємозамінні. Однак найчастіше слово біомаса просто позначає біологічну сировину, з якої складається паливо, або якусь форму термічно / хімічно змінених твердих кінцевих продуктів, таких як торрефіковані гранули або брикети.

Слово біопаливо зазвичай зарезервовано для рідкого або газоподібного палива, що використовується для транспортування. Адміністрація енергетичної інформації США (EIA) дотримується цієї практики іменування [149]. Біопаливо, функціонально еквівалентне нафтовим паливам і повністю сумісне з існуючою нафтовою

інфраструктурою [150]. Вони не вимагають модифікації двигуна автомобіля [151].

Біопаливо можна виробляти з рослин (тобто енергетичні культури), або з сільськогосподарських, комерційних, побутових та/або промислових відходів (якщо відходи мають біологічне походження) [152]. Відновлюване біопаливо, як правило, стосується сучасних вуглецевих технологій в рослинах або мікробдоростях через процес фотосинтезу. Якщо біомаса, що використовується у виробництві біопалива може швидко відновлюватися, паливо, як правило, вважається одним з видів відновлювальної енергії.

Два найпоширеніші типи біопалива - це біоетанол та біодизель.

Біоетанол є алкоголь вироблений бродінням, переважно з вуглеводів цукру або крохмалю таких культури, як кукурудза, цукровий очерет, або солодке сорго. Целюлозна біомаса, отримана з непродовольчих джерел, таких як дерева та трави, також використовується як вихідна сировина для виробництва етанолу. Етанол можна використовувати як паливо для транспортних засобів у чистому вигляді (E100), але зазвичай його використовують як добавка до бензину для збільшення октану та покращення викидів транспортних засобів. Біоетанол широко використовується в Сполучених Штатах і в Бразилії.

Біодизель виробляється з олій або жирів з використанням переетерифікації і є найпоширенішим біопаливом в Європі. Його можна використовувати як паливо для транспортних засобів у чистому вигляді (B100), але зазвичай, його використовують як добавка до солярки для зниження рівня часток окису вуглецю, і вуглеводних від дизельних транспортних засобів.

У 2019 році виробництво біопалива у всьому світі досягло 161 мільярда літрів, що на 6% більше, ніж у 2018 році [149] і біопаливо забезпечувало 3% пального у світі для автомобільного транспорту. Міжнародне енергетичне агентство хоче, щоб біопаливо забезпечило більше чверті світового попиту на транспортне паливо до 2050 року, щоб зменшити залежність від нафти [149]. Однак виробництво та споживання біопалива не відповідає сценаріям сталого розвитку МЕА. З 2020 по 2030 рік світовий обсяг виробництва біопалива повинен зростати на 10% щороку, щоб досягти мети МЕА. Протягом наступних 5 років очікується ріст лише 3% щороку (рис. 4.36.) [149].

Покоління. Біопаливо першого покоління. Біопаливо першого покоління - це паливо, виготовлене з продовольчих культур, вирощених на ріллі. Вміст цукру, крохмалю чи олії в культурі перетворюється на біодизель або етанол переетерифікацією, або дріжджовим бродінням [153].

Біопаливо другого покоління. Біопаливо другого покоління - це паливо, виготовлене з лігноцелюлози або деревної біомаса, або сільськогосподарських залишків / відходів. Вихідна сировина, яка використовується для виробництва палива, або зростає на орній землі але є

побічними продуктами основної культури, або їх вирощують на непридатних землях. Сировина другого покоління включає солому, багас, багаторічні трави, ятрофу, відходи рослинної олії, тверді побутові відходи тощо [154].



Рис. 4.36. Види та генерація біопалива [155]

Біопаливо третього покоління. Виробництво біопалива з мікроводоростей. Мікроводорості культивують різними методами, наприклад фотоавтотрофні, гетеротрофні, фотогетеротрофні та міксотрофні, потім збираються методом наповнення, при якому мікроводорості виділяють із суспензії шляхом флотації, флокуляції або гравітаційного осадження. Згущення - це друга стадія, яка використовується для концентрування суспензії водоростей після процесу наповнення [155].

Водорості можна виробляти у ставках або резервуарах на суші, а також у морі [156, 157]. Водорості мають високу врожайність [158] і їх можна вирощувати з мінімальним впливом на ресурси прісної води [159, 160]. Біопаливо може бути отримане з використанням солоної води і стічних вод, має високу точку займання [161]. Воно біологічно розкладається і відносно нешкідливе для навколишнього середовища, якщо його розлити [162, 163]. Виробництво вимагає великої кількості енергії та добрив, вироблене паливо деградує швидше, ніж інше біопаливо, і воно погано тече при низьких температурах [156]. До 2017 року, з економічних

міркувань, більшість зусиль з виробництва палива з водоростей були відмовлені або переведені на інші програми (рис. 4.37.) [164].



Рис. 4.37. Виробництво біопалива з мікрроводоростей

Біопаливо четвертого покоління. Цей клас біопалива включає електропаливо і сонячне паливо. Електропаливо виготовляються шляхом зберігання електричної енергії у хімічних зв'язках рідин та газів. Основними цілями є бутанол, біодизель, і водень, але включають інші спирти та вуглецевмісні гази, такі як метан і бутан. Сонячне паливо - синтетична хімічна речовина де паливо виробляється із сонячної енергії. Світло перетворюється на хімічну енергію, як правило, шляхом зменшення протону до водню, або вуглекислого газу до органічної сполуки.

Приклади. Наступні види палива можна виробляти, використовуючи процедури виробництва біопалива першого, другого, третього або четвертого покоління. Більшість із них можна отримати за допомогою двох-трьох різних процедур виробництва біопалива.

Біогаз. Біогаз - це метан, вироблений в процесі анаеробного бродіння з органічного матеріалу [165]. Він може бути виготовлений з відходів матеріалів, що біологічно розкладаються, або за допомогою енергетичних культур, що подаються в анаеробні ємності для доповнення виходу газу. Твердий побічний продукт може використовуватися як біопаливо або добриво (рис.4.38.).

Біогаз можна добувати з продуктів механічної біологічної обробки системи переробки відходів. Полігонний газ, менш чиста форма біогазу, виробляється в звалищах через природне анаеробне бродіння. Якщо воно вирветься в атмосферу, це збільшує викиди парникових газів.



Рис. 4.38. Виробництво і зберігання біогазу

Фермери можуть виробляти біогаз гною від худоби за допомогою анаеробних зброджувачів [166].

Сингаз. Сингаз, суміш окису вуглецю, водню та інших вуглеводнів, отримується частковим спалюванням біомаси, тобто спалюванням з кількістю кисню недостатньою, щоб повністю перетворити біомасу на вуглекислий газ та воду [167]. Перед частковим згорянням біомасу іноді піддають піролізу. Отримана газова суміш, синтетичний газ, є більш ефективною, ніж безпосереднє згоряння вихідного біопалива; при цьому добувається більше енергії, що міститься в паливі.

Сингаз може спалюватися безпосередньо в двигунах внутрішнього згоряння, турбінах або високотемпературних паливних елементах [168], генераторах деревного газу, реакторах газифікації на деревному паливі.

Синтетичний газ можна використовувати для виробництва метанолу і водню, або перетворений через Процес Фішера – Тропша для отримання дизельного замінника або суміші спиртів, які можна замішувати в бензин. Газифікація, як правило, проходить при температурах вище 700 °С.

Газифікація з нижчою температурою проходить при спільному виробництві біовугілля, але це призводить до забруднення синтетичним газом.

Етанол. Біологічно вироблені спирти, найчастіше етанол, і рідше пропанол і бутанол, виробляються під дією мікроорганізмів і ферментів шляхом бродіння цукрів або крохмалів (найпростіший спосіб), або целюлози (що важче). Біобутанол (також званий біогазином) часто заявляють, що він забезпечує пряму заміну бензину, оскільки його можна використовувати безпосередньо в бензиновому двигуні (рис. 4.39.).

Етанолове паливо є найбільш поширеним біопаливом у всьому світі, зокрема в Бразилії. Спиртове паливо отримують ферментацією цукрів, отриманих з пшениці, кукурудзи, цукрових буряків, цукрової тростини,

патоки і будь-якого цукру або крохмалю, з яких алкогольні напої такі як віскі, можна зробити (наприклад, картопля і фруктові відходи тощо). Використовуються методи виробництва етанолу перетравлення ферментів (для вивільнення цукрів із накопичених крохмалів), ферментації цукрів, дистиляції і сушіння. Процес дистиляції вимагає значних витрат енергії на тепло. Відходи парового палива етанольного заводу [169], де відпрацьоване тепло від заводу використовується у мережі централізованого теплопостачання.



Рис. 4.39. Заправка для етанолу – зліва, та бензину (Бразилія)

Етанол можна використовувати в бензинових двигунах як заміну бензину; його можна змішувати з бензином до будь-якого відсотка. Більшість існуючих автомобільних бензинових двигунів можуть працювати на сумішах до 15% біоетанолу з нафтою/бензином. Етанол має меншу щільність енергії ніж у бензині; це означає, що для отримання такої ж кількості роботи потрібно більше палива (об'єму та маси). Перевага етанолу ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) полягає в тому, що він має вищий октановий показник, ніж бензин без етанолу, що дозволяє збільшити у двигунів ступінь стиснення для збільшення теплової ефективності. Суміші бензину та етанолу дозволяє зменшити викиди в атмосферу.

Етанол також використовується для живлення камінів з біоетанолом, оскільки вони не потребують димоходу і є «бездимовидвідними». Біоетанол [170] надзвичайно корисний для недавно побудованих будинків та квартир без димоходу. Недоліками цих камінів є те, що їх тепловіддача трохи менше, ніж електричне тепло або газові прилади, і повинні бути вжиті запобіжні заходи, щоб уникнути отруєння чадним газом.

Кукурудза для етанолу та інші продовольчі запаси призвели до розвитку целюлозного етанолу. Етанол має, приблизно, на третину нижчий вміст енергії на одиницю об'єму порівняно з бензином.

Інші біоспирти. **Метанол** в даний час виробляється з природного гау, і є невідновлюваним викопним паливом. У майбутньому сподіваються отримувати його з біомаси як біометанол. Це технічно здійснено, але виробництво в даний час відкладається через побоювання, що економічна життєздатність все ще низька. Економіка метанолу є альтернативою водневої економіки, щоб протиставити сьгоднішньому виробництву водню з природного газу [171].

Бутанол (C_4H_9OH) утворюється бродінням (ацетон, бутанол, етанол). Експериментальні модифікації процесу показують потенційно високі чистий приріст енергії з бутанолом як єдиним рідким продуктом. Бутанол буде виробляти більше енергії, ніж етанол, через нижчий вміст кисню [172] і може бути спалений "прямо" в існуючих бензинових двигунах (без модифікації двигуна або автомобіля), [173] і є менш корозійним і менш розчинним у воді, ніж етанол, і може розповсюджуватися через існуючу інфраструктуру. Дюпон і АТ спільно працюють над розробкою бутанолу. Штами кишкової палички також були успішно спроектовані для отримання бутанолу шляхом його модифікації амінокислотним обміном [174]. Недоліком виробництва бутанолу в кишкової паличці залишається висока вартість багатих на поживні речовини середовища, однак нещодавні роботи показали, що кишкова паличка може виробляти бутанол з мінімальними харчовими добавками [175].

Біодизель. Біодизель є найпоширенішим біопаливом в Європі. Він виробляється з олій або жирів переетерифікацією і являє собою рідину, схожу за складом із викопним/мінеральним дизелем. Хімічно він складається переважно з метилових (або етилових) ефірів жирних кислот. Вихідні сировини для біодизеля включають тваринні жири, рослинні олії, сою, ріпак, ятрофа, махуа, гірчиця, льон, соняшник, пальмове масло, конопля, *Pongamia pinnata* і водорості. Чистий біодизель (B100) в даний час зменшує викиди на 60% порівняно з дизелем другого покоління B100 [176].



Рис. 4.40. Підрозділ біопалива Targray, що перевозить біодизель

Біодизель можна використовувати в будь-якому дизельному двигуні в поєднанні з мінеральним дизелем. Його також можна використовувати в чистому вигляді (B100) у дизельних двигунах, але деякі проблеми з технічним обслуговуванням та робочими характеристиками можуть виникнути під час використання взимку, оскільки паливо стає дещо більше в'язке при нижчих температурах, залежно від використовуваної сировини [177].

У деяких країнах виробники поширюють свої дизельні двигуни на гарантію на використання B100. Volkswagen з Німеччини, наприклад, просить водіїв проконсультуватися по телефону з відділом охорони навколишнього середовища VW перед тим, як перейти на B100. У більшості випадків біодизель сумісний з дизельними двигунами з 1994 року, які використовують синтетичний каучук в їх механічних деталях впорскування системи палива. Однак жоден транспортний засіб не сертифікований для використання чистого біодизеля до 2014 року, оскільки до цієї дати не було протоколу контролю викидів для біодизеля.

З електронним управлінням "Common Rail" з кінця 1990-х років можуть використовувати лише біодизель, змішаний із звичайним дизельним паливом. Ці двигуни мають тонкодозовані та атомізовані багатоступеневі системи впорскування, які дуже чутливі до в'язкості палива. Багато дизельних двигунів сучасного покоління зроблені так, що вони можуть працювати на B100, не змінюючи самого двигуна. Оскільки біодизель є ефективним розчинником і очищає залишки, відкладені мінеральним дизелем, фільтри двигуна можливо, доведеться частіше замінювати, оскільки біопаливо розчиняє старі відкладення у паливному баку та трубах. Він також ефективно очищає двигун камери згоряння вуглецевих відкладень, допомагаючи підтримувати ефективність. У багатьох європейських країнах широко використовується 5-процентна суміш біодизеля, яка доступна на тисячах АЗС [178]. Біодизель також є кисневим паливом, тобто, він містить знижену кількість вуглецю та більший вміст водню та кисню, ніж викопне дизельне паливо. Це покращує горіння біодизеля та зменшує викиди твердих частинок від незгорілого вуглецю. Однак використання чистого біодизеля може збільшити NO_x-емісію [179].

Біодизель також безпечний у використанні та транспортуванні, оскільки є нетоксичним та біологічно розкладається, і має високу точку займання, приблизно, 148 °C порівняно з нафтовим дизельним паливом, яке має температуру спалаху 52 °C [180].

У США понад 80% комерційних вантажівок та міських автобусів працюють на дизелі. Ринок біодизельного палива в США зріс на 200% з 2004 по 2005 рік. До кінця 2006 року виробництво біодизельного палива зросло в чотири рази [з 2004 року] до більш ніж 3 800 000 м³ [181].

У Франції біодизель входить у паливо 8%, яке використовують усі французькі дизельні транспортні засоби [182]. Avril Group виробляє під

брендом Діефір, п'яту частину з 11 мільйонів тонн біодизелю, що споживається щорічно Європейським Союзом [183]. Це провідний європейський виробник біодизеля.

Зелений дизель. Зелений дизель виробляється через гідрокрекінг біологічних сировинних матеріалів, таких як рослинні олії та тваринні жири [184]. Гідрокрекінг - це метод нафтопереробного заводу, який використовує підвищену температуру та тиск у присутності каталізатора для руйнування великих розмірів молекул в рослинній олії, на коротші вуглеводневі ланцюги, що використовуються в дизель- двигунах [185]. Його також можна назвати відновлюваним дизелем, гідроочищеною рослинною олією (паливо HVO)[185]. або поновлюваний дизель на основі водню [186]. На відміну від біодизеля, зелений дизель має точно такі ж хімічні властивості, як дизель на нафтовій основі. Він не вимагає нових двигунів, трубопроводів або інфраструктури для розповсюдження та використання, але не виробляється за ціну, яка є конкурентоспроможною нафті. Також розробляються бензинові версії [187]. Зелений дизель розробляється в Луїзіані і Сінгапурі від ConocoPhillips, Масло Несте, Валеро, Динамічне паливо та Honeywell UOP [188], а також Preem у Гетеборзі, Швеція, так званий Evolution Diesel [189].

Пряме рослинне масло. Немодифікований їстівні рослинні олії, як правило, не використовуються як паливо, для цього використовується олія низької якості. Відпрацьована рослинна олія все частіше переробляється на біодизель або (рідше) очищається від води та твердих частинок, а потім використовується як паливо.

Як і у випадку зі 100% біодизелем (B100), для ефективного згоряння, рослинне масло паливо необхідно нагрівати, щоб зменшити його в'язкість до дизельного, або електричними котушками, або теплообмінниками. Це легше виконувати в теплому або помірному кліматі. MAN B&W Дизель, Deutz AG, а також ряд менших компаній, таких як Ельзбетт, пропонують двигуни, сумісні з прямим рослинним маслом, без необхідності модифікацій після продажу.

Рослинна олія також може використовуватися в багатьох старих дизельних двигунах. Завдяки конструкції камер згоряння це найкращі двигуни для використання з рослинною олією. Ця система дозволяє відносно більшим молекулам нафти більше часу горіти. Деякі старі двигуни, особливо Mercedes, працюють без будь-якого переобладнання.

Масла і жири можуть бути гідровані для заміни дизеля. Отриманий продукт являє собою прямоланцюговий вуглеводень з високим вмістом цетанового числа, з низьким вмістом ароматичних речовин і сірки, і не містить кисню. Гідрогенізовані олії можна змішувати з дизелем у всіх пропорціях. Вони мають кілька переваг перед біодизелем, включаючи хороші характеристики при низьких температурах, відсутність проблем зі стабільністю зберігання та несприйнятливості до мікробної атаки [190].

Біоефіри. Біоефіри (їх також називають кисневим паливом) є економічно вигідними сполуки. Біоефіри утворюються в результаті взаємодії реакційноздатних ізо-олефінів, таких як ізо-бутилен, з біоетанолом [191]. Біоефіри виробляються з пшениці або цукрових буряків [192]. Вони також посилюють продуктивність двигуна, при цьому значно зменшуючи знос двигуна та токсичні викиди вихлопних газів. Хоча біоефіри, швидше за все, замінять петроефіри у Великобританії, навряд чи вони стануть паливом самі по собі через низьку щільність енергії [192]. Значно зменшивши рівень викидів, вони сприяють якості повітря [193].

Що стосується транспортування палива, то є шість ефірних добавок: диметиловий ефір (DME), діетиловий ефір (DEE), метил трет-бутиловий ефір (MTBE), етиловий трет-бутиловий ефір (ETBE), трет-амілметиловий ефір (TAME) та трет-аміловий ефір (TAEE) [194].

Європейська асоціація паливних оксигенатів (EFOA) визначає метил трет-бутиловий ефір (MTBE) та етиловий трет-бутиловий ефір (ETBE) як найбільш часто вживані ефіри в паливі для заміни свинцю. Ефіри були використані в Європі в 1970-х роках, щоб замінити високотоксичну сполуку [195]. Незважаючи на те, що європейці все ще використовують біоефірні добавки, США більше не потребують оксигенату, тому біоефіри більше не використовуються як основна паливна добавка [196].

Виробництво електроенергії порівняно з іншими відновлюваними джерелами енергії. Для розрахунку потреб у землекористуванні для різних видів виробництва електроенергії важливо знати відповідну щільність потужності для конкретної області. Smil підрахував, що середні площі питомої потужності енергії для виробництва біопалива, вітру, гідроенергії та сонячної енергії становлять 0,30 Вт/м², 1 Вт/м², 3 Вт/м² і 5 Вт/м² відповідно (потужність у вигляді тепла для біопалива та електроенергії для вітру, гідроенергії та сонячної енергії) [74 Smil 2015]. Середнє споживання енергії людиною на незамерзлій землі становить 0,125 Вт/м² (тепло та електроенергія разом), хоча піднімається до 20 Вт/м² у міських та промислових районах. Причиною низької питомої щільності потужності для біопалива є поєднання низьких врожаїв і лише часткове використання рослини при виготовленні рідкого палива (наприклад, етанол, як правило, виготовляється із цукру в цукровому очереті або кукурудзяного крохмалю, тоді як біодизель часто виготовлений із ріпаку та соєвої олії).

Smil оцінює такі щільності [74 Smil 2015]:

Етанол:

Взимку пшениця (США) 0,08 Вт / м²

Кукурудза 0,26 Вт / м² (урожайність 10 т / га)

Пшениця (Німеччина) 0,30 Вт / м²

Miscanthus x giganteus 0,40 Вт / м² (урожайність 15 т / га)

Цукровий очерет (Бразилія) 0,50 Вт / м² (урожайність 80 т / га)

Реактивне паливо:

Соя 0,06 Вт / м²

Ятропа 0,20 Вт / м²

Пальмове масло 0,65 Вт / м²

Біодизель:

Ріпак 0,12 Вт / м² (Середнє значення для ЄС)

Ріпак (з урахуванням введеної енергії, Нідерланди) 0,08 Вт / м²

Цукрові буряки (з урахуванням введеної енергії, Іспанія) 0,02
Вт/м².

4.8.2. Гідратовані солі

В хімії гідрат є речовиною, яка містить воду або її складові елементи. Хімічний стан води сильно варіюється між різними класами гідратів [197].

Хімічна природа. Органічна хімія. В органічній хімії гідрат - це сполука, яка утворюється в результаті гідратації, тобто додавання води або елементів води (тобто Н і ОН) до молекул [198]. Наприклад: етанол, $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$, є добуток реакція гідратації з етенем, $\text{CH}_2=\text{CH}_2$, що утворюється в результаті додавання Н до одного С та ОН до іншого С, і тому може розглядатися як гідрат етену. Молекула води може бути усунена, наприклад, дією сірчаної кислот. Інший приклад хлоралгідрат, $\text{CCl}_3\text{-CH(OH)}_2$, які можуть утворюватися в результаті реакції води з хлоралом, $\text{CCl}_3\text{-CH=O}$.

Багато органічних молекул, як і неорганічні молекули, утворюють кристали, які включають воду в кристалічну структуру без хімічних змін органічної молекули (кристалізаційна вода). Цукор трегалоза, наприклад, існує в безводній формі (температура плавлення 203 ° С) і у вигляді дигідрату (температура плавлення 97 °). Кристали білка зазвичай мають до 50% вмісту води.

Утворення гідратів є загальним для активних інгредієнтів. Багато виробничих процесів дають можливість утворюватися гідратам, а стан гідратації можна змінювати залежно від вологості середовища та часу. Стан гідратації активного фармацевтичного інгредієнта може суттєво впливати на розчинність і швидкість розчинення, а отже, і на його біодоступність [199].

Неорганічна хімія. Гідрати - це неорганічні солі, що містять молекули води, об'єднані в певному співвідношенні як невід'ємна частина кристалу [200] які прив'язані до металевого центру або кристалізувались із металевим комплексом. Вважається також, що такі гідрати містять кристалізаційну воду або воду гідратації. Якщо вода є важкою водою, де воднем є ізотоп дейтерій, то термін дейтерат може використовуватися замість гідрат.

Яскравим прикладом є кобальт (II) хлорид, який перетворюється з синього на червоний зволоженням, і тому може використовуватися як водний індикатор (рис. 4.41.).

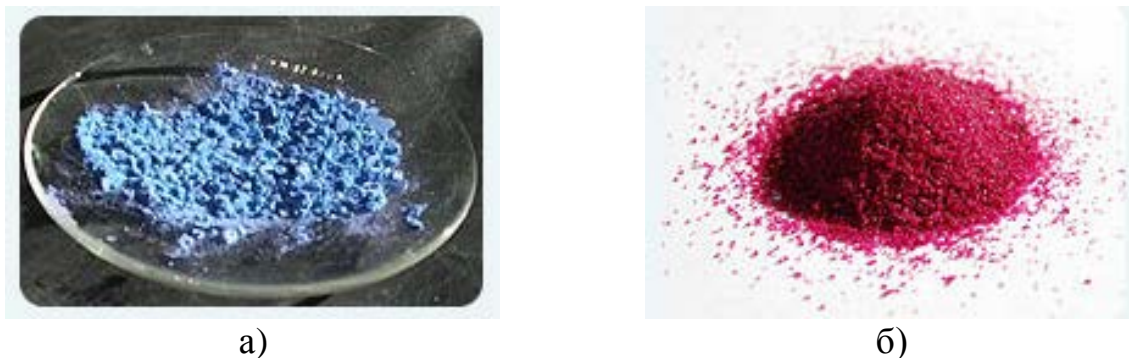


Рис. 4.41. Кобальт (II) хлорид: а) безводний CoCl_2 ; б) гексагідрат $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

<https://uk.wikijaa.ru/wiki/Hydrate>

4.8.3. Зберігання водню

Позначення "гідратоване з'єднання· $n\text{H}_2\text{O}$ " (n - кількість молекул води на одиницю формули солі), зазвичай, використовується, щоб показати, що сіль гідратована. Зазвичай n є ціле число, хоча можливі випадки дробових значень. Наприклад, в а моногідрат $n = 1$, а в а гексагідрат $n = 6$. Числовими префіксами грецького походження є [201]: Немі - $\frac{1}{2}$; Моно - 1; Сескі - $1\frac{1}{2}$; Ді - 2; Три - 3; Тетра - 4; Пента - 5; Гекса - 6; Гепта - 7; Окта - 8; Нона - 9; Дека - 10; Ундека - 11; Додека - 12

Гідрат, який втратив воду, позначається як ангідрид; залишок води, якщо такий є, можна видалити лише при дуже сильному нагріванні. Речовина, яка не містить жодної води, позначається як безводна. Деякі безводні сполуки гідратуються так легко, що вони є гігроскопічними і використовуються як сушильні агенти або осушувачі.

Клатратні гідрати. Клатратні гідрати (також відомі як газові гідрати, газові клатрати тощо) - це водний лід з молекулами газу, що потрапили всередину. Важливим прикладом є метангідрат (також відомий як гідрат газу, клатрат метану тощо).

Можуть утворюватися неполярні молекули, такі як метан клатратні гідрати з водою, особливо під високим тиском. Хоча немає водневого зв'язку між водою та молекулами гостя, коли метан є гостьовою молекулою клатрату, водневий зв'язок гість-господар часто утворюється, коли гостем є більша органічна молекула, така як тетрагідрофуран. У таких випадках водневі зв'язки гостя-господаря призводять до утворення L-типу «Дефекти брейма в клатратній решітці» [202].

Стабільність. Стійкість гідратів, як правило, визначається природою сполук, їх температурою та відносною вологістю (якщо вони піддаються впливу повітря).

Зберігання водню це термін, який використовується для будь-якого з декількох методів зберігання водню для подальшого використання [203] (рис. 4.42.). Ці методи охоплюють механічні підходи, такі як високий тиск і низькі температури, або хімічні сполуки, що виділяють H_2 на потребу. Хоча утворюється велика кількість водню, він, в основному, споживається на місці виробництва, особливо для синтезу аміаку. Багато років водень зберігається у вигляді стисненого газу або криогенних рідин і транспортується як такий в балонах, трубках та криогенних резервуарах для використання в промисловості або як паливо в космічних програмах. Інтерес до використання водню для бортового зберігання енергії в транспортних засобах з нульовими викидами стимулює розробку нових методів зберігання, більш пристосованих до цього нового застосування. Головною проблемою є дуже низька температура кипіння H_2 : він закипає близько $-252,882\text{ }^\circ\text{C}$. Досягнення таких низьких температур вимагає значної енергії.

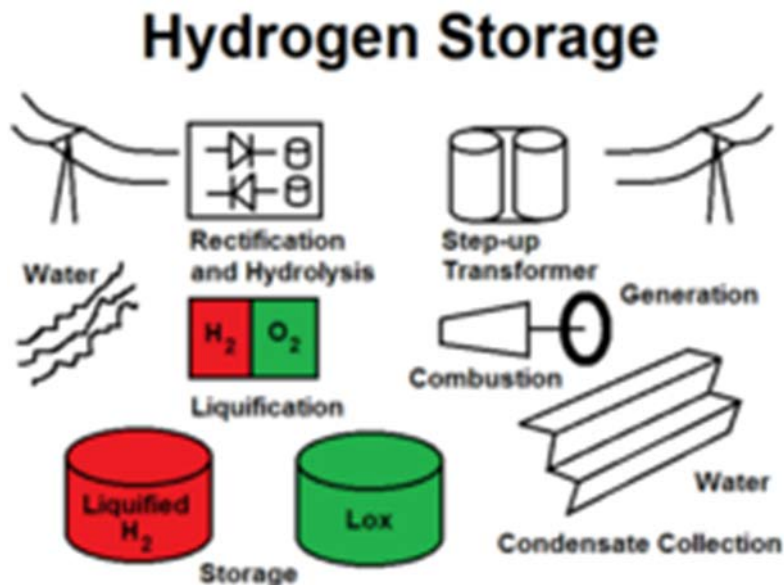


Рис. 4.42. Підземні сховища рідкого водню в комунальних масштабах

https://uk.wikijaa.ru/wiki/Hydrogen_storage

Стиснений та зріджений водень. Стиснений водень є формою зберігання, при якій газ водню утримується під тиском для збільшення щільності зберігання. Стиснений водень у водневих резервуарах при 350 бар та 700 бар використовується для систем водень-баків у транспортних засобах, заснованих на технології композиційного вуглецю типу IV [204] Виробники автомобілів розробляли це рішення, наприклад, Honda [205] або Nissan [206].

Рідкий водень зберігається в резервуарах для автомобілів, що виробляють, наприклад, BMW Hydrogen 7. Японія має місце зберігання

рідкого водню (LH₂) у порту Кобе [207]. Водень зріджується зниженням його температури до -253 °С, подібно до скрапленого природного газу, який зберігається при -162 °С.

Зберігання хімічних речовин. Зберігання хімічних речовин може забезпечити високу продуктивність зберігання завдяки високій щільності зберігання.

Досліджено велику кількість систем зберігання хімічних речовин. Ілюстративні сполуки для зберігання - це вуглеводні, гідриди бору, аміак, і алан тощо [208]. Найбільш перспективним хімічним підходом є електрохімічне зберігання водню, оскільки виділення водню можна контролювати за рахунок поданої електроенергії [209]. Більшість перелічених вище матеріалів можна безпосередньо використовувати для електрохімічного зберігання водню.

Наноматеріали пропонують перевагу для систем зберігання водню. Наноматеріали пропонують альтернативу, яка долає два основні бар'єри сипучих матеріалів, швидкість сорбції та температуру викиду. Покращення кінетики сорбції та можливості зберігання можна завдяки катализатору. Швидкість сорбції водню покращується в наномасштабі завдяки короткій відстані дифузії порівняно з сипучими матеріалами. Вони також мають сприятливі відношення площі поверхні до об'єму.

Температура вивільнення матеріалу визначається як температура, при якій починається процес десорбції. Енергія або температура, що викликають вивільнення, впливає на вартість будь-якої стратегії зберігання хімічних речовин. Якщо водень пов'язаний занадто слабо, тиск, необхідний для регенерації, високий, тим самим нівелюючи будь-яку економію енергії. Планові показники для бортових водневих паливних систем складають приблизно <100 °С для випуску та <700 бар для підзарядки (20–60 кДж/моль Н₂) [210].

Металеві гідриди. Металеві гідриди, як от MgH₂, NaAlH₄, LiAlH₄, LiH, LaNi₅H₆, TiFeH₂, аміачний боран, і гідрид паладію являють собою джерело накопиченого водню.

Органічні водневі носії. Ненасичені органічні сполуки можуть зберігати величезну кількість водню. Ці рідкі органічні водненосії (ЛОНС) гідруються для зберігання і знову дегідруються, коли потрібна енергія/водень. Використовуючи ЛОНС, можна досягти відносно високої щільності гравіметричного зберігання, а загальна енергетична ефективність вища, ніж для інших варіантів зберігання хімічних речовин, таких як отримання метану з водню [211]. Для гідрування та дегідрування ЛОНС потрібні катализатори [212].

Циклоалкани. Дослідження ЛОНС були зосереджені на циклоалканах на ранній стадії з їх відносно високою ємністю водню (6-8 мас.%). Гетероциклічні ароматичні сполуки (або N-гетероцикли) також підходять для цього завдання. Сполукою, яка є результатом досліджень ЛОНС, є N-

етилкарбазол (NEC) [213] але існують і багато інших [214]. Дибензилтолуол, який вже використовується як теплоносії у промисловості, був визначений як потенційний ЛОНС. Широкий діапазон рідини від $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ (температура плавлення) до $390\text{ }^{\circ}\text{C}$ (точка кипіння) та щільність зберігання водню $6,2\%$ мас. дибензилтолуолу ідеально підходить як матеріал ЛОНС [215] Мурашина кислота була запропонована як перспективний матеріал для зберігання водню з $4,4\%$ мас водню [216].

Прямий паливний елемент ЛОНС, заснований на концепції з'єднання ЛОНС-DIPAFС, є дуже привабливим рішенням для бортового виробництва електричної енергії в мобільних додатках [217].

N-гетероцикли. Температура, необхідна для гідрування та дегідрування, значно знижується для гетероциклів проти простих карбоциклів [218]. Серед усіх *N*-гетероциклів насичена-ненасичена пара додекагідро-*N*-етилкарбазолу (12H-NEC) та NEC розглядається як перспективний варіант для зберігання водню з досить великим вмістом водню ($5,8\%$ мас.) [219].

Мурашина кислота. Мурашина кислота є високоефективним матеріалом для зберігання водню, хоча щільність H_2 низька. Мурашина кислота містить 53 г л^{-1} водню при кімнатній температурі та атмосферному тиску. За масою, чиста мурашина кислота зберігає $4,3\%$ мас. водню. Чиста мурашина кислота - це рідина з температурою спалаху $69\text{ }^{\circ}\text{C}$ (порівняння: бензин $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, етанол $13\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Вуглеводи. Вуглеводи (полімерний $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$) звільняє H_2 в біореформаторі, опосередкованому ферментним коктейлем - біотрансформацією безклітинного синтетичного шляху. Вуглеводи забезпечують високу щільність зберігання водню у вигляді рідини з м'яким тиском та криогенними обмеженнями: його також можна зберігати у вигляді твердого порошку. Вуглеводи - це найпоширеніший у світі поновлюваний біоресурс.

Аміак та споріднені сполуки. Аміак (NH_3) звільняє H_2 у відповідному каталітичному риформінгу. Аміак забезпечує високу щільність зберігання водню у вигляді рідини з низьким тиском та криогенними обмеженнями: його також можна зберігати у вигляді рідини при кімнатній температурі та тиску при змішуванні з водою. Аміак є другою хімічною речовиною, яку найчастіше виробляють у світі, і існує велика інфраструктура для виготовлення, транспортування та розподілу аміаку. Аміак може бути реформований з отриманням водню без шкідливих відходів або змішаний з існуючим паливом і за належних умов ефективно спалений. Оскільки в аміаку немає вуглецю, побічні продукти вуглецю не утворюються; тим самим роблячи цю можливість "нейтральним до вуглецю" варіантом на майбутнє. Чистий аміак погано горить під атмосферним тиском, який є у водонагрівачах та плитах, що працюють на природному газі. При стисненні в автомобільному двигуні це придатне паливо для дещо модифікованих

бензинових двигунів. Аміак є підходящим альтернативним паливом, оскільки він має щільність енергії 18,6 МДж/кг при NTP та побічні продукти згоряння без вуглецю [220].

Аміак має кілька застережень для широкої адаптації як матеріалу для зберігання водню. Аміак - отруйний газ із сильним запахом при стандартній температурі та тиску [221]. Крім того, для досягнення комерційної життєздатності необхідні досягнення в ефективності та масштабованості розкладу аміаку, оскільки мембрани паливних елементів дуже чутливі до залишкового аміаку, а сучасні методи розкладання мають низькі показники виходу [222]. Для каталізації реакції розкладу аміаку можуть бути використані різноманітні перехідні метали, найефективнішими з яких є рутеній. Очищення водню можна досягти кількома способами. Водень можна відокремити від аміаку, що не прореагував, за допомогою проникної мембрани, селективної воднем [223]. Він також може бути очищений за допомогою адсорбції аміаку [224].

Гідразин. Гідразин розпадається в клітині і утворюється азот і водень [225]. Гідриди кремнію та гідриди германію також є кандидатами для матеріалів для зберігання водню, оскільки вони можуть піддаватися енергетично сприятливій реакції, утворюючи ковалентно пов'язані димери з втратою молекули водню [226].

Амінні борани. До 1980 р. було досліджено кілька сполук для зберігання водню, включаючи складні борогідриди або алюмогідриди та солі амонію. Ці гідриди мають верхній теоретичний вихід водню, обмежений приблизно 8,5% по масі.

Фізичне зберігання. У цьому випадку водень залишається у фізичній формі, тобто у вигляді газу, надкритичної рідини, адсорбату або молекулярних включень. Розглянуто теоретичні обмеження та результати експериментів [50] щодо об'ємної та гравіметричної ємності скляних мікросудин, мікропористих та нанопористих середовищ, а також вимог безпеки та часу наповнення.

Пористий або шаруватий вуглець. Активоване вугілля - це високопористий аморфний вуглецевий матеріал з високою видимою поверхнею. Гідроген фізична адсорбція може бути збільшено в цих матеріалах за рахунок збільшення видимої площі поверхні та оптимізації діаметра пір приблизно до 7 Å [227]. Ці матеріали представляють особливий інтерес у зв'язку з тим, що вони можуть бути виготовлені з відходів, таких як недопалки, які показали великий потенціал як попередники для зберігання водневих матеріалів великої ємності [228, 229].

Графен може ефективно зберігати водень. Водень виділяється при нагріванні до 450 °C [230].

Вуглецеві нанотрубки. Водневі носії на основі наноструктурованого вуглецю були запропоновані. Однак вміст водню становить приблизно 3,0-7,0% мас.

Щоб реалізувати вуглецеві матеріали як ефективні технології зберігання водню, вуглецеві нанотрубки були леговані MgH_2 [231] Доведено, що гідрид металу має теоретичну ємність зберігання (7,6% мас.), яка відповідає вимогі Міністерства енергетики США 6 % мас., але має обмежене практичне застосування через високу температуру вивільнення.

Металоорганічні каркаси. Металоорганічні каркаси представляють інший клас синтетичних пористих матеріалів, які зберігають водень та енергію на молекулярному рівні. MOF - це висококристалічні неорганічно-органічні гібридні структури, що містять металеві кластери або іони (вторинні будівельні одиниці) як вузли та органічні ліганди як лінкери. Оскільки існують нескінченні геометричні та хімічні варіації MOF, засновані на різних комбінаціях SBU та лінкерів досліджують, яка комбінація забезпечить максимальне поглинання водню різними матеріалами іонів металів та лінкерів.

Кріокомпресований. Кріо-стиснене зберігання водню - єдина технологія, яка відповідає цільовим показникам DOE 2015 року щодо об'ємної та гравіметричної ефективності [232].

Як і для зберігання рідини, кріопресований використовує холодний водень, щоб досягти високої щільності енергії. Однак головна відмінність полягає в тому, що, коли водень нагрівається внаслідок теплопередачі з навколишнім середовищем ("випає"), резервуар може переходити до тиску набагато вищого (до 350 бар проти пари барів для зберігання рідини). Було продемонстровано, що за допомогою кріопресованого бака можна досягти високої дальності їзди: понад 1050 км їхали з повним баком, встановленим на водневому двигуні Toyota Prius [233].

Клатратні гідрати. H_2 в клітці в клатрат гідрат вимагає дуже високого тиску, щоб бути стабільним. Ці клатрати мають теоретично максимальну щільність водню близько 5% мас. і 40 кг/м³.

Скляні капілярні масиви. Команда російських, ізраїльських та німецьких вчених спільно розробила інноваційну технологію на основі скляних капілярних решіток для безпечного вливання, зберігання та контрольованого вивільнення водню в мобільних додатках [234, 235]. Цілей DOE 2015 можна досягти за допомогою гнучких скляних капілярів та кріопресованого методу зберігання водню [236].

Скляні мікросфери. Порожністі скляні мікросфери (HGM) можна використовувати для контрольованого зберігання та виділення водню. HGM діаметром від 1 до 100 мкм, щільністю від 1,0 до 2,0 г/см³ і пористою стінкою з отворами від 10 до 1000 ангстрем розглядаються для зберігання водню. Переваги (HGM) для зберігання водню полягають у тому, що вони нетоксичні, легкі, дешеві, переробляються, оборотні, легко обробляються в атмосферних умовах, здатні зберігатися в резервуарі, а водень всередині не вибухонебезпечний [237]. Всі ці якості є сприятливими у транспортних засобах. Недоліком HGM є те, що заповнювати і вивільняти водень

ефективно при температурі не менше 300 °С, що значно збільшує експлуатаційні витрати у сховищі водню [238]. Високу температуру частково можна пояснити тим, що скло є ізолятор і маючи низьку теплопровідність заважає дифузії водню і, отже, вимагає більш високої температури для досягнення бажаного виходу.

Станом на 2020 рік, прогрес, досягнутий у вивченні НГМ, підвищив його ефективність, але він все ще не відповідає цілям Міністерства енергетики для цієї технології. Робочі температури як для адсорбції, так і для виділення водню є найбільшим бар'єром для комерціалізації [239].

Стаціонарне сховище водню. На відміну від мобільних додатків, щільність водню не є великою проблемою для стаціонарних застосувань.

Підземне зберігання водню це практика зберігання водню в печерах, соляних куполах і виснажених нафтогазових родовищах. Велика кількість газоподібного водню зберігалася в печерах протягом багатьох років без будь-яких труднощів [240]. Зберігання великої кількості рідкого водню під землею може функціонувати як акумулятор енергії в мережі. У німецькому тематичному дослідженні щодо зберігання водню в соляних печерах було встановлено, що якщо надлишок енергії Німеччини (7% від загальної змінної генерації відновлюваних джерел до 2025 р. та 20% до 2050 р.) буде перетворений на водень і зберігатись під землею, то для цих кількостей знадобиться близько 15 каверн 500 000 кубічних метрів кожна до 2025 року та близько 60 каверн до 2050 року - що відповідає, приблизно, одній третині кількості газових каверн, що експлуатуються в даний час у Німеччині [241]. У США лабораторії Sandia проводять дослідження щодо зберігання водню на виснажених нафтових і газових родовищах, які можуть легко поглинути велику кількість відновлюваного водню, оскільки існує близько 2,7 млн. виснажених свердловин [242].

Електричні потужності для газу. Потужність до газу це технологія, яка перетворює електричні потужності на газ-паливо. Є два методи: перший - використовувати електрику для розщеплення води і впорскувати отриманий водень в мережу природного газу; другий, менш ефективний метод використовується для перетворення вуглекислого газу і водню до метану, з використанням електролізу та Реакції Сабатьє. Третім варіантом є поєднання водню шляхом електролізу з джерелом вуглецю (або вуглекислого газу, або монооксиду вуглецю з біогаз, від промислових процесів або через прямий захоплення повітрям вуглекислий газ) через біометанування [243, 244], де біометаногени (археї) споживають вуглекислий газ та водень і виробляють метан. Цей процес є високоефективним, оскільки археї самовідтворюються і для здійснення реакції потрібне лише низькотемпературне (60 °С) тепло.

Надмірна потужність або пікова потужність, що генерується вітрогенераторами або сонячними батареями, може бути використана для балансування навантаження в енергетичній мережі.

Трубопровідне зберігання водню, де для зберігання водню використовується мережа природного газу. Перед переходом на природний газ, німецькі газові мережі працювали з використанням таунгаз, який здебільшого (60-65%) складався з водню. Накопичувальна потужність німецької мережі природного газу становить понад 200 000 ГВт рік, що вистачає на кілька місяців енергетичної потреби.

Автомобільне бортове зберігання водню. Існуючі варіанти зберігання водню вимагають великих обсягів зберігання, що робить їх непрактичними для портативних застосувань. Транспортабельність є однією з найбільших проблем у автомобільній промисловості, де системи зберігання з високою щільністю є проблематичними через проблеми безпеки.

Вимоги Міністерства енергетики США. Міністерство енергетики встановило цілі для зберігання водню на борту легких транспортних засобів. Перелік вимог включає параметри, що стосуються гравіметричної та об'ємної ємності, працездатності, довговічності та вартості. Ці цілі були встановлені в якості мети для багаторічного плану досліджень, який, як очікується, запропонує альтернативу викопному паливу [245].

Паливні елементи та зберігання. Завдяки своїм характеристикам чистого горіння водень є однією з найбільш перспективних альтернатив пального в автомобільній промисловості. Паливо на основі водню може значно зменшити викиди парникові гази. Три обмежувальні фактори для використання водневих паливних елементів включають ефективність, розмір та безпечно зберігання газу на борту. Інші головні недоліки цієї технології, що виникають, включають проблеми з витратами, працездатністю та довговічністю, які все ще мають бути покращені в існуючих системах. Для вирішення цих проблем було запропоновано використання наноматеріалів як альтернативний варіант традиційним системам зберігання водню. Використання наноматеріалів може забезпечити систему з більшою щільністю, яка, як очікується, збільшить межу дальності руху. Вуглецеві матеріали - головна увага дослідників. В даний час вуглецеві матеріали розглядаються для бортових систем зберігання через їх універсальність, багатофункціональність, механічні властивості та низьку вартість щодо інших альтернатив [246]. Впровадження наноматеріалів у бортові системи зберігання водню може стати головним поворотним моментом в автомобільній промисловості.

4.8.4. Перекис водню

Перекис водню (інша назва, діоксидан, оксиданіл, пергідроксична кислота, 0-гідроксиол, діоксид водню, киснева вода, пероксан) є хімічна сполука за формулою H_2O_2 [247]. У чистому вигляді це дуже блідо-блакитна

[248] рідина, трохи більш в'язка, ніж вода. Він використовується як окислювач, відбілювач і антисептик. Концентрований перекис водню або "високоєфективний пероксид", є активною формою кисню і використовувався як паливо в ракетобудуванні [249].

Перекис водню нестійкий і повільно розкладається у присутності світла. Через свою нестабільність перекис водню, як правило, зберігається з стабілізатором у слабокислому розчині у пляшці темного кольору. Перекис водню міститься в біологічних системах, включаючи людський організм. Ферменти, що використовують або розкладають перекис водню, класифікуються як пероксидази.

Властивості: хімічна формула H_2O_2 ; молярна маса 34,0147 г/моль; зовнішній вигляд - дуже світло-блакитний колір, безбарвний у розчині; запах - трохи гострий; щільність - 1,11 г/см³ (20 °С, 30% (мас.) розчин) [250]; точка плавлення -0,43 ° С; точка кипіння - 150,2 °С (розкладається); розчинність у воді – змішується; теплоємність (С.) - 1,267 Дж/(г К) (газ), 2,619 Дж/(г К) (рідина); точка займання – незаймистий.

У 1994 році було світове виробництво H_2O_2 становила близько 1,9 млн. тонн і зросла до 2,2 млн. у 2006 р., [251] більшість з яких була в концентрації 70% або менше.

Перекис водню трапляється у поверхневих водах, підземних водах та в атмосфері. Він утворюється при освітленні або природній каталітичній дії речовин, що містяться у воді. Морська вода містить від 0,5 до 14 мкг/л перекису водню, прісна вода від 1 до 30 мкг/л і повітря від 0,1 до 1 частини на мільярд [252].

Перекис водню як паливо. Висока концентрація H_2O_2 позначається як "пероксид з високим тестом" (ПВТ). Його можна використовувати як монопропелент (не змішується з паливом) або як окислювальний компонент в двопропеленовій ракеті (рис. 4.43.).

Використання в якості монопропеленту дає перевагу розкладанню перекису водню концентрацією 70–98% на пару та кисень. Пропелент закачується в реакційну камеру, де каталізатор, зазвичай срібний або платиновий екран, викликає розкладання, утворюючи пару при температурі понад 600 °С, яка викидається через насадка, що генерує тягу.

Перекис був першим основним монопропелентом, прийнятим для використання в ракетних програмах. Гідразин врешті - решт замінили застосування двигуна - перекису водню монопропелентом, головним чином, завдяки збільшенню питомого імпульсу на 25%. Гідразин (токсичний) та перекис водню (менш токсичн) - єдині два монопропеленти (крім холодних газів), які були широко прийняті та використовувались для рушійних та енергетичних систем.

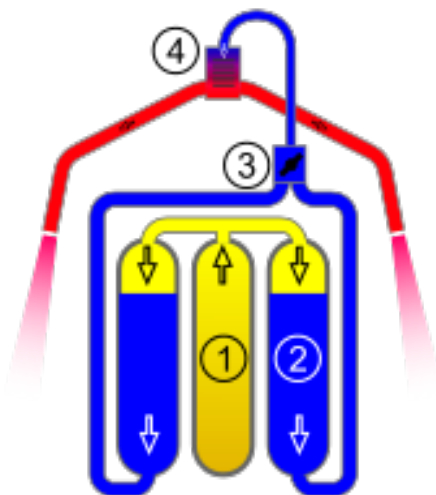


Рис. 4.43. Рухайна система перекису водню та ракетного поясу, що використовується в реактивному пакеті

Як біпропелент, H_2O_2 розкладається для палива як окислювач. Залежно від палива можна досягти питомих імпульсів до 3,5 кН с/кг. Він також може використовуватися для регенеративного охолодження ракетних двигунів. Перекис дуже успішно використовувався як окислювач у німецьких ракетних двигунах Другої світової війни.

У 1940 - 1950-х р.р. перекис водню був використаний в підводних човнах. Проте виявилось, що він вимагає занадто багато технічного обслуговування в порівнянні з дизель-електричними енергосистемами. Деякі торпеди використовували перекис водню як окислювач або пропелент. Помилка оператора при використанні перекисно-водневих торпед була названа можливою причиною загибелі російського підводного човна «Курськ» [253] SAAB Underwater Systems виробляє торпеду з 2000 року. Ця торпеда, яку використовують ВМС Швеції, живиться від поршневого двигуна, що приводиться в дію перекисом водню, як окислювачем і гасом, як паливом в біпропелентній системі [254, 255].

4.8.5. Технологія «Потужність до газу» - Power-to-Gas (P2G)

«Потужність до газу» (часто скорочено P2G) - це технологія, яка використовує електричні потужності для утворення газоподібного палива [256]. При використанні надлишкової потужності від вітрогенерації, технологію іноді називають «вітрові газу».

Більшість систем P2G використовують електроліз для виробництва водню. Водень можна використовувати безпосередньо [257], або на подальших етапах (відомі як двоступеневі системи P2G), що можуть перетворити водень у синтезатор, метан [258] або LPG [259]. Існують також

одноступінчасті системи P2G для отримання метану, такі як технологія оборотних твердих оксидних елементів (ReSOC)[260].

Газ може бути використаний як хімічна сировина або перетворений назад в електроенергію за допомогою звичайних генераторів, таких як газові турбіни [261]. Енергія до газу дозволяє зберігати та транспортувати енергію від електроенергії у вигляді стисненого газу, часто використовуючи існуючу інфраструктуру для довгострокового транспортування та зберігання природного газу. P2G часто вважають найбільш перспективною технологією сезонного зберігання відновлюваної енергії [262, 263].

Зберігання та транспорт енергії. Системи подачі газу можуть бути розгорнуті як доповнення до вітряних парків або сонячно-електричної генерації. Надлишок потужності або потужність, що не досягає піку, що виробляється вітрогенераторами або сонячними батареями потім можуть використовуватися годинами, днями або місяцями пізніше для виробництва електричної енергії для електричної мережі. Перед переходом на природний газ, німецькі газові мережі працювали з використанням таунгазу, який на 50–60% складався з водню. Накопичувальна потужність німецької мережі природного газу становить понад 200000 ГВт-год, що вистачає на кілька місяців енергетичної потреби. Для порівняння, потужність усіх німецьких насосних електростанцій складає лише близько 40 ГВт-год. Зберігання природного газу - це зріла галузь, яка існує з вікторіанських часів. Потреба в потужності зберігання в Німеччині оцінюється у 16 ГВт у 2023 році, 80 ГВт у 2033 році та 130 ГВт у 2050 році [264]. Витрати на зберігання за кіловат-годину оцінюються в 0,10 євро для водню та 0,15 євро для метану [265].

Існуюча транспортна інфраструктура природного газу вигідно транспортує величезну кількість газу на великі відстані за допомогою трубопроводів. Зараз вигідно транспортувати природний газ між континентами, використовуючи Носії СПГ. Транспортування енергії через газову мережу здійснюється із значно меншими втратами (<0,1%), ніж в електромережі (8%). Ця інфраструктура може транспортувати метан, вироблений P2G, без модифікацій, а також можливо використовувати його для водню. Використання існуючих трубопроводів природного газу щодо водню вивчався проектом ЕС NaturalHy [266] та США ДОУ [258]. Технологія змішування також використовується в HCNG.

Ефективність. У 2013 р ефективність «туди-назад» запасу енергії для газу було значно нижче 50%, при цьому водневий шлях міг досягти максимальної ефективності ~ 43% та метану ~ 39% за допомогою електростанцій із комбінованим циклом. Якщо когенерація використовує установки, що виробляють як електроенергію, так і тепло, ефективність може бути вище 60%, але все ще менше, ніж насосна гідроаккумуляторна батарея [267]. Однак є потенціал для підвищення ефективності зберігання електроенергії та газу. У 2015 році в дослідженнях, опублікованих в «Енергетика та екологічні науки» встановлено, що за допомогою оборотних

твердооксидних електрохімічних елементів і переробки відпрацьованого тепла в процесі зберігання забезпечує підвищення ефективності електроенергії в обидва кінці понад 70% за низьких витрат [268]. Дослідження 2018 року, в якому також використовувались реверсивні твердооксидні паливні елементи під тиском та аналогічна методологія, виявило, що ефективність зворотних переходів (потужність до потужності) може бути до 80% [269].

Усі поточні системи P2G використовують електроенергію для розщеплення води у водень та кисень за допомогою електролізу. У системі "потужність до водню" отриманий водень впорскується в мережу природного газу або використовується на транспорті чи в промисловості, а не для виробництва іншого типу газу [270] (рис. 4.44.).

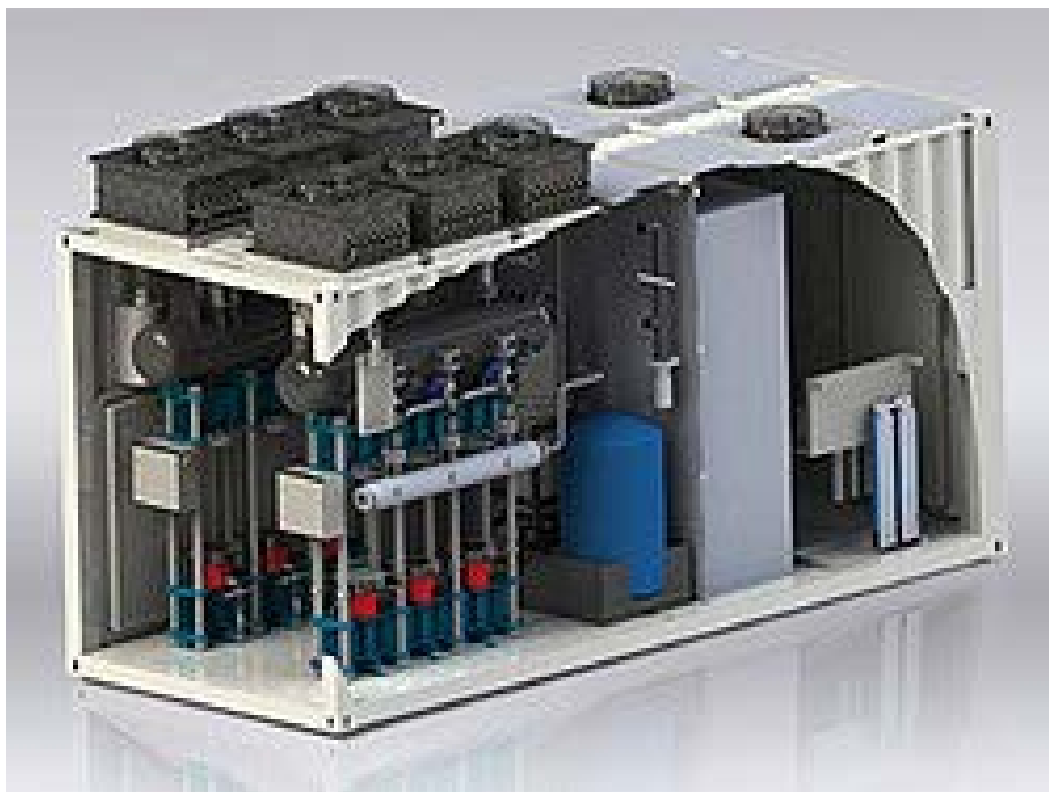


Рис. 4.44. Агрегати HGas компанії ITM Power, які генерують водень, що безпосередньо вводиться в газову мережу як енергія газу

Таблиця 4.3. - Загальна ефективність перетворення енергії використанням електролізу води і метанацією для отримання метану [271]

Паливо	Ефективність	Умови
Шлях: Електроенергія → Газ		
Гідроген	54–72 %	стиснення 200 бар
Метан (SNG)	49–64 %	
Гідроген	57–73 %	стиснення 80 бар (трубопровід природного газу)
Метан (SNG)	50–64 %	
Гідроген	64–77 %	без стиснення
Метан (SNG)	51–65 %	
Шлях: Електроенергія → Газ → Електроенергія		
Гідроген	34–44 %	стиснення 80 бар до 60% повертається до електроенергії
Метан (SNG)	30–38 %	
Шлях: Електроенергія → Газ → Електроенергія та тепло (когенерація)		
Гідроген	48–62 %	80 бар стиснення та електроенергія / тепло на 40/45%
Метан (SNG)	43–54 %	

Електроенергія на газ та інші схеми накопичення енергії для зберігання та використання відновлювальної енергії є частиною Energiewende (німецької програми енергетичного переходу) [272].

Інжекція мережі без стиснення. Ядром системи є протоніообмінна мембрана (PEM) електролізера. Електролізер перетворює електричну енергію в хімічну, що в свою чергу полегшує накопичення електрики. Газозмішувальна установка забезпечує, щоб частка водню в потоці природного газу не перевищувала двох об'ємних відсотків, що є технічно допустимим максимальним значенням, коли АЗС знаходиться в локальній розподільчій мережі. Електролізер подає воднево-метанову суміш під тим самим тиском, що і газорозподільна мережа, а саме 3,5 бар [273].

Потужність до метану. Система подачі метану поєднує водень, отриманий з води, з діоксидом вуглецю для отримання метану [274] за допомогою реакції метанації, такої як реакція Сабатьє або біологічне метанування, що призводить до додаткових втрат у 8% на перетворення енергії. Потім метан може подаватися в мережу природного газу, якщо досягнуті вимоги до чистоти (рис. 4.45.) [275].

Мікробна метанація. Біологічне метанування поєднує в собі обидва процеси, електролізу води для утворення водню і подальшого процесу приєднання CO₂ для створення метану. Під час цього процесу використовуються метаноутворюючі мікроорганізми (метаногенні археї або метаногени) [276, 277]. Ця мікробна реакція відбувається в умовах навколишнього середовища, тобто кімнатної температури та рН7, при

ефективності, яка зазвичай досягає 80-100% [278, 279]. Однак метан утворюється повільніше, ніж у реакції Сабатьє, через нижчі температури.

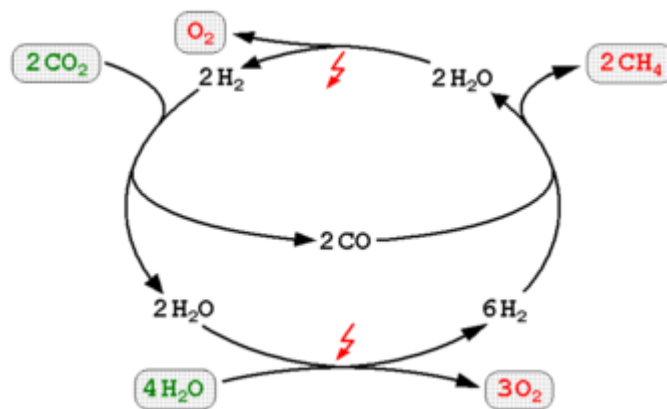


Рис. 4.45. Метанація CO_2 електролітично отриманим воднем

<https://uk.wikijaa.ru/wiki/power-to-gas>

Виробництво зрідженого газу. Метан можна використовувати для отримання зрідженого газу шляхом синтезу LPG з частковим зворотом гідрування при високому тиску і низькій температурі. LPG, в свою чергу, можна перетворити на алкилат що є домішкою до бензину, оскільки він має виняткові антидетонаційні властивості та забезпечує чисте горіння [280].

Потужність до їжі. Синтетичний метан, вироблений з електроенергії, також може бути використаний для економічного виробництва багатих на білок кормів для великої рогатої худоби, птиці та риби шляхом культивування *Methylococcus capsulatus* культури бактерій з мінімальним використанням землі та води [281, 282, 283]. Вуглекислий газ, що виробляється як побічний продукт з цих установок, може бути перероблений при утворенні синтетичного метану. Подібним чином, кисневий газ, що утворюється як побічний продукт при електролізі води та метанації, може бути використаний при вирощуванні культури бактерій. За допомогою цих інтегрованих установок великий потенціал відновлюваної сонячної/вітроенергетичної енергії може бути перетворений на високоцінні харчові продукти без забруднення води або викидів парникового газу [284].

Покращення біогазу до біометану. У третьому способі діоксид вуглецю на виході з генератора деревного газу або біогазової установки після модернізації біогазу змішується з продукованим воднем з електролізера для отримання метану. Вільне тепло, яке надходить від електролізера, використовується для зменшення витрат на опалення в біогазовій установці. Домішки вуглекислого газу, води, сірководню та твердих частинок повинні бути видалені з біогазу, якщо газ використовується для зберігання в трубопроводах, щоб запобігти пошкодженню [258].

Потужність синтезатора. Сингаз являє собою суміш водню та чадного газу. Він використовувався з вікторіанських часів, коли його виробляли із вугілля та називали "таунгазом". Система для виробництва синтетичного газу використовує водень із системи для створення синтетичного газу (рис. 4.46.).



Рис. 4.46. Процес подачі енергії на синтезатор

<https://uk.wikijaa.ru/wiki/power-to-gas>

4.8.6. Оксид ванадію (V) - Vanadium(V) oxide

Оксид ванадію (V) є неорганічна сполука з формула V_2O_5 (інші імена: пентаоксид диванадію, п'ятиокис ванадію, ванадичний ангідрид) [285]. Загальновідомий як пентоксид ванадію - це тверда речовина коричневого/жовтого кольору, хоча коли щойно випадає в осад з водного розчину, його колір насичено-оранжевий. Через його високий ступінь окислення, це одночасно амфотерний оксид і окислювач. З промислової точки зору це найважливіша сполука ванадію, що є основним попередником сплавів ванадію і є широко використовуваним промисловим каталізатором [286] (рис. 4.47.).

Мінеральна форма цієї сполуки - щербінаїт - надзвичайно рідкісна, майже завжди зустрічається серед fumarолів. Мінерал тригідрат, $V_2O_5 \cdot 3H_2O$, також відомий під назвою навахоїт.

Ванадієві окислювально-відновлювальні батареї є різновидом акумуляторів, що використовується для накопичення енергії, включаючи великі енергетичні об'єкти, такі як вітряні ферми [287].

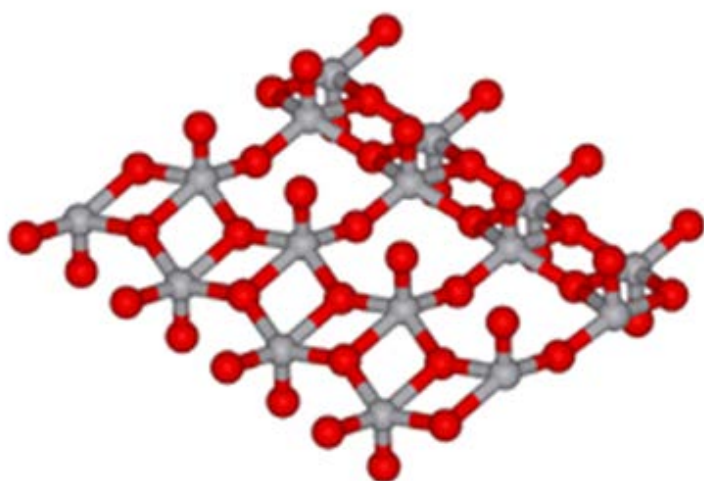


Рис. 4.47. Оксид ванадію (V)

[https://uk.wikijaa.ru/wiki/vanadium\(v\)_oxide](https://uk.wikijaa.ru/wiki/vanadium(v)_oxide)

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 4

1. Накопичення енергії. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%B8%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D1%96%D1%97.
2. Зберігання енергії - Energy storage. URL: https://uk.wikijaa.ru/wiki/Energy_storage.
3. Вугілля та його особливості. URL: <https://svoi.city/articles/58772/vugillya-ta-jogo-osoblivosti>.
4. Вугілля. Тривале зберігання кам'яного вугілля. URL: <https://jak.waykun.com/articles/vugillja-trivale-zberigannja-kam-janogo-vugillja.html>.
5. Нафтосховища. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Нафтосховище>.
6. Резервуар нафтовий. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Резервуар_нафтовий#.
7. Резервуарний парк. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Резервуарний_парк.
8. Зберігання природного газу. URL: <https://www.naftogaz.com/business/natural-gas-storage-business-unit/>
9. Підземні сховища природного газу в Україні. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Підземні_сховища_природного_газу_в_Україні.
10. Газгольдер. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Газгольдер>.
11. Wild, Matthew, L. Wind Drives Growing Use of Batteries, New York Times, July 28, 2010, pp.B1. URL: <https://www.nytimes.com/2010/07/28/business/energy-environment/28storage.html>.
12. Compressed Air Energy Storage. Pacific Northwest National Laboratory. April 2013.
13. Compressed Air Energy Storage: Theory, Resources, And Applications For Wind Power. Архів оригіналу за січень 19, 2012.
14. URL: <http://www.answers.com/topic/solution-mining?cat=technology>.
15. Ocean Compressed Air Energy Storage (OCAES) Integrated with Offshore Renewable Energy Sources.

16. Безтопковий паровоз. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/railway/177/%D0%91%D0%95%D0%A1%D0%A2%D0%9E%D0%9F%D0%9E%D0%A7%D0%9D%D0%AB%D0%99>.
17. Бестопочный паровоз. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Бестопочный_паровоз.
18. Супермаховик. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Супермаховик>.
19. Накопичення енергії в мережі. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Накопичення_енергії_в_мережі.
20. Energy Storage Plant in Europe announced in Midlands. Department of Business, Enterprise and Innovation. 26 березня 2015. Архів First Hybrid-Flywheel оригіналу за 28 листопада 2016.
21. New energy storage plant could 'revolutionise' renewable sector. The Guardian. Архів оригіналу за 4 December 2016.
22. Joint European Torus facility – Flywheel details. Архів оригіналу за 1 February 2014.
23. David Hamilton. Terremark Installs Space-Saving Flywheel UPS in New Data Center. Web Host Industry Review. Архів оригіналу за 28 квітня 2010.
24. EDA – Electricidade dos Açores. Архів оригіналу за 28 листопада 2007.
25. Coral Bay PowerStore Flywheel Project. DOE Global Energy Storage Database. Архів оригіналу за 26 серпня 2017.
26. Від чого залежить потенціальна енергія піднятого над Землею тіла? URL: <https://znanija.com/task/35778245>.
27. Зберігання енергії - Energy storage. URL: https://uk.wikijaa.ru/wiki/Energy_storage#Solid_mass_gravitational.
28. 5 способів хранения энергии и насколько они эффективны. URL: <https://kosatka.media/category/blog/news/5-sposobov-hraneniya-energii-i-naskolko-oni-effektivny>.
29. Три ключові технології накопичення енергії, які допоможуть перейти на використання відновлювальних джерел. URL: <https://alternative-energy.com.ua/uk/tri-klyuchovi-tehnologi%D1%97-nakopichennya-energi%D1%97-yaki-dopomozhut-perejti-na-vikoristannya-vidnovlyuvalnih-dzherel/>.
30. Гідроакумулятор. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Гідроакумулятор>.
31. Гідроакумуляюча електростанція. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Гідроакумуляюча_електростанція#.

32. Електричний конденсатор. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Електричний конденсатор](https://uk.wikipedia.org/wiki/Електричний_конденсатор).
33. Іоністор. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Іоністор>.
34. Надпровідниковий магнітний акумулятор. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Надпровідниковий магнітний акумулятор](https://uk.wikipedia.org/wiki/Надпровідниковий_магнітний_акумулятор).
35. Cheung K.Y.C, Cheung S.T.H, Navin De Silvia R.G, Juvonen M.P.T, Singh R, Woo J.J. Large-Scale Energy Storage Systems. Imperial College London: ISE2, 2002/2003.
36. Глікоген. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Глікоген>.
37. Ali H., Anwar M, Ahmad T., Chand N. (2006). Diabetes Mellitus from Antiquity to Present Scenario and Contribution of Greco-Arab Physicians. JISHIM 5: 46–50.
38. Bilous, Rudy W (2010). Handbook of diabetes (вид. 4th). Wiley-Blackwell. с. 5. ISBN 978-1-4051-8409-0.
39. Nelson D.L., Cox M.M. (2008). Lehninger Principles of Biochemistry (вид. 5th). W. H. Freeman. ISBN 978-0-7167-7108-1.
40. Prescott L.M. (2002). Microbiology (вид. 5th). McGraw–Hill. ISBN 0-07-282905-2.
41. Marieb EN, Hoehn K (2006). Human Anatomy & Physiology (вид. 7th). Benjamin Cummings. ISBN 978-0805359091.
42. В. М. Поліщук, С. Є. Тарасенко, С. М. Волошин Принципи виробництва біоетанолу // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК Збірник наукових праць. — 2011, Вип. 166, ч.2.
43. Лікарські рослини: Енциклопедичний довідник/ Відп. ред. А. М. Гродзінський.—К.: Видавництво «Українська енциклопедія» ім. М. П. Бажана, Український виробничо-комерційний центр «Олімп», 1992.— 544с. ISBN 5-88500-055-7.
44. Крохмаль. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/ Крохмаль](https://uk.wikipedia.org/wiki/Крохмаль).
45. Товстуха Є. С. Фітотерапія. — К.: Здоров'я, 1990.-304 с., іл., 6,55 арк. іл. ISBN 5-311-00418-5.
46. Скурихин И. М., Нечаев А. П. Все о пище с точки зрения химика: Справ. издание. — М.: Высш.шк. 1991. — 288 с. ISBN 5-06-000673-5.
47. Производство сахаристых веществ / В. В. Петрушевский, Е. Г. Бондарь, Е. В. Винокурова — К.: Урожай,1989 — 168с. ISBN 5-337-00407-7.

48. «АГРОСФЕРА» випуск #32 (484) від 15.08.2011 «Крохмаль та крохмалепродукти».
49. В. П. Кухар. Біоресурси — потенціально сировина для промислового органічного синтезу / Катализ и нефтехимия Сборник научных трудов. — 2007, № 15.
50. Серегин С. Н. Продукция из крахмалосодержащего сырья в балансе сахаристых веществ России // Пищевая промышленность. — 2004. — № 1 — С. 48-54.
51. Шпаар Д., Быкин А., Дрегер Д. и др. Картофель / Под редакцией Д.Шпаара. — Мн.: ЧУП «Орех», 2004, 465 с.
52. Електричний_акумулятор. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Електричний_акумулятор.
53. Алабышев А. Ф., Вячеславов П. М., Гальнбек А. А., Животинский П. Б., Ротинян А. Л., Федотьев Н. П. Прикладная электрохимия. Л., Издательство «Химия» 1962. 536 с. (с.:483).
54. Алабышев А. Ф., Вячеславов П. М., Гальнбек А. А., Животинский П. Б., Ротинян А. Л., Федотьев Н. П. Прикладная электрохимия. Л., Издательство «Химия» 1962. 536 с. (с.:483).
55. How it's Made (Discovery) — Как это делается (выпуск 95).
56. В Нідерландах побудували сховище ємністю 20 МВт-год для зберігання надлишку «сонячної» електроенергії. URL: <https://ecotown.com.ua/news/V-Niderlandakh-pobuduvaly-skhovyshche-yemnistyuu-20-MVt-hod-dlya-zberihannya-nadlyshku-sonyachnoyi-el/>.
57. Как устроен проточный аккумулятор. URL: <https://best-energy.com.ua/support/battery/be-210-b>.
58. Проточна батарея - Flow battery. URL: https://uk.wikijaa.ru/wiki/Flow_battery.
59. IBM увеличила производительность серверов в 10 раз. URL: https://elektrovesti.net/interesting/588_vse-o-protchnykh-akkumulyatorakh.
60. UltraBattery. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/UltraBattery/>
61. Hund, T.; Clark, N.; Vasa, W. (2008). Marincic, Nikola (ed.). UltraBattery Test Results for Utility Cycling Applications. International Seminar on Double Layer Capacitors And Hybrid Energy Storage Devices. Redox Engineering, LLC. pp. 195–207. Retrieved 20 December 2013.
62. ALABC UltraBattery Hybrid Surpasses 100,000 Miles of Fleet Duty, The Advanced Lead Acid Battery Consortium, June 2013. Retrieved 20 December 2013.

63. "UltraBattery". CSIRO. Retrieved 19 March 2016.
64. Nakajima, Hidehito; Honma, Tokunori; Midorikawa, Kiyoshi; Akasaka, Yuichi; Shibata, Satoshi; Yoshida, Hideaki; Hashimoto, Kensuke; Ogino, Yusuke; Tezuka, Wataru; Miura, Masaru; Furukawa, Jun; Lam, L. T.; Sugata, Sumio (March 2013). "Development of UltraBattery" (PDF). Furukawa Review. The Furukawa Battery Co., Ltd (43, Smart Grid). ISSN 1348-1797. Retrieved 12 November 2014.
65. Ferreira, Summer; Baca, Wes; Hund, Tom; Rose, David (28 September 2012). Life Cycle Testing and Evaluation of Energy Storage Devices (PDF). 2012 DOE Energy Storage Program Peer Review and Update Meeting. U.S. Department of Energy, Office of Electricity Delivery & Energy Reliability, Energy Storage Systems (ESS) Program. Retrieved 20 December 2013.
66. Moseley, Patrick T.; Garche, Jürgen; Parker, C.D.; Rand, D.A.J. (24 February 2004). "Chapter 17: VRLA Batteries in New Generation Road Vehicles". Valve Regulated Lead Acid Batteries. Elsevier. pp. 556–557. ISBN 978-0-444-50746-4.
67. "Sandia National Laboratories, Carbon-Enhanced VRLA Batteries" (PDF). 10 October 2011. Retrieved 25 February 2015.
68. Parkinson, Giles (31 October 2012). "How King Island may be a blueprint for our future grid". Renew Economy Magazine. Retrieved 22 August 2014.
69. "UltraBattery". CSIROpedia. CSIRO. Retrieved 19 March 2016.
70. Furukawa, J.; Takada, T.; Monma, D.; Lam, L.T. (2010). "Further demonstration of the VRLA-type UltraBattery under medium-hybrid electric vehicles duty and development of the flooded-type UltraBattery for micro-hybrid electric vehicle applications". Journal of Power Sources. 195 (4): 1241–1245. Bibcode:2010JPS...195.1241F. doi:10.1016/j.jpowsour.2009.08.080.
71. "Hydro Tasmania". King Island Renewable Energy. Retrieved 22 August 2014.
72. Kanellos, Michael (13 September 2013). "Why Data Centers Could Be Good For The Grid". Forbes. Retrieved 7 January 2015.
73. "FURUKAWA BATTERY REPORT 2013"). Retrieved 7 January 2015.
74. Акумулятор тепла. URL:
[https://uk.wikipedia.org/wiki/Акумулятор_тепла.](https://uk.wikipedia.org/wiki/Акумулятор_тепла)
75. Роман Польовий, Андрій Басс, Андрій Лесь. КРІОГЕННИЙ ДВИГУН, ЯК АЛЬТЕРНАТИВА ДЛЯ ДВЗ/ ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ.- Матеріали І науково-практичної

- онлайн-конференції 28 квітня 2016.-Львів, ВСП Львівський автомобільно-дорожній коледж Національного університету «Львівська політехніка» 2016. С. 43 – 45.
76. Миниханов Р. Н., Коготин С. А., Дегтярёв Г. Л., Гафуров Р. А. Научно-техническое и производственное обеспечение развития автомобильной отрасли // Труды II междунар. научно-практ. конф. «АВТОМОБИЛЬ И ТЕХНОСФЕРА» – Казань, 2001. – С. 13-19.
77. <http://www.autocentre.ua/ac/service/new-technologies/krioavtomobil-budem-ezdit-na-azote3080.html>.
78. Юлдашев А.А., Юнусов К.А., Фомин В.П. Состояние и перспективы использования природного газа в качестве моторного топлива // Труды II междунар. научно-практ. конф. «АВТОМОБИЛЬ И ТЕХНОСФЕРА» – Казань, 2001. – С. 181-186.
79. Криогенный двигатель. URL: <http://venture-biz.ru/katalog-proektov/alternativnye-istochniki-energii/274-kriogennyu-dvigatel>.
80. Криогенный двигатель Дэрмана. URL: <http://www.sciencedebate2008.com/cryogenic-engine-dermana>.
81. Евтектика. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Евтектика>.
82. Акумулювання теплової енергії. URL: <http://stroytechnology.net/schkola-remonty/8152-akumyluvana-teplovoy-energii.html>.
83. Акумулятор холоду. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Акумулятор_холоду.
84. Крайнев А. А., Сериков С. А. Эффективность использования аккумуляторов естественного холода в составе холодильной установки/ VI Международная научно-техническая конференция "Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке", 2013.
85. Фазовий перехід. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/фазовий_перехід.
86. Нові матеріали з фазовим переходом. URL: <https://сахара.ua/kompaniya-statti-novi-materiali-z-fazovim-perehodom-heatsel-ta-heatstixx-dlja-vdoskonalennja>.
87. Сезонне накопичення теплової енергії - Seasonal thermal energy storage. URL: https://uk.wikijaa.ru/wiki/Seasonal_thermal_energy_storage.
88. Андерссон, О.; Хагг, М. (2008), "Результат 10 - Швеція - Попередній проект сезонного сховища тепла для ІТТ Flygt, Еммабода, Швеція" (PDF), Результат 10 - Швеція - Попередній проект сезонного сховища тепла для ІТТ Flygt, Еммабода, Швеція, IGEIA - Інтеграція

- геотермальної енергії у промислове застосування, отримано 21 квітня 2013.
89. Паксой, Х .; Снайдерс, А.; Стайлз, Л. (2009), "Система холодного зберігання теплової енергії водоносного шару в коледжі Річарда Стоктона" (PDF), Система холодного зберігання теплової енергії водоносного шару в коледжі Річарда Стоктона, EFFSTOCK 2009 (11-й Міжнародний) - Зберігання теплової енергії для ефективності та стійкості, Стокгольм.
90. Гелін, С.; Норделл, Б. (1998), "Тест теплової реакції - вимірювання теплових властивостей твердих порід на місці" (PDF), Тест теплової реакції - вимірювання теплових властивостей твердих порід на місці, Avdelningen för vattenteknik. Лулео, Лулео Технічний університет.
91. Вонг, Білл (28 червня 2011 р.), "Сонячна спільнота Дрейка Лендінга" (PDF), Сонячна спільнота Drake Landing, IDEA / CDEA District Energy / CHP 2011 Conference, Торонто, стор. 1–30, отримано 21 квітня 2013.
92. Накопичення енергії. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Накопичення_енергії.
93. Wayback Machine. web.archive.org. 4 березня 2016. Процитовано 16 березня 2019.
94. Braedstrup Solar Park in Denmark is now a reality!. web.archive.org. 26 січня 2013. Процитовано 16 березня 2019.
95. Solar pond. URL: https://uk.wikijaa.ru/wiki/Solar_pond.
96. Г. Бойл. Відновлювана енергія: енергія для сталого майбутнього, 2-е вид.
97. С, Нільсен; А, Акбарзаде; Дж, Ендрюс; НРЛ, Бесерра; Р, Голдінг (2005), Історія науки та технології сонячних ставків, Матеріали Всесвітньої конференції сонячного світла 2005 р., Орlando, Флорида.
98. Сонячний градієнт Сонячні ставки, Tegijn, архівовано з Оригінальний 26 жовтня 2008 року, отримано 28 листопада 2009.
99. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.680.7971&rep=rep1&type=pdf>.
100. Power station harnesses Sun's rays. URL: <http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/6616651.stm>.
101. URL: <http://solarsteamtrain.com/cms/> В архіві 30 серпня 2008 року в Зворотна машина.
102. Andrew Betts Brown. URL: http://www.gracesguide.co.uk/Andrew_Betts_Brown.

103. Saeed, R.M., Schlegel, J.P., Castano, C. and Sawafta, R., 2018. Підготовка та посилення теплових характеристик нового (твердого до гелю) евтектичного РСМ, стійкого до форми, модифікованого нанографеновими тромбоцитами. Журнал зберігання енергії, 15, с.91-102.
104. Saeed, R.M., Schlegel, J.P., Castano, C., Sawafta, R. and Kuturu, V., 2017. Приготування та термічні характеристики метилпальмітату та евтектичної суміші лауринової кислоти як матеріалу для фазової зміни (PCM). Журнал зберігання енергії, 13, с.418-424.
105. Якобсон, Марк З .; Делуччі, Марк А .; Камерон, Мері А .; Фрю, Бетані А. (2015). "Недороге рішення проблеми надійності мережі зі 100% проникненням переривчастого вітру, води та сонячної енергії для всіх цілей". Праці Національної академії наук. 112 (49): 15060–5. Bibcode:2015PNAS..11215060J. дої:10.1073 / шт.1510028112. PMC 4679003. PMID 26598655.
106. Матьєсен, Б.В.; Лунд, Х .; Коннолі, Д.; Венцель, Х .; Østergaard, Р.А .; Меллер, Б .; Нільсен, С.; Ріджан, І .; Карно, П.; Сперлінг, К .; Хвеллпунд, Ф.К. (2015). "Розумні енергетичні системи для узгоджених 100% відновлюваних джерел енергії та транспортних рішень". Прикладна енергія. 145: 139–54. дої:10.1016 / j.apenergy.2015.01.075.
107. Хеннінг, Ганс-Мартін; Пальцер, Андреас (2014). "Комплексна модель німецького сектору електроенергетики та теплової енергії в майбутній енергетичній системі з домінуючим внеском технологій відновлюваної енергетики - Частина I: Методологія". Відгуки про відновлювану та стійку енергетику. 30: 1003–18. дої:10.1016 / j.rser.2013.09.012.
108. Вонг Б. (2011). Сонячна спільнота Дрейка Лендінга В архіві 4 березня 2016 року в Зворотна машина. Презентація на конференції IDEA / CDEA District Energy / CHP 2011. Торонто, 26–29 червня 2011 р.
109. Проект SunStor-4, Марсталь, Данія. Сонячна система централізованого опалення, яке має міжсезонне ямне сховище, розширюється.
110. "Зберігання теплової енергії в ThermalBanks". ICAX Ltd, Лондон. В архіві від оригіналу 14 листопада 2011 р. Отримано 21 листопада 2011.

111. "Канадське сонячне співтовариство встановило новий світовий рекорд з енергоефективності та інновацій" (Прес-реліз). Природні ресурси Канади. 5 жовтня 2012 р.
112. Харе, Самер; Dell'Amico, Марк; Найт, Кріс; Макгарі, Скотт (2012). "Підбір матеріалів для високотемпературного зберігання прихованої теплової енергії". Сонячні енергетичні матеріали та сонячні елементи. 107: 20–7. дої:10.1016 / j.solmat.2012.07.020.
113. Харе, С .; Dell'Amico, М .; Найт, С .; McGarry, S. (2013). "Вибір матеріалів для розумного зберігання енергії при високій температурі". Сонячні енергетичні матеріали та сонячні елементи. 115: 114–22. дої:10.1016 / j.solmat.2013.03.009.
114. Манчіні, Том (10 січня 2006). "Переваги використання розплавленої солі". Національна лабораторія Сандії. Архів від Оригінальний 14 липня 2011 р.
115. Джонс, Б. Г.; Рой, Р. П.; Боль, Р. В. (1977). "Система накопичення енергії розплавленої солі - техніко-економічне обґрунтування". Теплообмін в енергозбереженні; Матеріали зимових щорічних зборів: 39–45. Bibcode:1977htec.proc ... 39J.
116. Biello, David (18 лютого 2009). "Як використовувати сонячну енергію вночі". Науковий американський. В архіві від оригіналу 13 січня 2017 року.
117. Ерліх, Роберт (2013). "Тепловий накопичувач". Поновлювані джерела енергії: перший курс. Преса CRC. стор. 375. ISBN 978-1-4398-6115-8.
118. "Сонячні голови до пагорбів, коли баштові технології перевертаються".. В архіві від оригіналу 7 листопада 2017 року.
119. "Використання інкапсульованих солей фазової зміни для концентрованої сонячної електростанції" (PDF). В архіві (PDF) від оригіналу 10 липня 2016 року.
120. Мітран, Рауль-Августин; Лінку, Даніель; Бухлцеану, Лучан; Бергер, Даніела; Матей, Крістіан (15 вересня 2020). "Стабілізовані за формою матеріали для зміни фаз із використанням розплавлених матриць евтектичної NaNO_3 - KNO_3 та мезопористого діоксиду кремнію". Сонячні енергетичні матеріали та сонячні елементи. 215: 110644. дої:10.1016 / j.solmat.2020.110644. ISSN 0927-0248.

121. Параболічна коритна технологія зберігання теплової енергії В архіві 1 вересня 2013 року в Зворотна машина Параболічна корита сонячної енергетичної мережі. 4 квітня 2007 р.
122. "Найбільша у світі сонячна теплова електростанція із сховищем виходить в Інтернет - CleanTechnica". cleantechnica.com. 14 жовтня 2013 року. Отримано 9 травня 2018.
123. Патент США №4266970, "Адсорбційне сонячне опалення та зберігання"; Винахідник: Джон М. Герра; Надано 26 травня 1981 року.
124. Гебремедхін, Аламаєху; Зінько, Хеймо. "Сезонні теплосховища в системах централізованого опалення" (PDF). Лінчепінг, Швеція: Лінчепінгський університет. В архіві (PDF) від оригіналу 13 січня 2017 року.
125. "Перший у світі сезонний сховище енергії такого роду заплановано для гірських печер Круунуворенранта". 30 січня 2018 року.
126. "Перший у світі: Siemens Gamesa розпочинає експлуатацію своєї інноваційної системи зберігання електротермічної енергії". Отримано 27 липня 2019.
127. "Проект" Сіменс "з випробування нагрітих гірських порід для масштабного, недорогого зберігання теплової енергії". Службове занурення. 12 жовтня 2016 року. В архіві від оригіналу 13 жовтня 2016 року.
128. "Nyt energilager skal opsamle grøn energi i varme sten". Інженіорен. 25 листопада 2016 року. В архіві від оригіналу 26 листопада 2016 року.
129. "Веб-сайт з термічним зберіганням сплаву із змішуваним проміжком". В архіві від оригіналу 12 березня 2018 року.
130. Роусон, Ентоні; Кісі, Еріх; Суго, Хебер; Фідлер, Томас (1 жовтня 2014 р.). "Ефективна провідність сплавів зазору змішуваності Cu – Fe та Sn – Al". Міжнародний журнал тепло- і масообміну. 77: 395–405. дої:10.1016 / j.ijheatmasstransfer.2014.05.024.
131. "Архівна копія" (PDF). В архіві (PDF) від оригіналу 14 травня 2016 року. Отримано 20 лютого 2017. Експериментальне дослідження електричного нагрівателя.
132. Роджер Гаррабін, аналітик BBC Environment (2 жовтня 2012 р.). "Рідке повітря" дає надію на зберігання енергії". BBC News, Science and Environment. BBC. В архіві від оригіналу 2 жовтня 2012 року.
133. "Розплавлений кремній, що використовується для зберігання теплової енергії". Інженер. В архіві від оригіналу 4 листопада 2016 року.

134. Система накопичення енергії на основі кремнію з піску". www.powerengineeringint.com. В архіві від оригіналу 4 листопада 2016 року.
135. "Теплова система Isentropic зберігає енергію в масштабі мережі". В архіві від оригіналу 22 липня 2015 року. Отримано 19 червня 2017.
136. "Зберігання енергетики: пропускане посилання в енергетичних обов'язках Великобританії". IMechE. стор. 27. В архіві від оригіналу 12 липня 2014 року.
137. "Накачуване теплонагрівач" (PDF). В архіві (PDF) від оригіналу 22 січня 2017 року.
138. "Технологія PHES від Isentropic". 20 жовтня 2014 року. В архіві від оригіналу 12 жовтня 2017 року.
139. "Теплова система Isentropic зберігає енергію в масштабі мережі". В архіві від оригіналу 22 липня 2015 року.
140. "Технологія PHES від Isentropic". 20 жовтня 2014 року. В архіві від оригіналу 12 жовтня 2017 року.
141. 141 "Накачуване теплонагрівач" (PDF). В архіві (PDF) від оригіналу 22 січня 2017 року.
142. "Використання інкапсульованих солей фазової зміни для концентрованої сонячної електростанції" (PDF). В архіві (PDF) від оригіналу 10 липня 2016 року.
143. Райнер, Клозе. "Сезонне накопичення енергії: літня спека на зиму". Цюрих, Швейцарія: Empa. В архіві від оригіналу 18 січня 2017 року.
144. Проект MERITS Компактне зберігання тепла. "ЗАСОБИ". В архіві від оригіналу 15 серпня 2017 року.
145. Де Йонг, Ард-Ян; Ван Вліє, Лоренс; Hoegaerts, Christophe; Роландс, Марк; Кайпери, Рууд (2016). "Термохімічне зберігання тепла - від щільності зберігання реакцій до щільності зберігання системи". Енергетичні процедури. 91: 128–37. дої:10.1016 / j.egypro.2016.06.187.
146. Брюніг, Торге; Крекіч, Крістіян; Брун, Клеменс; Пітшніг, Рудольф (2016). "Калориметричні дослідження та структурні аспекти іонних рідин при проектуванні сорбційних матеріалів для зберігання теплової енергії". Хімія: європейський журнал. 22 (45): 16200–16212. дої:10.1002 / xim.201602723. PMC 5396372. PMID 27645474.
147. Колпак, Олексій М .; Гроссман, Джеффри К. (2011). "Функціоновані азобензолом вуглецеві нанотрубки як сонячне теплове паливо з високою

- енергією". Нано-літери. 11 (8): 3156–62. Bibcode:2011NanoL..11.3156K. doi:10.1021 / nl201357n. PMID 21688811.
148. Біопаливо – Biofuel. URL: <https://uk.wikijaa.ru/wiki/biofuel>.
149. Biofuels explained. Ethanol and biomass-based diesel https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=biofuel_home.
150. Karatzos, Sergios; Макміллан, Джеймс Д.; Саддлер, Джек Н. (липень 2014). Потенціал та проблеми використання біопалива (PDF). Завдання MEA з біоенергетики 39. с. 2. ISBN 978-1-910154-07-6. Звіт T39-T1. В архіві (PDF) від оригіналу 12 листопада 2017 року.
151. The Information Source for Alternative Fuels and Advanced Vehicles. URL: <https://afdc.energy.gov/>.
152. Що таке біопаливо? Визначення та значення". URL: BusinessDictionary.com.
153. "Що таке - і хто виробляє - біопаливо 2G, 3G та 4G?: Дайджест біопалива - біопаливо, біодизель, етанол, водорості, ятрофа, зелений бензин, зелений дизель та біорудні щоденні новини". 21 травня 2010 р.
154. Біопаливо - біопаливо другого покоління". URL: biofuel.org.uk. Отримано 18 січня 2018.
155. Джавед, М.Р., Білал, М.Дж., Ашраф, М.У.Ф., Вакар, А., Мехмуд, М.А., Саїд, М. і Нашат, Н. (2019) "Мікрководорості як вихідна сировина для виробництва біопалива: сучасний стан та перспективи" В: 5 найкращих внесків у дослідження та розробку енергетики, третє видання, глава 2, Avid Science. ISBN 978-93-88170-77-2. CC-BY icon.svg.
156. Біопаливо з водоростей: плюси і мінуси ставкової накіпії". Thomasnet®.
157. Біомаса - морські вітрові електростанції = морські водорості = біопаливо. Журнал «Відновлювані джерела енергії», в основі журналістики чистої енергетики. 14 вересня 2020 р.
158. Грінвелл, Х.С. ; Лоренс, Л. М. Л. ; Щитки, Р. Дж. ; Ловітт, Р. З. ; Флінн, К. Дж. (2009). "Внесення мікрководоростей до списку пріоритетів біопалива: огляд технологічних проблем". Журнал інтерфейсу Королівського товариства. 7 (46): 703–726. doi:10.1098 / rsif.2009.0322. PMC 2874236. PMID 20031983.
159. Ян, Цзя; Сюй, Мін; Чжан, Сюечжі; Ху, Цян; Зоммерфельд, Мілтон; Чень, ЙонШень (2010). "Аналіз життєвого циклу виробництва біодизелю з мікрководоростей: водний слід і баланс поживних речовин" (PDF). Технологія біоресурсів. 10 (1): 159–65. doi:10.1016 / j.biortech.2010.07.017. PMID 20675125.

160. Корнелл, Клейтон Б. (29 березня 2008 р.). "Перший завод з виробництва біодизельних водоростей виходить в експлуатацію: 1 квітня 2008 року". Газ 2.0.
161. Дінь, Л. Т. Т. ; Го, Ю. ; Маннан, М. С. (2009). "Оцінка стійкості виробництва біодизеля з використанням багатокритеріального прийняття рішень". Екологічний прогрес та стійка енергетика. 28: 38–46. дої:10.1002 / еп.10335.
162. Демірбас, А. (2011). "Біодизель із водоростей, біофіксація вуглекислого газу мікрowodоростями: вирішення проблем забруднення". Прикладна енергія. 88 (10): 3541–3547. дої:10.1016 / j.apenergy.2010.12.050.
163. Демірбас, Арізона (2009). "Недорогі сировинні сировини для виробництва біодизеля". Енергетична освіта Наука та технологія Частина А: Енергетична наука та дослідження. 23: 1–13.
164. Уессоф, Ерік (19 квітня 2017 р.). "Важкі уроки з міхура на біопаливі великих водоростей".
165. Редман, Г., Центр Андерсона. "Оцінка AD на фермі у Великобританії", Національний центр непродовольчих культур, 9 червня 2008.
166. "БІОГАЗ: Жоден бик, гній не може жити вашу ферму". Farmers Guardian (25 вересня 2009 р.): 12. General OneFile. Гейл.
167. Еванс, Г. "Рідке транспортне біопаливо - звіт про стан технологій", Національний центр непродовольчих культур, 14 квітня 2008.
168. Електроенергія з деревини завдяки поєднанню газифікації та твердооксидних паливних елементів, Кандидатська дисертація Флоріана Нагеля, Швейцарський федеральний технологічний інститут Цюріх, 2008.
169. Енергікунськап | Lär dig mer om energi - E.ON.
170. Інформація про пожежу біоетанолу камін на біоетанолі. (2009).
171. Vörjesson.P. та ін. 2013, ЗВІТ f3 2013: 13, с 170.
172. Шмідт-Пор, К. (2015). "Чому горіння завжди екзотермічно, даючи близько 418 кДж на моль O₂", J. Chem. Освіт. 92: 2094–2099. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00333>.
173. "Бутилфуел, ТОВ". Butanol.com. 15 серпня 2005 року.
174. Еванс, Джон (14 січня 2008). "Біопаливо націлено вище". Біопаливо, біопродукти та біорафінація (BioFPR).
175. Понтреллі, Семмі; Фрік, Райлі К.Б. ; Сакураї, Сана Субхан Мемон; Путрі, Састія Прама; Фіц-Гіббон, Сорель; Чунг, Метью; Ву, Сінь-І; Чень, Ю-Джу; Пеллегріні, Маттео; Фукусакі, Ейчиро; Ляо, Джеймс К. (2018). "Спрямована еволюція штаму реструктурує метаболізм для виробництва

- 1-бутанолу в мінімальних середовищах". *Метаболічна інженерія*. 49: 153–163. дої:10.1016 / j.ymben.2018.08.004. PMID 30107263.
176. "Прес-реліз Perstop: Verdis Polaris Aura - друге покоління B100 - вдосконалений зелений". Архів від Оригінальний 4 серпня 2014 року.
177. "ADM Біодизель: Гамбург, Ліп, Майнц". Biodiesel.de.
178. RRI Limited для заправних станцій з біодизелем. "Ласкаво просимо до заправних станцій для біодизеля". Biodieselfillingstations.co.uk. Архів від Оригінальний 14 липня 2018 року.
179. Nylund.N-O & Koronen.K. 2013. Паливно-технологічні альтернативи для автобусів. Загальна енергоефективність та ефективність викидів. Завдання МЕА з біоенергетики.
180. Факти про біопаливо". *Netrcar.org*. Архів від Оригінальний 20 травня 2011 р.
181. ФУТУРИСТ, Уїлл Турмонд. Липень – серпень 2007 року.
182. (Avril Group: Звіт про діяльність за 2014 рік, 58 с.).
183. *EurObserv'ER 2014*, стор. 4).
184. Браун, Роберт; Дженніфер Холмгрен. "Швидкий піроліз та модернізація біомасел" (PDF). Отримано 15 березня 2012.][46 "Альтернативні та вдосконалені види палива". Міністерство енергетики США.
185. Knothe, Gerhard (2010). "Біодизель та відновлювані джерела палива: порівняння". Прогрес у галузі науки про енергетику та горіння.
186. "Альтернативні та вдосконалені види палива". Міністерство енергетики США.
187. Джессіка, Еберт. "Прориви у виробництві зеленого бензину". *Журнал біомаси*.
188. Альбрехт, КО; Hallen, RT (березень 2011 р.). "Короткий огляд літератури про різні шляхи отримання біовідновлюваного палива з ліпідів для Національного альянсу консорціуму NAAB з передових біопалив та біопродуктів" (PDF). Підготовлено Міністерством енергетики США.
189. "Pgeem робить великі інвестиції в зелений дизель у порту Гетеборг - порт Гетеборг". Серпень 2014. Архів з Оригінальний 1 серпня 2014 року.
190. Еванс, Г. "Рідке транспортне біопаливо - звіт про стан технологій", Національний центр непродовольчих культур, 14 квітня 2008.
191. Рок, Керрі; Моріс Корпельшук (2007). "Вплив біоефірів на бензин". Цифрова переробка. Отримано 15 лютого 2014.
192. Біопаливо - типи біопалива - біоефіри". biofuel.org.uk.

193. Директива Ради 85/536 / ЄЕС від 5 грудня 1985 року про економію сирої нафти за рахунок використання заміників паливних компонентів у бензині". Eur-lex.europa.eu. Отримано 14 липня 2010.
194. Сукла, Міртунджай Кумар; Галлада Баскар; А.К. Джейн; С.К. Сингал; М.О. Гарг. "Біоефіри як транспортне паливо: огляд" (PDF). Індійський інститут нафти Деградун. Отримано 15 лютого 2014.
195. Що таке біоефіри?" (PDF). . Європейська асоціація паливних оксигенатів. Архів від Оригінальний (PDF) 6 березня 2014 року.
196. Бензин". Агентство з охорони навколишнього середовища.
197. Гідрат – Hydrate. URL: <https://uk.wikijaa.ru/wiki/Hydrate>.
198. IUPAC, Компендіум хімічної термінології, 2-е вид. ("Золота книга") (1997). Інтернет-виправлена версія: (2019) "Зволоження". doi:10.1351 / goldbook.H02876.
199. Суров, Артем О., Микита А. Васильєв, Андрій Васильович Чураков, Юлія Струг, Франциска Еммерлінг та Німець Л. Перлович. "Тверді форми саліцилату ципрофлоксацину: поліморфізм, шляхи формування та термодинамічна стабільність". *Crystal Growth & Design* (2019). doi:10.1021 / acs.cgd.9b00185.
200. Грінвуд, Норманн Н.; Ерншоу, Алан (1997). Хімія елементів (2-е видання). Баттерворт-Хайнеман. стор. 625. ISBN 978-0-08-037941-8.
201. Номенклатура неорганічної хімії. Рекомендації IUPAC 2005. Таблиця IV Мультиплікативні префікси, с. 258.
202. Alavi S., Susilo R., Ripmeester J. A. (2009). "Пов'язування мікроскопічних властивостей гостя з макроскопічними спостережуваними в гідратах клатрату: водневий зв'язок гостя-господаря" (PDF). *Журнал хімічної фізики*. 130 (17): 174501. Bibcode:2009JChPh.130q4501A. doi:10.1063/1.3124187. PMID 19425784.
203. Зберігання водню - Hydrogen storage. URL: https://uk.wikijaa.ru/wiki/Hydrogen_storage.
204. Еберле, Ульріх; Мюллер, Бернд; фон Гельмольт, Рітмар (2012). "Електричні транспортні засоби на паливних елементах та воднева інфраструктура: статус 2012". *Енергетика та екологічні науки*. 5 (10): 8780. doi:10.1039 / C2EE22596D. Отримано 2014-12-19.
205. "Чіткість FCX". Honda у всьому світі. Отримано 2012-01-08.
206. "Модель X-TRAIL FCV '03". Nissan-global.com. Архів від Оригінальний 17.09.2010. Отримано 2012-01-08.

207. Саввідес, Нік (11.01.2017). "Японія планує використовувати імпортований скраплений водень для заправки Олімпійських ігор у Токіо 2020". Чесна гра. Морський портал IHS Markit. Отримано 22 квітня 2018.
208. Суніта, Сатьяпал (2007). "Національний проект Міністерства енергетики США щодо зберігання водню: прогрес у задоволенні вимог транспортних засобів, що працюють на водні". Каталіз сьогодні. 120 (3–4): 246–256. дої:10.1016 / j.cattod.2006.09.022.
209. Ефтехарі, Алі; Байзенг, Ікло (2017). "Електрохімічне зберігання водню: можливості для зберігання палива, акумуляторів, паливних елементів та суперконденсаторів". Міжнародний журнал водневої енергетики. 42 (40): 25143–25165. дої:10.1016 / j.ijhydene.2017.08.103.
210. Німанн, Майкл У .; Срінівасан, Сеша С .; Фані, Аяла Р .; Кумар, Ашок; Госвами, Д. Йогі; Стефанакос, Еліас К. (2008). "Наноматеріали для зберігання водню: огляд". Журнал наноматеріалів. 2008: 1–9. дої:10.1155/2008/950967.
211. Мюллер, Бенджамін (2011). "Energiespeicherung mittels Methan und energietragenden Stoffen - ein thermodynamischer Vergleich" [Зберігання енергії CO₂ Метанізація та енергетичні сполуки: термодинамічне порівняння]. Chemie Ingenieur Technik (німецькою мовою). 83 (11): 2002–2013. дої:10.1002 / цитувати.201100113.
212. Він, Тен; Пей, Цицун; Чен, Пінг (2015-09-01). "Рідкі органічні водневі носії". Журнал енергетичної хімії. 24 (5): 587–594. дої:10.1016 / j.jchem.2015.08.007.
213. Тейхманн, Даніель; Арльт, Вольфганг; Вассершайд, Пітер; Фрейманн, Реймонд (2011). "Майбутнє енергопостачання на основі рідких органічних водневих носіїв (ЛОНС)". Енергетика та екологічні науки. 4 (8): 2767–2773. дої:10.1039 / C1EE01454D.
214. Патент США 7351395, "Зберігання водню шляхом оборотного гідрування пі-кон'югованих субстратів".
215. Брюкнер, Ніколь (2013). "Оцінка промислово застосовуваних теплоносійних рідин як рідких органічних систем, що несуть водень". ChemSusChem. 7 (1): 229–235. дої:10.1002 / cssc.201300426. PMID 23956191.
216. Граземанн, Мартін; Лоренчі, Габор (18.07.2012). "Мурашина кислота як джерело водню - останні події та майбутні тенденції". Енергетика та екологічні науки. 5 (8): 8171–8181. дої:10.1039 / C2EE21928J.

217. Сієві, Габріель; Гебуртіг, Деніз (2019-05-24). "На шляху до ефективної концепції паливних елементів з рідким органічним воднем". Енергетика та екологічні науки. 12 (7): 2305–2314. дої:10.1039 / C9EE01324E.
218. Згусток, Ерік; Ейзенштейн, Оділ; Крабтрі, Роберт Х. (30.05.2007). Хімічний зв'язок: дої: 10.1039 / B705037V. PMID 17534500.
219. Еблагон, Катажина Морава; Там, Кін; Цанг, Шик Чі Едман (2012). "Порівняння каталітичних показників підтримуваного рутенію та родію для гідрування 9-етилкарбазолу для зберігання водню". Енергетика та екологічні науки. 5 (9): 8621. дої:10.1039 / C2EE22066K.
220. AVERY, W (1988). "Роль аміаку у водневій економіці". Міжнародний журнал водневої енергетики. 13 (12): 761–773. дої:10.1016/0360-3199(88)90037-7. ISSN 0360-3199.
221. Аміачна економіка В архіві 2008-05-13 о Зворотна машина. Memagazine.org (10.07.2003).
222. Ягня, Кристіна Е.; Долан, Майкл Д.; Кеннеді, Даніель Ф. (2019-02-05). "Аміак для зберігання водню; огляд каталітичного розкладання аміаку та розділення та очищення водню". Міжнародний журнал водневої енергетики. 44 (7): 3580–3593. дої:10.1016 / j.ijhydene.2018.12.024. ISSN 0360-3199.
223. Долан, Майкл Д.; Віано, Девід М.; Ленглі, Метью Дж.; Ягня, Кристіна Е. (2018-03-01). "Трубчасті ванадієві мембрани для очищення водню". Журнал мембранних наук. 549: 306–311. дої:10.1016 / j.memsci.2017.12.031. ISSN 0376-7388.
224. Парк, Су-Цзін; Кім, Бюнг-Джо (2005-11-15). "Видалення аміаком волокон активованого вугілля, що утворюються шляхом оксифторування". Журнал колоїдної науки та інтерфейсу. 291 (2): 597–599. дої:10.1016 / j.jcis.2005.05.012. ISSN 0021-9797.
225. "Ліквідний актив". Інженер. 2008-01-15. Архів від Оригінальний по 09.12.2012. Отримано 2015-01-09.
226. Zong, J., J. T. Mague, and R. A. Pascal, Jr., Exceptional Steric Congestion in an, in-Bis (hydrosilane), J. Am. Хім. Соц. 2013, 135, 13235-13237][49 Ечеверія, Хорхе; Оллон, Габріель; Альварес, Сантьяго (2017). "Міжмолекулярні взаємодії в гідридах групи 14: поза C-H ••• H-C контактами". Міжнародний журнал квантової хімії. 117 (21): e25432. дої:10.1002 / ква.25432.
227. Севілья, Марта; Мокая, Роберт (21.03.2014). "Застосування енергії для активованого вугілля: суперконденсатори та накопичувач водню".

- Енергетичне середовище. Наук. 7 (4): 1250–1280. дої:10.1039 / c3ee43525c. hdl:10261/140713. ISSN 1754-5706.
228. Blankenship II, Трой Скотт; Балахмар, Нора; Мокая, Роберт (2017-11-16). "Багаті киснем мікропористі вуглеці з винятковою здатністю зберігати водень". Природні комунікації. 8 (1): 1545. Bibcode:2017NatCo ... 8.1545B. дої:10.1038 / s41467-017-01633-x. ISSN 2041-1723. PMC 5691040. PMID 29146978.
229. Бланкеншип, Трой Скотт; Мокая, Роберт (2017-12-06). "Вуглеці, отримані встик від сигарет, мають надвисоку поверхню та безпрецедентну ємність для зберігання водню" (PDF). Енергетика та екологічні науки. 10 (12): 2552–2562. дої:10.1039 / c7ee02616a. ISSN 1754-5706.
230. Графен як відповідна речовина для зберігання водню. Physicsworld.com.
231. Німанн, Майкл У .; Срінівасан, Сеша С .; Фані, Аяла Р .; Кумар, Ашок; Госвами, Д. Йогі; Стефанакос, Еліас К. (2008). "Наноматеріали для зберігання водню: огляд". Журнал наноматеріалів. 2008: 1–9. дої:10.1155/2008/950967.
232. Р. К. Ахлувалія, Т. К. Хуа, Дж. К. Пен і Р. Кумар Аналіз рівня системи варіантів зберігання водню. 2010 Огляд програми водню DOE, Вашингтон, округ Колумбія, 8–11 червня 2010 р.
233. S&TR Встановлення світового рекорду водіння за допомогою водню В архіві 2008-12-03 в Зворотна машина. Llnl.gov (12.06.2007).
234. Жеваго, Н.К .; Глібов, В.І. (2007). "Зберігання водню в капілярних масивах". Перетворення та управління енергією. 48 (5): 1554–1559. дої:10.1016 / j.enconman.2006.11.017.
235. Жеваго, Н.К.; Денисов, Є.І .; Глібов, В.І. (2010). "Експериментальне дослідження накопичення водню в капілярних решітках". Міжнародний журнал водневої енергетики. 35: 169–175. дої:10.1016 / j.ijhydene.2009.10.011.
236. Жеваго, Н. К .; Чабак, А. Ф .; Денисов, Є. І .; Глібов, В. І .; Коробцев, С. В. (2013). "Зберігання кріопресованого водню в гнучких скляних капілярах". Міжнародний журнал водневої енергетики. 38 (16): 6694–6703. дої:10.1016 / j.ijhydene.2013.03.107.
237. Далай, Східхар; Савітрі, Віджаялакшмі (26 жовтня 2017 р.). "Дослідження впливу навантаження кобальту на теплопровідність та ємність накопичення водню в порожнистих скляних мікросферах (ВГМ)".

- Матеріали сьогодні: Матеріали. 4 (11): 11608–11616. дої:10.1016 / j.matpr.2017.09.072.
238. Ці, Сяобо; Гао, Конг; Чжан, Чжанвен; Чень, Суфен; Лі, Бо; Вей, Шен (січень 2012 р.). "Виробництво та характеристика порожнистих скляних мікросфер з високою дифузійністю для зберігання водню". Міжнародний журнал водневої енергетики. 37 (2): 1518–1530. дої:10.1016 / j.ijhydene.2011.10.034. Отримано 16 листопада 2020.
239. Зарезаде Мехрізі, Маджид; Абді, Джафар; Резаказемі, Машалла; Салехі, Ехсан (10 липня 2020 р.). "Огляд нещодавніх досягнень у порожнистих сферах для зберігання водню". Міжнародний журнал водневої енергетики. 45 (35): 17583–17604. дої:10.1016 / j.ijhydene.2020.04.201. Отримано 16 листопада 2020.
240. 77 1994 - реферат ECN. Нуweb.de.
241. "Ефективне виведення енергії Північного моря на берег" (PDF). Світова енергетична рада Нідерландів. Отримано 22 квітня 2018.
242. Гердес, Джастін (2018-04-10). "Включення покинутих нафтогазових свердловин як запасів електронів". Greentech Media. Отримано 22 квітня 2018.
243. Ратхі, Акшат. "Акумулятори не можуть вирішити найбільшу в світі проблему накопичення енергії. Один стартап має рішення". qz.com. Кварц. Отримано 22 квітня 2018.
244. "Мюнхенський стартап Electrochaеа та угорська комунальна компанія MVM заснували спільне підприємство з виробництва газу". MVM Group. 24 жовтня 2016 року. Отримано 22 квітня 2018.
245. "Технічні цілі DOE для зберігання водню на борту для легких транспортних засобів". Міністерство енергетики США.
246. Хуссейн, А.К. (2015). "Застосування нанотехнологій у відновлюваних джерелах енергії - всебічний огляд та розуміння". Відгуки про відновлювану та стійку енергетику. 42: 460–476. дої:10.1016 / j.rser.2014.10.027.
247. Перекис водню - Hydrogen peroxide. URL: https://uk.wikijaa.ru/wiki/Hydrogen_peroxide.
248. Хаускрофт, Кетрін Е .; Шарп, Алан Г. (2005). Неорганічна хімія (2-е видання). Пірсон Прентис-Холл. стор. 443. ISBN 0130-39913-2.
249. Хілл, К. Н. (2001). Вертикальна імперія: історія запуску ракетно-космічної програми Великобританії, 1950–1971. Преса Імперського коледжу. ISBN 978-1-86094-268-6.

250. Істон, М. Ф. ; Мітчелл, А. Г.; Wynne-Jones, W. F. K. (1952). "Поведінка сумішей перекису водню і води. Частина 1.
251. Меллор, Джозеф Вільям (1922). Сучасна неорганічна хімія. Лонгманс, Грін і Ко, с. 192–195.
252. Офферманн, Геріберт; Дітріх, Гюнтер; Штайнер, Норберт (2000). "Wasserstoffperoxid in Umweltschutz und Synthese". *Chemie в Unserer Zeit*. 34 (3): 150. дої:10.1002 / 1521-3781 (200006) 34: 3 <150 :: AID-CIUZ150> 3.0.CO; 2-A.
253. Пастух, Стівен. "Виправлення хвороби ясен". Споживач FDA. Архів від Оригінальний 14 травня 2007 року. Отримано 7 липня 2007.
254. Вернімонт, Ерік Дж. (9–12 липня 2006 р.). Порівняння параметрів системної торгівлі монопропелентами: перекис водню проти гідразину та інших (PDF). 42-а спільна рушійна конференція та виставка AIAA / ASME / SAE / ASEE. Сакраменто, Каліфорнія Архів від Оригінальний (PDF) 10 грудня 2014 року.
255. "Архівна копія" (PDF). Архів від Оригінальний (PDF) 10 грудня 2014 року. Отримано 10 грудня 2014.
256. Потужність до газу - Power-to-gas. URL: <https://uk.wikijaa.ru/wiki/power-to-gas>.
257. Еберле, Ульріх; Мюллер, Бернд; фон Гельмольт, Рітмар (2012). "Електричні транспортні засоби на паливних елементах та воднева інфраструктура: статус 2012". *Енергетика та екологічні науки*. 5 (10): 8780. дої:10.1039 / C2EE22596D. В архіві від оригіналу 09.02.2014. Отримано 2014-12-16.
258. NREL 2013: Змішування водню в трубопровідних мережах природного газу: Огляд ключових питань.
259. "BPN Бутан - Новини пропану". В архіві від оригіналу 30 грудня 2017 року. Отримано 10 квітня 2017.
260. Mogensen MB, Chen M, Frandsen HL, Graves C, Hansen JB, Hansen KV, Nauch A, Jacobsen T, Jensen SH, Skafte TL, Sun X (вересень 2019). "Оборотні твердооксидні клітини для чистої та стійкої енергії". *Чиста енергія*. 3 (3): 175–201. дої:10.1093 / ce / zkz023.
261. "EUTurbines". www.poertheeu.eu. EUTurbines.
262. Ендрюс, Джон; Шабані, Бахман (січень 2012 р.). "Перегляд ролі водню в стійкій енергетичній економіці". *Міжнародний журнал водневої енергетики*. 37 (2): 1184–1203. дої:10.1016 / j.ijhydene.2011.09.137.
263. Штаффелл, Іен; Шахрай, Даніель; Веласкес Абад, Ентоні; Балкомб, Пол; Доддс, Пол Е. ; Екінс, Пол; Шах, Нілай; Уорд, Кейт Р. (2019). "Роль

- водню та паливних елементів у глобальній енергетичній системі". Енергетика та екологічні науки. 12 (2): 463–491. дої:10.1039 / C8EE01157E.
264. Майкл Норт, *Geschichte Мекленбург-Передня Померанія* (2008), с. 113.
265. Майкл Норт, *Балтія: історія* (2015), с. 187–189.
266. Проект NaturalHY. "Використання існуючої системи природного газу для водню". ЕКСЕРГІЯ. В архіві від оригіналу 29.10.2014. Отримано 2014-06-21.
267. Фолькер Квашнінг, *Регенеративна енергетична система. Technologie - Berechnung - Моделювання*, Hanser 2013, с.373.
268. Йенсен; та ін. (2015). "Широкомасштабне сховище електроенергії з використанням оборотних твердооксидних елементів у поєднанні з підземним сховищем CO₂ і CH₄". Енергетика та екологічні науки. 8 (8): 2471–2479. дої:10.1039 / c5ee01485a.
269. Бутера, Джакомо; та ін. (2019). "Нова система широкомасштабного зберігання електроенергії як синтетичного природного газу з використанням оборотних оксидних клітин під тиском". Енергія. 166: 738–754. дої:10.1016 / j.energy.2018.10.079.
270. Еберле, Ульріх; Мюллер, Бернд; фон Гельмольт, Рітмар (2012). "Електричні транспортні засоби на паливних елементах та воднева інфраструктура: статус 2012". Енергетика та екологічні науки. 5 (10): 8780. дої:10.1039 / C2EE22596D. В архіві від оригіналу 09.02.2014. Отримано 2014-12-16.
271. Fraunhofer -Energiewirtschaftliche und ökologische Bewertung eines Windgas-Angebotes, стор. 18.
272. Schiermeier, Quirin (10 квітня 2013 р.). "Поновлювані джерела енергії: енергетична гра Німеччини: Амбіційний план зменшення викидів парникових газів повинен усунути деякі високі технічні та економічні перешкоди". *Природа*. В архіві від оригіналу 13 квітня 2013 р. Отримано 10 квітня 2013.
273. "Архів Energiewende & Dekarbonisierung". В архіві від оригіналу 05.12.2013. Отримано 2013-12-05.
274. "DNV-Kema Systems аналізує потужність газу" (PDF). Архів від Оригінальний (PDF) по 24.01.2015. Отримано 2014-08-21.
275. Гайб, Карім; Бен-Фарес, Фатіма-Захрае (2018). "Потужність до метану: найсучасніший огляд" (PDF). Відгуки про відновлювану та стійку

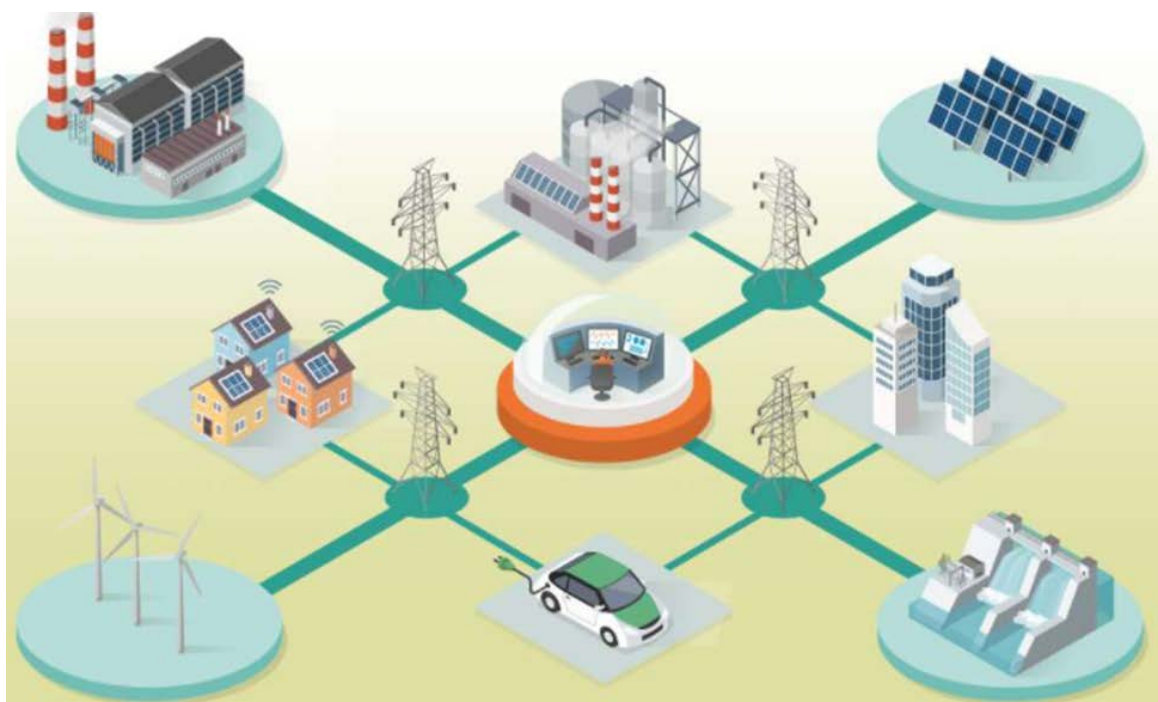
- енергетику. 81: 433–446. дої:10.1016 / j.rser.2017.08.004. Отримано 1 травня 2018.
276. Дойтцманн, Йорг З .; Сахін, Мерве; Спорманн, Альфред М. (2015). "Deutzmann, J.S .; Sahin, M.; Spormann, A. M., Позаклітинні ферменти полегшують поглинання електронів при біокорозії та біоелектросинтезі". mBio. 6 (2). дої:10.1128 / mBio.00496-15. PMC 4453541. PMID 25900658.
277. Єйтс, Метью Д.; Зігерт, Майкл; Логан, Брюс Е. (2014). "Виділення водню, що каталізується життєздатними та нежиттєздатними клітинами на біокатодах". Міжнародний журнал водневої енергетики. 39 (30): 16841–16851. дої:10.1016 / j.ijhydene.2014.08.015.
278. Маршалл, К. В.; Росс, Д. Е .; Фічот, Е. Б .; Норман, Р.С .; Травень, Х. Д. (2012). "Електросинтез товарних хімічних речовин автотрофною мікробною спільнотою". Заяв. Навколишнє середовище. Мікробіол. 78 (23): 8412–8420. дої:10.1128 / aem.02401-12. PMC 3497389. PMID 23001672.
279. Зігерт, Майкл; Єйтс, Метью Д.; Дзвони, Дуглас Ф .; Чжу, Сюпін; Спорманн, Альфред; Логан, Брюс Е. (2014). "Порівняння катодних матеріалів з дорогоцінних металів для отримання метану методом електрометаногенезу". ACS Sustainable Chemistry & Engineering. 2 (4): 910–917. дої:10.1021 / sc400520x. PMC 3982937. PMID 24741468.]
280. "BPN Бутан - Новини пропану". В архіві від оригіналу 30 грудня 2017 року. Отримано 10 квітня 2017.
281. "Виробництво біопротеїнів" (PDF). Архів від Оригінальний (PDF) 10 травня 2017 року. Отримано 31 січня 2018.
282. "Їжа, виготовлена з природного газу, скоро буде годувати сільськогосподарських тварин - і нас". В архіві від оригіналу 12 грудня 2019 року. Отримано 31 січня 2018.
283. "Нове підприємство обирає компанію Cargill в штаті Теннессі для виробництва білка Calysta FeedKind®". В архіві від оригіналу 30 грудня 2019 року. Отримано 31 січня 2018.
284. "Оцінка впливу білка FeedKind на навколишнє середовище" (PDF). Архів від Оригінальний (PDF) 2 серпня 2019 року. Отримано 20 червня 2017.
285. Оксид ванадію (V) - Vanadium(V) oxide. URL: [https://uk.wikijaa.ru/wiki/vanadium\(v\)_oxide](https://uk.wikijaa.ru/wiki/vanadium(v)_oxide).
286. Гюнтер Бауер, Фолькер Гютер, Ганс Гесс, Андреас Отто, Оскар Ройдль, Хайнц Роллер, Зігфрід Саттельбергер "Ванадій та ванадієві сполуки" в

Енциклопедії промислової хімії Уллмана, 2005, Wiley-VCH, Weinheim.
doi:10.1002 / 14356007.a27_367.

287. REDT Зберігання енергії. "Використання VRFB для відновлюваних програм".

РОЗДІЛ 5

КОМБІНОВАНІ ТА ГІБРИДНІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ НА БАЗІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ



5.1. Комбінації відновлюваних джерел енергії ВДЕ для надійного виробництва енергії

Інвестори продовжують вкладати кошти у відновлювані джерела енергії (ВДЕ). Розуміння того, що при вдосконаленні технологій та масовому виробництві фотоелементів для сонячних панелей, роторів вітроагрегатів, біогазового обладнання та акумуляторів, вартість виробленої енергії буде порівнянна з енергією від викопного палива, стимулює їх вкладення. Та ще й фактор генерації чистої відновлюваної енергії відіграє також важливу роль. Тому, інженери та вчені у постійному пошуку кращої конфігурації ВДЕ для надійного та сталого енергопостачання [1].

Відновлювана енергія – це енергія, вироблена за допомогою ресурсу, який швидко заповнює (відновляється) у результаті природного або природного процесу, що не припиняється.

З економічної точки зору відновлювані джерела енергії (ВДЕ) можна розглядати як ефективний засіб стимулювання інноваційної й ділової активності в національних економіках, створення додаткових робочих місць, формування нових значних джерел надходжень від імпорту обладнання[2].

Експерти ООН запропонували наступну класифікацію ВДЕ:

- ✓ сонячна й вітрова енергія;
- ✓ енергія від використання торфу, біомаси, включаючи відходи сільського, лісового, промислового й комунального сектору;
- ✓ енергія падаючої води, включаючи ГЕС, потужністю меншою за 1 МВт;
- ✓ геотермальна енергія;
- ✓ хвильова енергія, включаючи енергію течій, припливів і відливів, а також енергія температурних перепадів океану;
- ✓ енергія залишкового тепла землі (низькопотенціальна енергія).

Одним із ключових векторів сталого розвитку високотехнологічних країн став вибір екологічно чистої енергетики майбутнього, який включає [3]:

- ✓ застосування інноваційних принципів вироблення відновлюваної енергії, що сприяє її ефективному використанню, дасть додатковий імпульс охороні навколишнього середовища, забезпечить надійне енергопостачання й підвищення конкурентоспроможності економіки;
- ✓ енергозбереження на благо екологічно чистого майбутнього, враховуючи, що викопне паливо довгий час буде затребуване світовою енергетикою, дасть пріоритет тим інноваційним технологіям, які будуть спрямовані на зниження його шкідливого впливу на навколишнє середовище;

Розділ 5. КОМБІНОВАНІ ТА ГІБРИДНІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ НА БАЗІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

- ✓ стимулювання науково-дослідних розробок, спрямованих на впровадження екологічно чистої енергетики;
- ✓ створення джерел фінансування ВДЕ шляхом удосконалювання ринкових інструментів, включаючи податкові;
- ✓ зм'якшення наслідків кліматичних змін, шляхом вироблення необхідних заходів для розвитку ринків технологій «чистої» енергетики, підвищення їх доступності для країн, що розвиваються.

За прогнозом Міжнародного енергетичного агентства [4] (МЕА), до 2025 року споживання електроенергії у світі досягне 26 трлн. кВт/год, при цьому встановлена потужність електростанцій сягатиме 5500 ГВт, до 2035 року – 32 трлн. кВт/год, встановлена потужність електростанцій досягне 5900 ГВт. Значну роль (близько 44%) у досягненні заявлених параметрів лідери провідних держав відводять ВДЕ, оскільки традиційні способи вироблення електрики, мають обмежений первинний ресурс, завдають певної шкоди навколишньому середовищу [5].

У 2014 році за даними щорічного інвестиційного дослідження UNEP [6] глобальні інвестиції у ВДЕ досягли 290 млрд. євро, а в 2015 році цей показник перевищив 329 млрд. доларів США [7].

Наявність технологічних інновацій призвело до впровадження поліпшених виробничо-споживчих продуктів ВДЕ з меншими витратами ресурсів. В умовах достатнього вітрового і сонячного потенціалу й не завжди передбачуваних цін на нафту, а також дорогої інфраструктури для їхнього застосування, ВДЕ починають успішно конкурувати із традиційною енергетикою.

За останнє п'ятиріччя розвитку інноваційних технологій в секторі ВДЕ практично вдвічі зменшилась вартість генерації (табл. 5.1).

Таблиця 5.1. Порівняння середніх витрат на генерацію для різних видів ВДЕ в країнах ЄС в 2010 р., дол США/ у тоннах нафтового еквівалента (т.н.е)

Джерело енергії	Витрати на генерацію
Природний газ	625–950
Віддалений дизельний генератор	3000–5000
Вітер	600–1500
Біомаса	1000–1500
Фотоелектричний без підключення до мережі	2000–4500
Фотоелектричний з підключенням до мережі	4000–6500

Таким чином, збільшення обсягів виробництва ВДЕ і їх частки в енергетичних балансах сприяє підвищенню ефективності господарської діяльності різних за обсягом споживачів енергії та зміцненню довіри усередині країни – між державою, бізнесом і громадянським суспільством.

Світове співтовариство вибрало шлях до нової енергетики ВДЕ, визнало безальтернативність її інноваційного розвитку, прогнозовані світові витрати на ВДЕ до 2030 року складуть 7 трильйонів доларів [8].

Політика безальтернативного інноваційного вибору ВДЕ світовою енергетикою забезпечила введення сумарної потужності сектору ВДЕ 500 ГВт, що у півтора рази перевищило потужності всіх атомних електростанцій у світі. До 2020 року потужності виробництва електроенергії відновлюваними джерелами, що вводяться, складуть 700 ГВт. Доведено, що збільшення обсягів виробництва ВДЕ і їх частки в енергетичних балансах сприяє підвищенню ефективності господарської діяльності різних за обсягом споживачів енергії й зміцненню довіри між країнами, що включили ВДЕ в перелік стратегічних пріоритетів свого розвитку.

Автономні системи відновлюваних джерел енергії не є надійними через непостійну доступність та зміни кліматичних умов. В останні роки системи з відновлюваними джерелами енергії, такі як автономні сонячні фотоелектричні, вітрові системи були просунуті по усьому світу в порівняно більших масштабах. Ці незалежні системи не можуть забезпечити безперервне джерело енергії оскільки вони сезонні по своїй природі, фотоелектрична енергетична система не може забезпечити надійною потужністю в несонячні дні, автономна вітрова система не може задовольнити вимогам постійного навантаження внаслідок значних флуктуацій величини швидкостей вітру від години до години протягом року. Очевидно, що комбінація двох або більше відновлюваних джерел енергії більш ефективна, ніж система з одним джерелом з погляду ціни, ефективності й надійності. Така система називається гібридною відновлюваною енергетичною системою (ГВЕС) і стає елементом ринку, що найбільш швидко розвивається в усьому світі.

Як результат, використання вітрової й сонячної фотоелектричної генерації енергії стає реальністю. Однак не можна відмовлятися від інших джерел відновлюваної енергії (ВЕ) / альтернативної енергії (АЕ), технологій генерації, таких як океанська хвиля й припливи, осмотична, геотермальна, паливних елементи (ПЕ) та мікротурбін (МТ).

Загалом, гібридні системи перетворюють усю отриману енергію в один вид, звичайно електричну й/або накопичують енергію в деякому вигляді (хімічному, стисненого повітря, тепловому, механічному маховику, тощо) і

Розділ 5. КОМБІНОВАНІ ТА ГІБРИДНІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ НА БАЗІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

агрегований вихід використовується для живлення різноманітного навантаження.

Гібридизація призводить до збільшення надійності системи ВДЕ, однак передбачає оптимальний вибір джерел енергії та технологій їх відбору, що буде визначати методологію проектування таких систем для покращення експлуатаційних характеристик, розв'язання задач диспетчеризації й керування. Різні джерела генерації можуть сприяти один одному у досягненні більш високої енергетичної ефективності і/або поліпшувати функціонування.

Накопичувальний елемент це складова частина гібридної ВЕ й АЕ системи генерації енергії. Технології зберігання енергії з високою ємністю, такі як насосна гідроелектростанція, зберігання енергії стисненого повітря й зберігання водню загалом не мають швидкого часу відгуку й використовуються для довгочасного зберігання енергії/ керування повільною варіацією навантаження. З іншого боку, для реагування на короткі тимчасові перешкоди, такі як швидкі перехідні процеси при навантаженні й для прискорення навантаження, використовуються пристрої зберігання з високою швидкістю, такі як батареї, маховики, суперконденсатори й надпровідне магнітне сховище енергії (НМСЕ). Короткий огляд різних технологій генерації енергії ВЕ / АЕ й різних схем зберігання енергії, які можуть використовуватися в гібридних системах наведено у табл. 5.2.

Таблиця 5.2. Короткий огляд різних технологій генерації енергії ВЕ / АЕ і різних схем зберігання енергії

Основні технології ВУ / АУ	Варіанти накопичення енергії
Біомаса	Акумуляторна батарея
Геотермальна	Стиснене повітря
Гідро/мікрогідро	Махове колесо
Океанські припливи/Хвилі	Водень
Сонячні фотоелектричні панелі	Гідравлічні насоси
Вітер	НМСЕ
Паливний елемент	Суперконденсатор

Будь-яка комбінація технологій генерації енергії ВЕ / АЕ за належного зберігання і, можливо, у комбінації із традиційною технологією генерації, наприклад, дизель-генератором, може утворювати гібридну енергетичну систему. Наприклад, гібридна система може мати будь-яку комбінацію систем: вітроенергетичної, сонячної на базі фотоелектричних панелей, мікро-гідро, мікротурбіни, звичайного дизель-генератора,

акумуляторної батареї й сховища водню, зробленого на основі електролізу, у мережевій або автономній конфігурації.

Виходи різних джерел генерації гібридної енергетичної системи повинні координуватися й контролюватися для одержання максимальної кількості енергії.

Щоб забезпечити максимальну ефективність усієї системи, одночасно сприяючи максимальному скороченню викидів у навколишнє середовище, і в той же час мінімізуючи витрати на виробництво енергії, необхідно використовувати методи багатокритеріальної оптимізації й керування для визначення структури системи й оптимального розподілу одержуваної енергії з різних джерел.

Джерела ВЕ / АЕ мають різні робочі характеристики; тому важливо мати чітко визначену й стандартизовану структуру/процедуру для їхнього з'єднання з метою створення гібридної системи або, більш широко, мікромережа, де локальний кластер джерел розподілених джерел енергії, накопичувачів енергії й навантажень інтегруються разом і здатні автономно працювати. Робастна мікромережа також повинна мати можливість реалізації технології «включив і працюй», відповідно до якої, пристрою (DG, систему зберігання енергії або кероване навантаження), можуть бути додані в існуючу систему (microgrid), не вимагаючи реконфігурації системи для виконання своєї розробленої функції, а саме: генерації потужності, забезпечення енергоемності або здійснення контролю навантаження.

Для того, щоб вибрати оптимальну конфігурацію гібридної системи, що відповідає вимозі навантаження, оцінка повинна проводитися на основі критеріїв надійності електроживлення й вартості системи життєвого циклу.

До складу гібридних систем можуть також входити джерела теплової енергії (біогазові установки, сонячні теплові колектори) і джерела на органічному паливі (дизель-генератори), які виконують роль резервного живлення. Технологічні конфігурації можуть бути класифіковані відповідно до виду напруги у мережі: постійного, змінного струму або змішані лінії.

У гібридній системі постійного струму всі компоненти з вироблення електрики пов'язані з лініями постійного струму, від яких заряджаються батареї. Батареї повинні мати захист (контролер) від перезарядження й повного розряду. Напруга від джерел змінного струму (вітро-гідротурбіни, дизель-генератор) перетворюється в постійну за допомогою конверторів. Напруга яка виробляється у відповідності до попиту подається на навантаження постійного струму. Навантаження змінного струму живляться через інвертор.

У гібридних системах змінного струму основні джерела напруги можуть бути зв'язані прямо з лінією змінного струму або ж через додаткові конвертори для забезпечення необхідних характеристик змінного струму (актуально у разі з'єднання системи із централізованою електромережею). В

обох випадках двонаправлений інвертор контролює подачу енергії для зарядки акумуляторів, а також від акумуляторів на навантаження змінного струму. Навантаження постійного струму можуть забезпечуватися напругою від акумуляторів.

Виходячи з особливостей роботи, гібридні системи класифікуються як послідовні, що перемикаються й паралельні.

У послідовних системах акумулятори заряджаються від сонячного фотоелектричного модуля (у представленій конфігурації) або від дизель-генератора постійного струму (якщо відсутнє сонячне випромінювання). Від акумуляторів за допомогою інвертора живиться навантаження змінного струму. Система може працювати в ручному або автоматичному режимі за наявності сенсорів зарядки батарей і контролера включення дизель-генератора. Послідовна конфігурація системи має відносно просту схему й у цей час застосовується досить широко.

У якості недоліків можна відзначити часті перезарядження акумулятора, що призводить до скорочення його терміну служби, необхідність наявності батарей підвищеної ємності (для зменшення глибини розряду). Вихід з ладу інвертора призводить до повного відключення споживачів від мережі.

У гібридних системах, що перемикаються, змінна напруга споживачам може подаватися через інвертор від акумуляторів, поновлюваних джерел або від генератора змінного струму. Зарядка акумуляторів здійснюється від поновлюваних джерел або від дизель-генератора (через випрямляч). При роботі системи в автоматичному режимі контролери керування створюють необхідну конфігурацію системи, що дозволяє забезпечити безперебійне живлення споживачів і необхідний рівень заряду акумулятора.

У порівнянні з послідовною гібридна система, що перемикається, має більшу надійність в енергозабезпеченні, але, звичайно, і більшу складність.

У паралельній конфігурації гібридної системи є можливість подачі енергії споживачам незалежно кожним джерелом, що входить у систему (при малих і середніх навантаженнях), а також одночасно від усіх – при пікових навантаженнях. В останньому випадку потрібна синхронізація форми напруги на виході інвертора й генератора змінного струму. Двонаправлений інвертор забезпечує зарядку акумуляторів від генератора змінного струму й перетворення постійного струму від сонячних батарей і акумуляторів у змінний струм. Слід зазначити, що ефективна експлуатація паралельної гібридної системи вимагає складної системи керування. Однак, виходячи з більших можливостей надійного енергозабезпечення, остання конфігурація має перспективність у практичному застосуванні, особливо, коли в систему підключено кілька видів поновлюваних джерел енергії.

Розділ 5. КОМБІНОВАНІ ТА ГІБРИДНІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ НА БАЗІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

На основі вище наведеного можна відмітити наступні особливості гібридних систем, які роблять їх високоефективними і конкурентоспроможними:

- ✓ гнучкість вибору палива, надійність (використання надлишкових технологій і/або зберігання енергії), економічність, зменшення шкідливих викидів;
- ✓ можливість включення до їх складу теплових, високотужних й високоефективних пристроїв (паливні елементи, сучасні матеріали, системи охолодження, тощо);
- ✓ можливість одночасно забезпечувати підвищення якості і доступності електроенергії;
- ✓ можливість в залежності від місця знаходження включати максимальну кількість відновлюваних джерел енергії;
- ✓ забезпечення значно нижчого рівня шкідливих викидів в порівнянні з традиційними технологіями, які використовують корисні копалини;
- ✓ досягнення бажаних характеристик при найнижчій прийнятній вартості, що є ключем до прийняття ринком.

Структурна схема типової гібридної енергетичної системи з відкритим контуром на основі використання енергії вітру та сонця наведена на рис. 5.1.

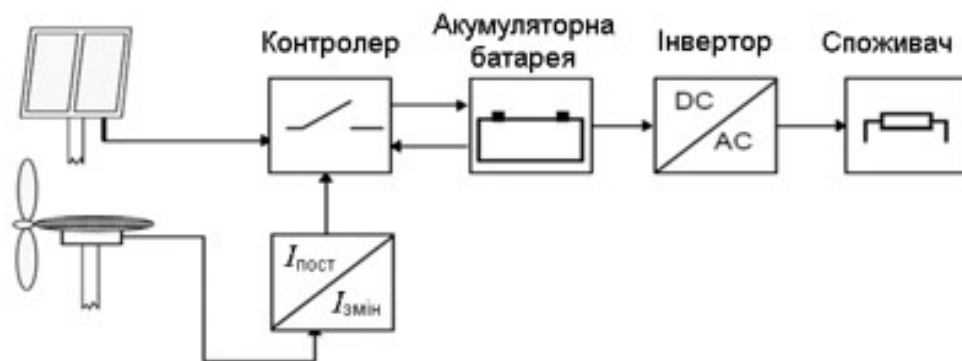


Рис. 5.1. Структурна схема типової гібридної енергетичної системи з використанням енергії вітру та сонця

Дана гібридна енергетична система складається із сонячної і вітрової енергоустановок. Потужність, створювана вітровими установками, являє собою змінний струм, але має змінну амплітуду й частоту, які потім можуть бути перетворяться в постійний струм для зарядки акумулятора. Контролер захищає акумулятор від надмірної зарядки або глибокого розряду. Оскільки висока напруга може бути використана для зниження втрат системи,

Розділ 5. КОМБІНОВАНІ ТА ГІБРИДНІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ НА БАЗІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

інвертор звичайно використовується для перетворення постійного струму низької напруги в змінний струм з напругою 220 В, частотою 50 Гц.

Контролер забезпечує реалізацію наступних функцій:

- ✓ максимізація величини електричної енергії, виробленої електричними панелями або вітрогенератором, шляхом визначення та відслідковування положення робочої точки, яка відповідає максимуму енергії (задача МРРТ);

- ✓ накопичення електричної енергії в акумуляторних батареях для забезпечення безперервної та безперебійної роботи;

- ✓ управління процесами заряду й розряду батарей;

- ✓ захист вітрогенератора від перевищення швидкості, підключаючи фіктивне навантаження на його вихід;

- ✓ ініціювання роботи дизель-генератора або підключення системи в електричну мережу (якщо є), коли відновлювана джерела енергії не можуть забезпечити достатню електроенергію;

- ✓ забезпечення накопичення та збереження інформації про локальне сонячне випромінювання: високе, низьке й середнє значення денної сонячної радіації, розраховані за один рік.

Структурна схема типової гібридної енергетичної системи на основі використання джерел сонячної та гідроенергій наведено на рис. 5.2.

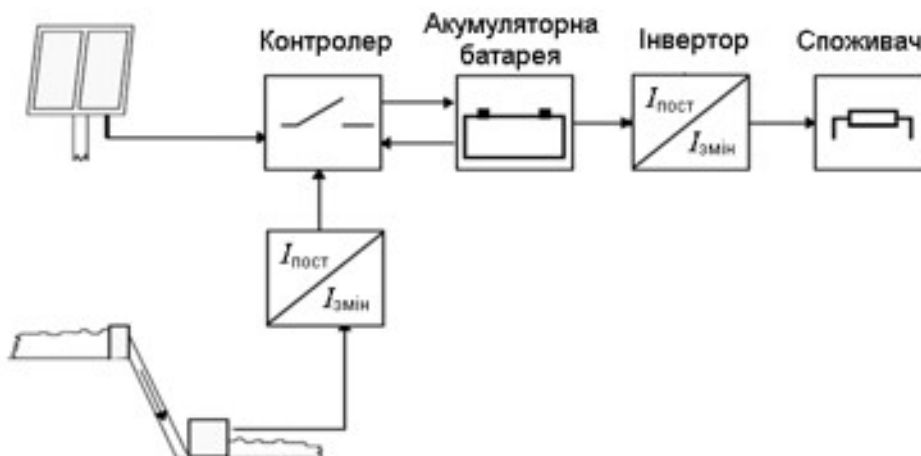


Рис. 5.2. Структурна схема типової гібридної енергетичної системи на основі використання джерел сонячної та гідро енергій

В якості джерела гідроенергії використовується невеличкий резервуар для накопичення води. Місце розміщення даної системи залежить від географічних умов знаходження доступних джерел (водоймищ) води, які

Розділ 5. КОМБІНОВАНІ ТА ГІБРИДНІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ НА БАЗІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

містяться на достатній висоті. Потужність системи залежить від кількості води й сонячного випромінювання.

Структурна схема типової гібридної енергетичної системи на основі використання енергії біопалива, сонячної енергії та дизель-генератора наведено на рис. 5.3.

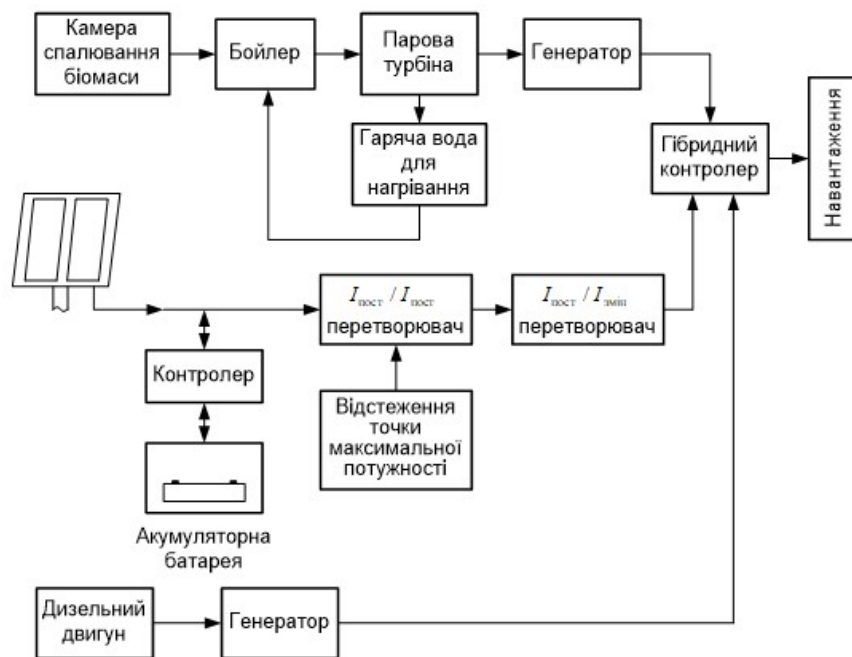


Рис. 5.3. Структурна схема типової гібридної енергетичної системи на основі використання енергії біопалива, сонячної енергії та дизель-генератора

Передбачається, що у якості біопалива використовується сміття (мертві дерева, гілки, скошена трава, залишки культурних рослин, деревна тріска, кора й стружка з лісопильних заводів шини, тощо).

Як було сказано раніше дизель використовується у гібридній системі як резервне джерело у піковий період навантаження.

У системі використовується гібридний контролер який підтримує баланс енергії під час зміна навантаження, призначає пріоритет серед джерел енергії.

Гібридний контролер забезпечує реалізацію наступних функцій:

- ✓ підключення живлення до споживача від джерела енергії здатного забезпечити вимоги навантаження;
- ✓ синхронізація сигналів напруг з різних джерел, наприклад у випадку коли миттєва величина сигналу напруги із джерела фотовольтаїки відрізняється від величини сигналу з іншого джерела, скажемо, біопалива, що викликає локальний потік циркулюючої потужності.

Структурна схема типової гібридної енергетичної системи на основі використання енергії фотовольтаїки, теплової сонячної енергії та електромережі наведено на рис. 5.4.

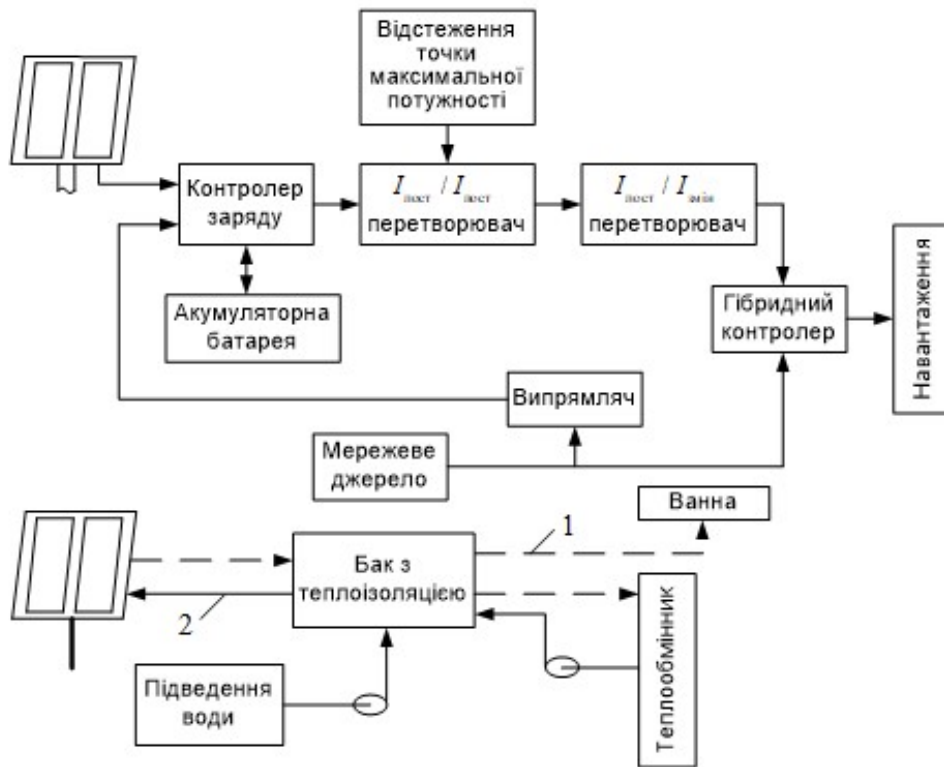


Рис. 5.4. Структурна схема типової гібридної енергетичної системи на основі використання енергії фотовольтаїки, теплової сонячної енергії та електромережі:

1 – гаряча вода; 2 – холодна вода

Сонячне тепло є однією з найдешевших і найбільш практичних форм відновлюваної енергії (джерело гарячої води для будинку або комерційного використання, наприклад, плавальних басейнів, автомийок і пралень, прості сонячні печі й плити використовуються в усьому світі як на комерційних кухнях, так і у житлових приміщеннях).

Гібридний контролер синхронізує різні джерела, як описано раніше.

Ця система підходить для місць, де сонячна енергія доступна, але інші джерела, такі як вітер, хвилі, припливи і т. ін., не мають високого енергетичного потенціалу, а інші джерела корисних копалин не є економічно вигідними.

Визначення розмірів гібридної системи ВЕ / АЕ є важливим завданням. Основним підходом до рішення завдання визначення розміру компонентів гібридної системи є мінімізація величини вартості системи при

Розділ 5. КОМБІНОВАНІ ТА ГІБРИДНІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ НА БАЗІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

збереженні її надійності, який реалізується в результаті використання систем штучного інтелекту.

У Національному авіаційному університеті розроблено гібридну енергетичну установку, яку розміщено на даху навчального корпусу №5 (рис. 5.5).



Рис. 5.5. Гібридна енергетична установка “VS-1.1”

Гібридна енергетична установка складається з вітроенергетичної установки з комбінованим вертикально-осьовим ротором типу Дар’є–Савоніуса, сонячної енергетичної установки, системи накопичення енергії на базі акумуляторних батарей і системи управління. Характеристики гібридної енергетичної установки приведена в табл. 5.3.

Гібридна енергетична установка є повністю автономною, не вимагає постійного контролю під час експлуатації та обслуговування. Габаритні розміри становлять 2 метри висота та 2,4 метра розмах крил. Ротор вітрогенератора виготовлений зі скловолокна та алюмінію.

Сама вітроустановка виконана за схемою прямого приводу ротор–генератор, що забезпечує високу надійність і простоту конструкції. Комбінований ротор забезпечує роботу установки на малих вітрах (зі швидкістю вітру від 2 м/с).

На даний момент енергетична установка повністю забезпечує освітлення навчального корпусу № 5 Національного авіаційного університету в нічний час.

Таблиця 5.3. Характеристики гібридної енергетичної установки

Характеристика	Од. вим.	Значення
Номінальна потужність	Вт	2000
Максимальна потужність	Вт	2200
Максимальна вихідна напруга генератора	В	~60
Робоча швидкість вітру	м/с	6-14
Стартова швидкість вітру	м/с	2
Робочий діапазон швидкостей вітру	м/с	4-30
Вага	кг	90
Строк експлуатації	років	20

Графік залежності потужності енергетичної установки від швидкості вітру показано на рис. 5.6.

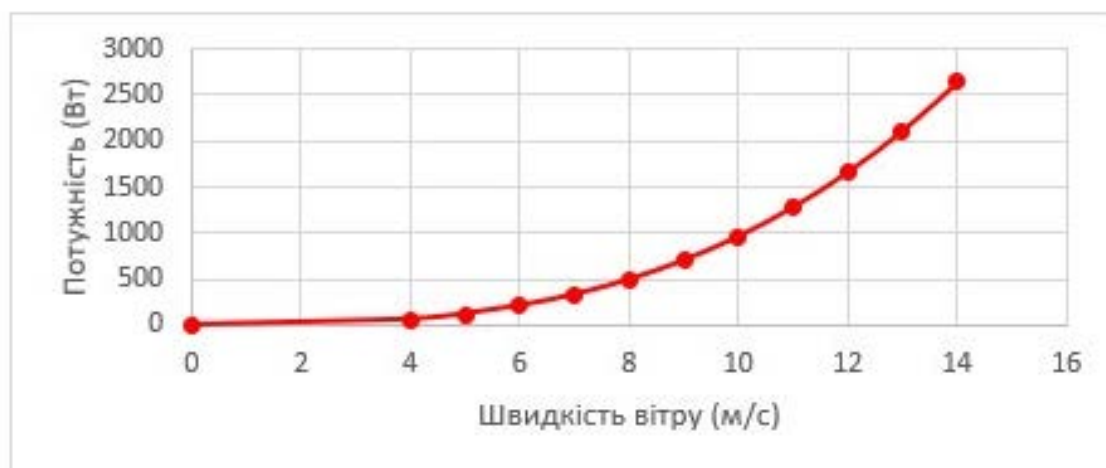


Рис. 5.6. Графік залежності потужності енергетичної установки від швидкості вітру

За заявою вчених із Портсмутського університету (Великобританія) [9], вони знайшли найкращу комбінацію відновлюваних джерел для забезпечення безперебійного та надійного виробництва енергії з економією у 25% (рис. 5.7).

Основною перешкодою для широкого впровадження ВІЕ є їхня нестабільність. У новому дослідженні було проаналізовано гібридні системи, які виробляють електроенергію з двох або більше відновлюваних джерел, забезпечуючи стабільніше енергопостачання.

Дослідники протестували чотири комбінації відновлюваних джерел енергії, а також інтеграцію звичайних сонячних панелей із екологічно

чистим фазоперехідним матеріалом, який збільшує загальну продуктивність системи.

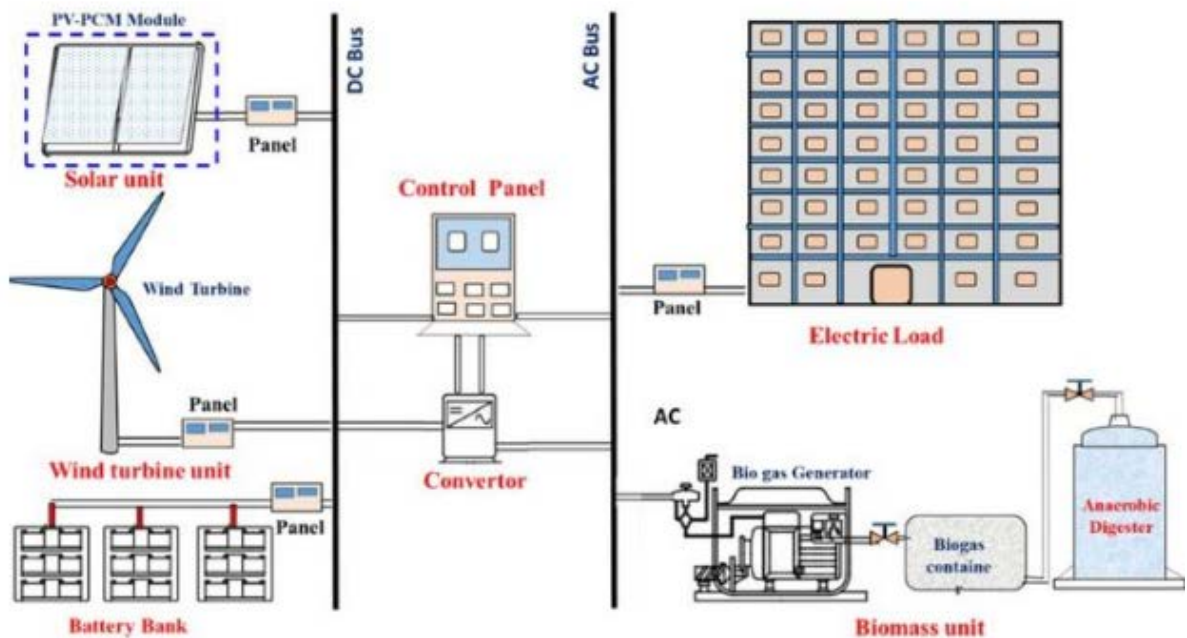


Рис. 5.7. Комбінація відновлюваних джерел для забезпечення безперебійного та надійного виробництва енергії

Матеріали із фазовим переходом (PCM) – це речовини, здатні накопичувати теплову енергію, що дозволяє стабілізувати температуру. Вони можуть поглинати або виділяти велику кількість так званого прихованого тепла при зміні свого фізичного стану, наприклад, в процесі плавлення або заморожування.

Вітряні та сонячні електростанції виробляють енергію лише тоді, коли дме вітер чи світить сонце, що означає різкі зміни у генерації. Оскільки самі собою ці форми енергії ненадійні, ми повинні об'єднати їх разом, каже доктор Сурав Ханна (Sourav Khanna), який є автором-кореспондентом наукової статті. Об'єднавши їх, ми можемо підвищити надійність та знайти найбільш ефективно та економічне поєднання відновлюваних джерел.

Експерти британського університету дійшли висновку, що об'єднання теплоакумуючого матеріалу з фотоелектричними панелями, установками на енергії вітру, біогазу та акумулятором є найкращим поєднанням відновлюваних джерел з економією до 25%.

Звичайні фотопанелі можуть перетворювати лише 20% сонячної енергії на електрику. Інші 80% губляться, перетворюючись на тепло. Новим підходом стало те, що ми досліджували, як зберігати це тепло у матеріалі з фазовим переходом, а це означає, що 80%, які зазвичай губляться,

завантажуються у накопичувач теплової енергії. Цю теплову енергію можна перетворити на опалення приміщень та нагрівання води, на що зазвичай витрачається найбільше енергії в домашньому господарстві — пояснює Ханна.

Комбінації відновлюваних джерел енергії були протестовані в індійському місті Ченнаї – у спекотному та вологому кліматі, але вчені мають намір знайти спосіб оптимізації вироблення електроенергії та економії коштів в інших місцях, домагаючись повної автономії.

Було побудовано систему з фотоелектричного блоку, оснащеного РСМ на задній стороні сонячних панелей, вітряка, акумулятора та біогазової установки. Як РСМ використовувався гексагідрат хлориду кальцію з температурою плавлення близько 30 градусів Цельсія та прихованою теплоємністю 191 кДж/кг.

Вітрова турбіна, фотоелектрична система та акумуляторна батарея підключені до шини постійного струму, біогазовий генератор, а електричне навантаження підключено до шини змінного струму. Перетворювач необхідний перетворення змінного струму в постійний чи навпаки.

Для максимального збільшення вироблення енергії вітру та сонця, зменшення використання батарей та мінімізації операцій з біогазом та зменшення викидів вуглецю було створено спеціальний алгоритм управління. Оптимальна конфігурація системи була надана комбінацією фотоелектричної системи потужністю 224 кВт, оснащеної РСМ, вітряної турбіни потужністю 206 кВт, біогазового генератора потужністю 420 кВт, батареї на 633 Аг та перетворювача потужністю 170 кВт.

Чиста поточна вартість цієї конфігурації склала 1,43 мільйона доларів, а наведена вартість енергії (LCOE) була оцінена дослідницькою групою 0,094 долара за 1 кВтг. Ці значення порівнювалися зі значеннями тієї ж конструкції системи без сховища РСМ і було виявлено, що вони значно нижчі.

Повний опис конструкції системи найкращої комбінації ВІЕ для надійного виробництва енергії наводиться у статті, яка була опублікована в журналі *Energies*.

5.2. Короткий огляд принципів роботи теплонакопичувача, теплоакумулятора в комплексі системи опалення

Постановою Кабінету Міністрів України № 859 від 11.08.2021 р. встановлені нові тарифи на електроенергію для населення в залежності від місячних обсягів споживання, які діятимуть з 01.10.2021 р. по 30.04.2022 р.

**Розділ 5. КОМБІНОВАНІ ТА ГІБРИДНІ СИСТЕМИ
ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ НА БАЗІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

включно. Окремий тариф встановлено для колективних побутових споживачів та гуртожитків [10].

Тарифи на електричну енергію для приватних клієнтів з 01.10.2021 р. по 30.04.2022 р. включно становлять від 1,44 до 1,68 грн/кВт·год з ПДВ в залежності від місячних обсягів споживання (Табл. 5.4) [11].

Таблиця 5.4. Фіксовані ціни на електричну енергію для побутових споживачів з 1 жовтня 2021 р. по 30 квітня 2022 р. включно згідно Постанови Кабінету Міністрів України № 859 від 11.08.2021 р

Місячний обсяг споживання	Фіксована ціна на електричну енергію в гривнях за 1 кВт·год		
	без податку на додану вартість	податок на додану вартість	з податком на додану вартість
Для індивідуальних побутових споживачів			
до 250 кВт·год (включно, за весь обсяг споживання)	1,2	0,24	1,44
понад 250 кВт·год (за весь обсяг споживання)	1,4	0,28	1,68
Для гуртожитків-			
за весь обсяг споживання	1,4	0,28	1,68

Продовжують діяти тарифні коефіцієнти (двобонні, тробонні) для клієнтів, у яких встановлені багатобонні прилади обліку.

Одним зі шляхів вирівнювання графіку навантаження є залучення споживачів-регуляторів замість використання додаткових резервних маневрених потужностей. Відмінність таких споживачів – у зменшенні навантаження в години “пік” і перенесення навантаження у денний і нічний періоди доби із застосуванням багатотарифних лічильників електричної енергії [12]. Застосування багатотарифних лічильників дозволяє суттєво знизити оплату за електричну енергію, економити паливо генеруючим компаніям, організувати ефективний дистанційний контроль

Розділ 5. КОМБІНОВАНІ ТА ГІБРИДНІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ НА БАЗІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

електроспоживання за рахунок смарт-систем та Автоматизованій системі комерційного обліку електричної енергії (АСКОЕ) зі зменшенням відповідних витрат для споживачів [13].

Для побутових споживачів існує двоставкова й триставкова система тарифікації за електроенергію (Табл. 5.5) [14].

Двоставкова передбачає розрахунок за день (7.00-23.00) і ніч (23.00-7.00). Нічний тариф менший за денний на 50%, тобто для нарахувань застосовується коефіцієнт 0,5. Таким чином з 23 години вечора й до 7-ї ранку за електроенергію можна платити вдвічі менше, ніж за звичайним тарифом.

Щодо триставкової системи, то вона передбачає плату за ніч (23.00-7.00), пік (ранковий – 8.00-11.00, вечірній – 20.00-22.00) і напівпіки (7.00-8.00; 11.00-20.00; 22.00-23.00). Нічна електроенергія дешевша від денної на 60%, тобто для нарахувань застосовується коефіцієнт 0,4. Напівпік означає застосування коефіцієнту 1, отже плата ідентична до денної. Пік передбачає застосування коефіцієнта 1,5, тобто за ці 5 годин доведеться платити в півтора рази дорожче, ніж за денні години.

Таблиця 5.5. Тарифні коефіцієнти і діапазони періодів часу системи тарифікації за електроенергію

Період часу	Тарифні коефіцієнти	Початок і кінець періоду, год
2-зонний тариф, диференційований за періодами часу		
Нічний	0,5	23:00-7:00
Денний	1	7:00-23:00
3-зонний тариф, диференційований за періодами часу		
Нічний	0,4	23:00-7:00
Напівпіковий	1	7:00-8:00/11:00-20:00/ 22:00-23:00
Піковий	1,5	8:00-11:00/20:00-22:00

Враховуючи цю систему тарифікації побутові споживачі мають змогу економити на електричному опаленні будівель, застосовуючи теплонакопичувачі або акумулятори теплової енергії.

Акумулятор тепла або тепловий акумулятор (англ. storage heater) — пристрій (або сукупність пристроїв), що забезпечує оборотні процеси накопичення, зберігання і віддавання теплової енергії відповідно до вимог споживача [15].

Теплові акумулятори можуть виконувати наступні завдання:

- ✓ компенсація піків споживання теплової енергії;

Розділ 5. КОМБІНОВАНІ ТА ГІБРИДНІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ НА БАЗІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

- ✓ вирівнювання (оптимізація) графіків виробництва теплової енергії шляхом накопичення надлишкової енергії;
- ✓ накопичення теплової енергії, яка буде використана під час відключення (відсутності) енергопостачання.

Акумулятор тепла складається з:

- ✓ теплоакumuлюючого матеріалу (ТАМ);
- ✓ теплоізолюючого резервуару для збереження ТАМ;
- ✓ системи для зарядки і розрядки;
- ✓ допоміжного обладнання.

Акумулятори тепла розрізняють:

за природою ТАМ:

- ✓ Термохімічні акумулятори тепла, засновані на виділенні або поглинанні теплоти при оборотних хімічних і фотохімічних реакціях;
- ✓ Теплоємнісні акумулятори тепла, в яких використовується теплоємність ТАМ без зміни агрегатного стану;
- ✓ Акумулятори тепла на фазовому переході, в яких використовується прихована теплота плавлення речовини;

за періодом зарядки і розрядки:

- ✓ Короткострокові акумулятори тепла (до 3 днів);
- ✓ Середньострокові акумулятори тепла (до 1 місяця);
- ✓ Довгострокові акумулятори тепла;

за рівнем робочої температури:

- ✓ Низькотемпературний акумулятори тепла (до 100 ° С);
- ✓ Середньотемпературний акумулятори тепла (від 100 до 400 ° С);
- ✓ Високотемпературний акумулятори тепла (понад 400 ° С).

Тепловий накопичувач - це стаціонарний апарат, призначений для опалення приміщень. Працює за принципом накопичення теплової енергії в період споживання електроенергії пільгового нічного тарифу, а віддає тепло цілодобово. Як теплоакumuлюючого сердечника використовуються тверді блоки на основі магнезиту з високою теплоємністю і теплопровідністю.

Теплонакопичувачі випускаються провідними європейськими виробниками: AEG, Technotherm, Stiebel Eltron, Thermoval, Olsberg, Дніпро (Дніпро), Inproel, Elektrotermia, Permatherm (Siemens, Dimplex), Elmix, Gabarron Elnur, Anze, Roos, Vaillant. Система опалення з акумулятором тепла і структура теплонакопичувача (теплоакumuлятора) наведені на рис. 5.8 [16].

Під час "нічного" тарифу з 23:00 до 6:00 акумулятор тепла автоматично підключається до електромережі та за 7 годин роботи та заряду накопичує в акумуляційних блоках достатньо тепла, необхідного для обігріву приміщень протягом усього дня. Завдяки термоізоляції, віддача тепла від корпусу приладу мінімальна.

Приміщення обігрівается рахунок природної конвекції чи нагнітання вентилятором теплого потоку повітря 70 - 100°C, нагрітого від акумуляційних блоків до 650 ÷ 750°C.

Застосування кімнатних датчиків температури забезпечує комфортний мікроклімат у приміщенні з точністю $\pm 1^\circ\text{C}$.



Рис. 5.8. Система опалення з акумулятором тепла і структура тепло накопичувача (теплоакумулятора): 1 – магнетитові блоки; 2 – шар теплоізоляції; 3 – нагрівальні елементи; 4 – ручка терморегулятора; 5 – терморегулятор; 6 – вузол підключення; 7 – вентилятор; 8 – заслінка; 9 – біметалічний датчик

Встановлений погодний регулятор (контролер) дає можливість накопичувати тепло в залежності від зовнішньої температури, що дозволяє скоротити час роботи обігрівачів (до 4 годин), тим самим ще більше економити на електроенергії до 30%.

У перспективі можлива робота системи опалення з урахуванням прогнозу погоди.

Розділ 5. КОМБІНОВАНІ ТА ГІБРИДНІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ НА БАЗІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ



Рис. 5.9. Сучасний статичний теплонакопичувач тепла для дому и офісу в інтер'єрі

Висновки до розділу 5

1. З урахуванням вивченого міжнародного досвіду необхідно визначити гібридні системи на основі поновлюваних джерел енергії як перспективне рішення для децентралізованого електро- і тепlopостачання.

2. За даними експертів британського університету об'єднання теплоакumuлюючого матеріалу із фазовим переходом (PCM) з фотоелектричними панелями, установками на енергії вітру, біогазу та акумулятором є найкращим поєднанням відновлюваних джерел з економією до 25%.

3. Враховуючи двозонну або трizonну систему тарифікації побутові споживачі мають змогу економити на електричному опаленні будівель, застосовуюючи теплонакопичувачі або акумулятори теплової енергії. Тепловий накопичувач - це стаціонарний апарат, призначений для опалення приміщень, що працює за принципом накопичення теплової енергії в період споживання електроенергії пільгового нічного тарифу, а віддає тепло цілодобово. В якості теплоакumuлюючого сердечника використовуються тверді блоки на основі магnezиту з високою теплоємністю і теплопровідністю.

4. Перспективною системою опалення є гібридна система опалення з відновлюваним джерелом електричної енергії за допомогою фотовольтаїки і акумуляторів тепла. Необхідна розробка такої системи на основі вітчизняних матеріалів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 5

1. <http://savenergy.info/page/identified-the-best-combination-res-for-the-best-energy-production/>.
2. <https://enerhodzherela.com.ua/analytyka>
3. Кара-Мурза С.Г. Научная картина мира, экономика и экология. http://www.hrono.ru/libris/lib_k/eces7.html.
4. Перспективы развития мировой электроэнергетики до 2035 года // Электроэнергия, передача и распределение. 2011. № 2. С.103.
5. Tugcu S., Ozturk I., Alper A. Renewable and non-renewable energy consumption and economic growth relationship revisited: Evidence from G7 countries. Energy Economics, Volume 34. Issue 6. November 2012. p. 1942.
6. United Nations Environment Programmed. <http://www.ecolife.ru/infos>.
7. Инвестиции в возобновляемые источники энергии достигли рекорда. <https://lenta.ru/news/2016/01/14/investment/>.
8. BNEF. <http://aenergy.ru/3873/>.
9. port.ac.uk
10. <https://yasno.com.ua/b2c-tariffs>
11. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/859-2021-%D0%BF#Text>
12. www.nerc.gov.ua
13. <https://ua-energy.org/uk/posts/koly-prylady-pratsiuiut-a-lichylnyky-menshe-rakhuiut%E2%80%A6>
14. <https://yasno.com.ua/tarifni-koeficiyenti-dlya-bagatozonnih-elektrolichilnikiv>
15. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BA%D1%83%D0%BC%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%82%D0%BE%D1%80_%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%B0
16. <http://www.obogreem.com.ua/Accumulator/Elnur.htm>

РОЗДІЛ 6

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ЕНЕРГО-ІННОВАЦІЙНОГО ХАБУ ПДАБА



Розділ 6. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ЕНЕРГО-ІННОВАЦІЙНОГО ХАБУ ПДАБА

Як джерело відновлюваної енергії розглянута сонячна електростанція Енерго-інноваційного Хабу ПДАБА (рис. 6.1.). Початок роботи сонячної електростанції Енерго-інноваційного Хабу ПДАБА - 10 серпня 2020 року. На південному фасаді академії було змонтовано 10 сонячних панелей Ja Solar mono 385 W PERC 24/V, що генерують електричну енергію (див. рис. 6.1). В приміщенні учбової лабораторії встановлено інвертор 5 кВт KSTAR KSG-5.0K-DM, що відбирає цю енергію у вигляді постійного струму і перетворює його в змінний, доставляючи до внутрішньої електромережі академії (рис. 6.2.).



Рис. 6.1. Загальний вигляд сонячної електростанції Енерго-інноваційного Хабу ПДАБА



Рис. 6.2. Інвертор 5 кВт та моніторинг роботи СЕС

Загальна проектна потужність СЕС становить 4 кВт.

Розділ 6. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ЕНЕРГО-ІННОВАЦІЙНОГО ХАБУ ПДАБА

Наступним кроком, стала інсталяція блоку моніторингу спожитої сонячної енергії. І, як результат, з 8 вересня є можливість дистанційно контролювати роботу СЕС (рис. 6.2).

За час роботи СЕС (в період з вересня 2020 року по червень 2021 року) до внутрішньої електромережі академії за рахунок сонячної енергії надійшло більш ніж 2777 кВт*год: за неповний 2020 рік - 1277 кВт*год та за неповний 2021 рік - 1500 кВт*год (рис. 6.3.).

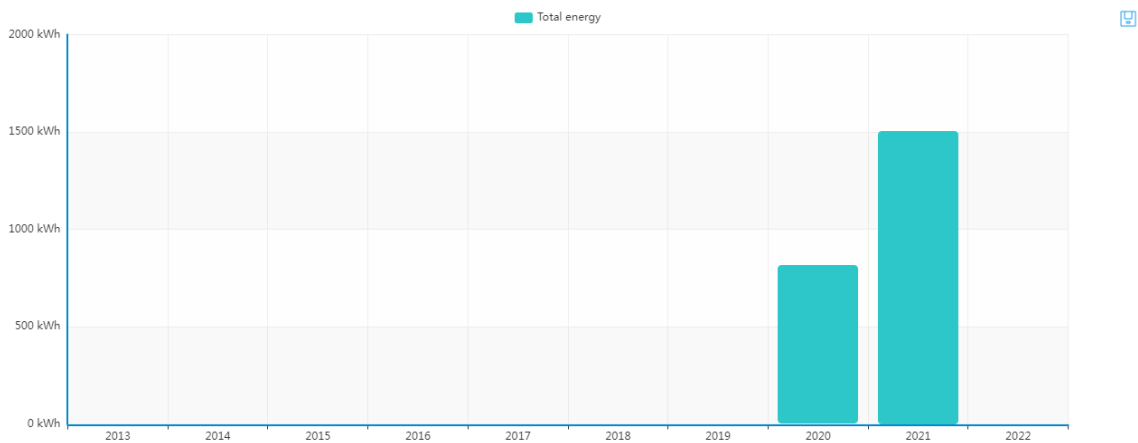


Рис. 6.3. Загальне виробництво електроенергії сонячною електростанцією Енерго-інноваційного Хабу

Річне виробництво електроенергії сонячною електростанцією за 2020 рік наведено на рис. 6.4; за 2021 рік на рис. 6.5.

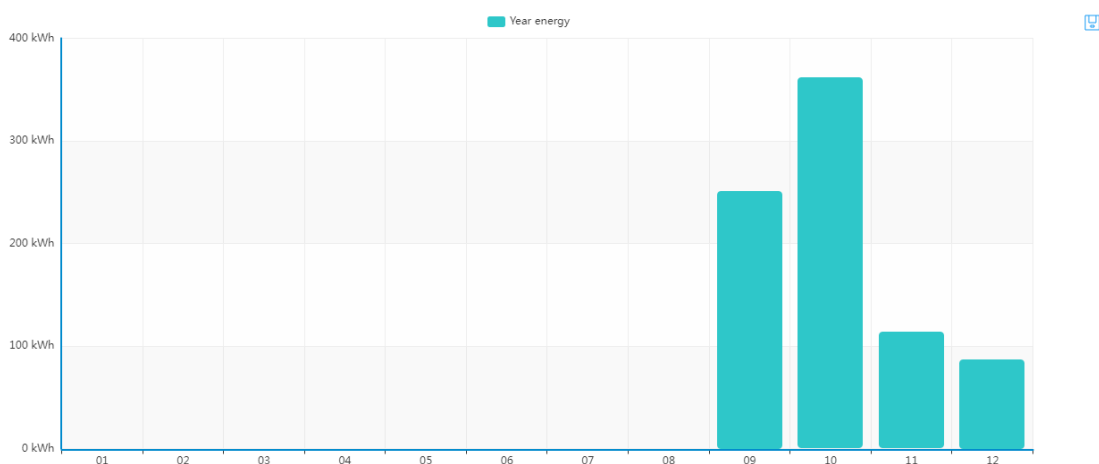


Рис. 6.4. Річне виробництво електроенергії сонячною електростанцією за 2020 рік

Розділ 6. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ЕНЕРГО-ІННОВАЦІЙНОГО ХАБУ ПДАБА

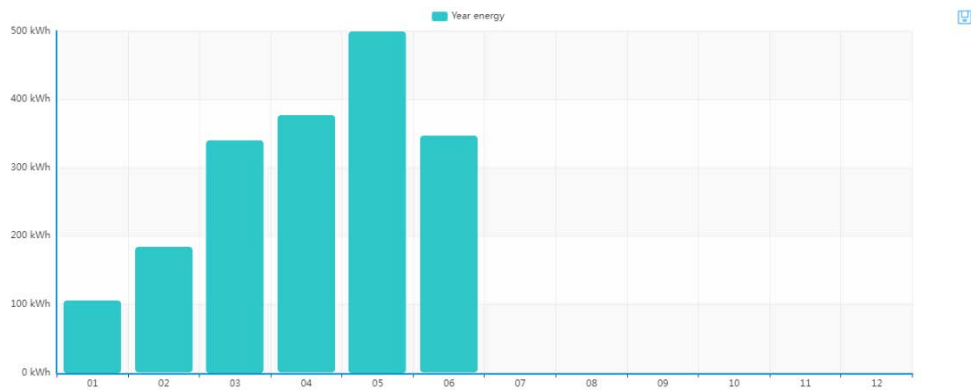


Рис. 6.5. Річне виробництво електроенергії сонячною електростанцією за 2021 рік

Результати детального аналізу щомісячного виробництва електроенергії сонячною електростанцією за 2020 рік наведені на рис. 6.6 – 6.8; за 2021 рік на рис. 6.9 – 6.14.

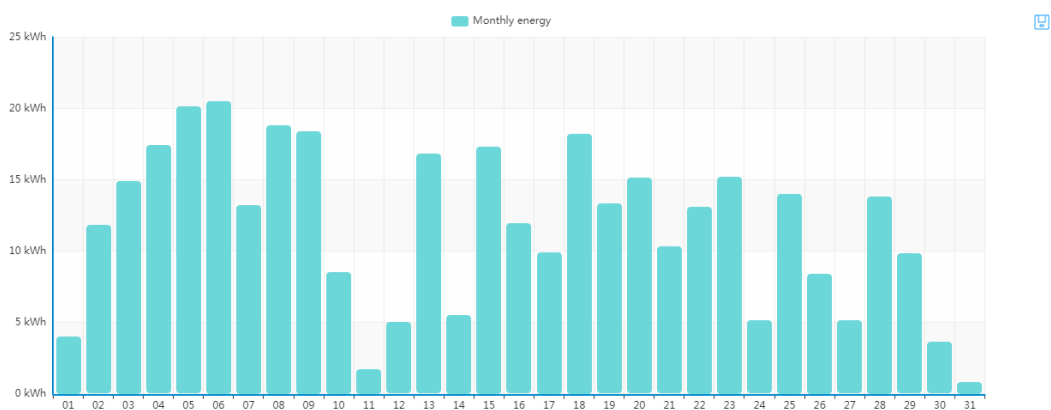


Рис. 6.6. Виробництво електроенергії сонячною електростанцією за жовтень 2020 року

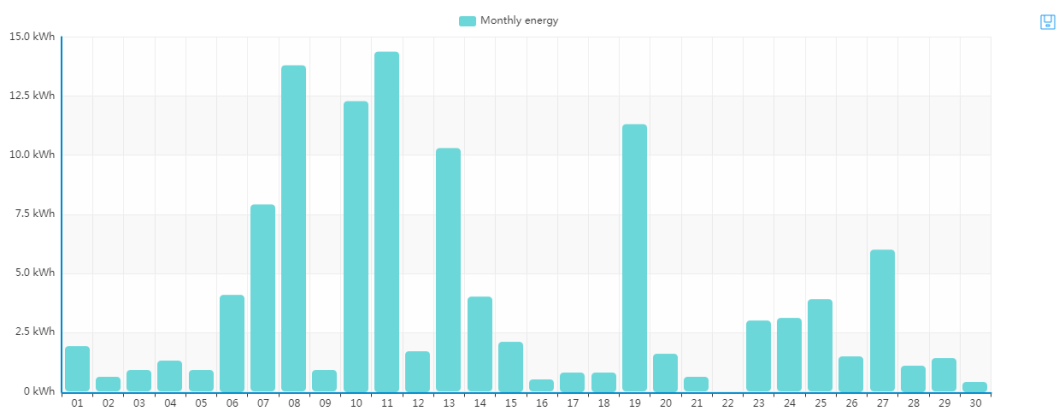


Рис. 6.7. Виробництво електроенергії сонячною електростанцією за листопад 2020 року

Розділ 6. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ЕНЕРГО-ІННОВАЦІЙНОГО ХАБУ ПДАБА

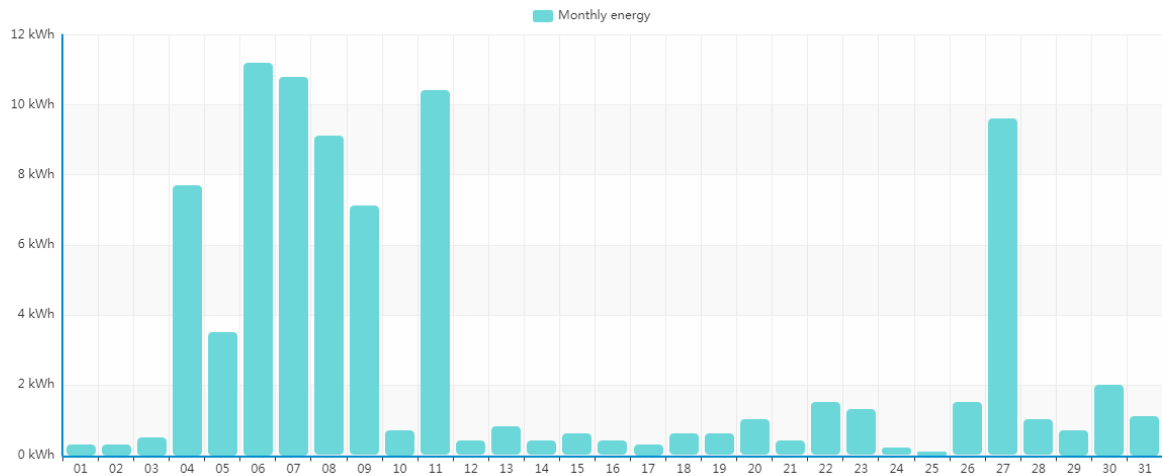


Рис. 6.8. Виробництво електроенергії сонячною електростанцією за грудень 2020 року

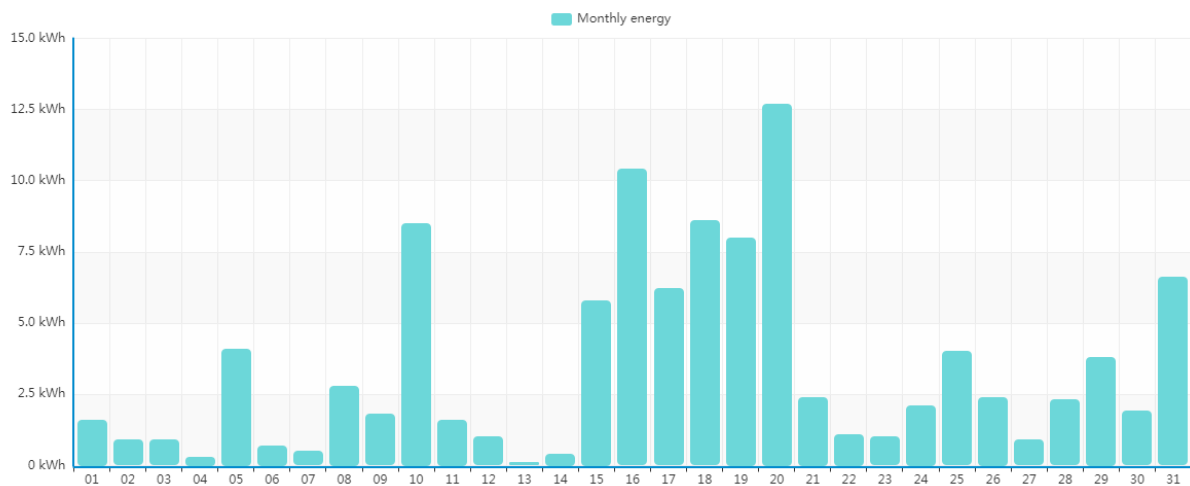


Рис. 6.9. Виробництво електроенергії сонячною електростанцією за січень 2021 року

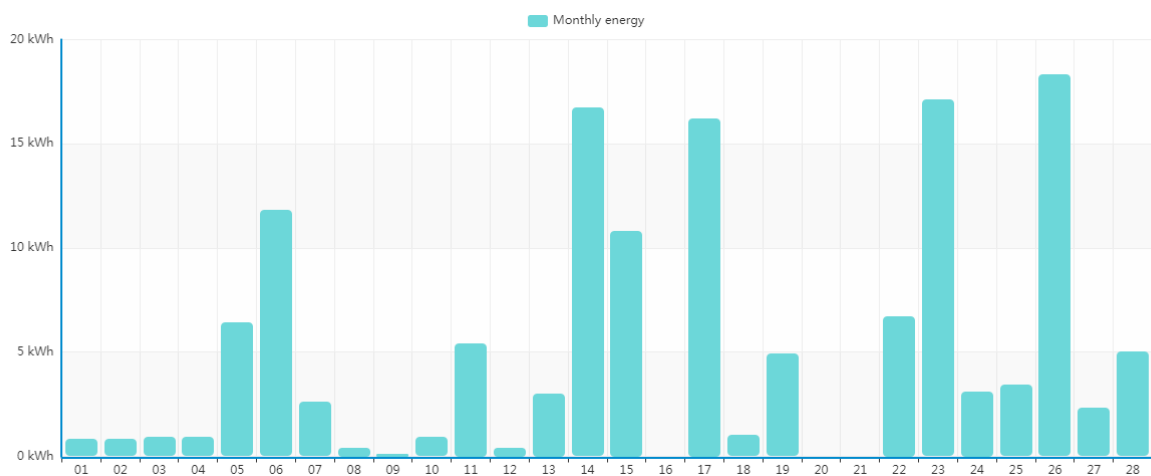


Рис. 6.10. Виробництво електроенергії сонячною електростанцією за січень 2021 року

Розділ 6. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ЕНЕРГО-ІННОВАЦІЙНОГО ХАБУ ПДАБА

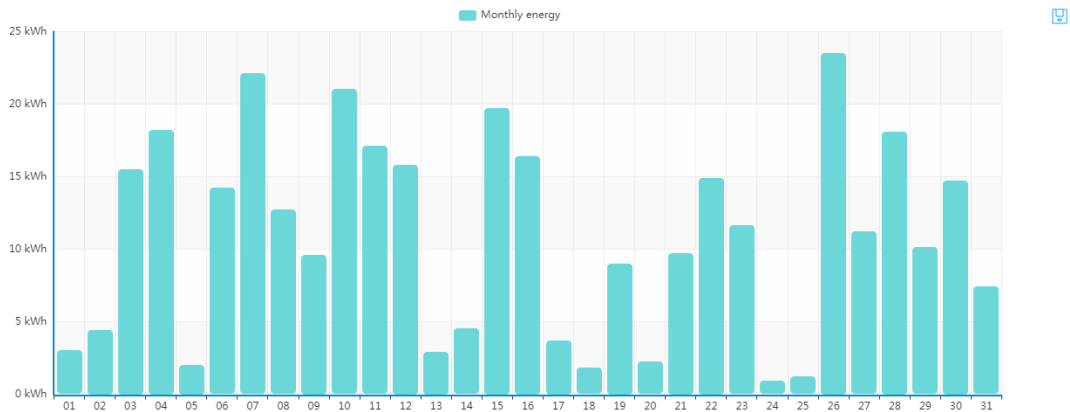


Рис. 6.11. Виробництво електроенергії сонячною електростанцією за березень 2021 року

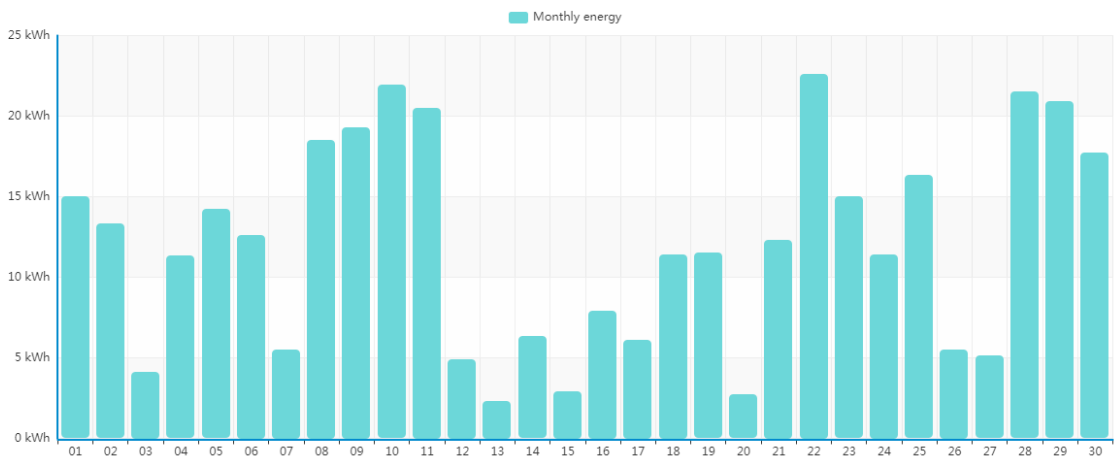


Рис. 6.12. Виробництво електроенергії сонячною електростанцією за квітень 2021 року

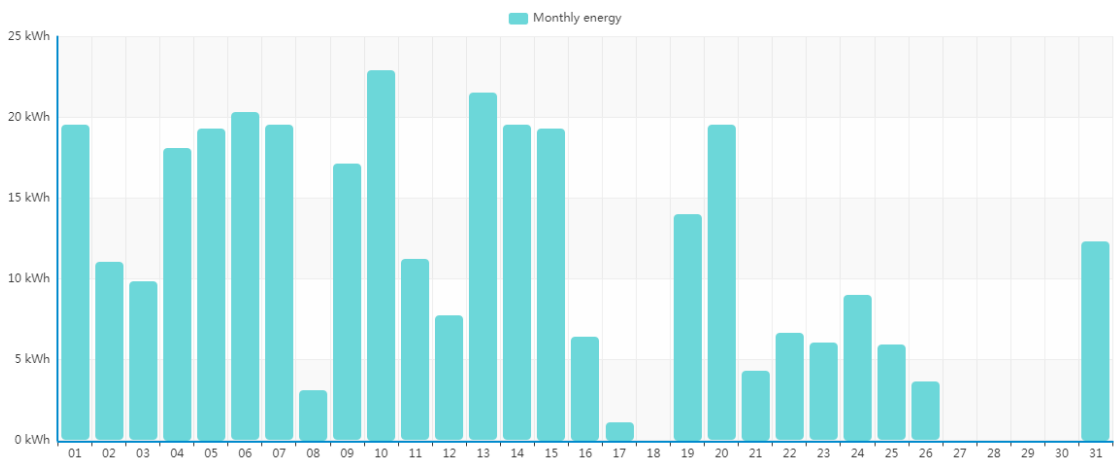


Рис. 6.13. Виробництво електроенергії сонячною електростанцією за травень 2021 року

Розділ 6. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ЕНЕРГО-ІННОВАЦІЙНОГО ХАБУ ПДАБА

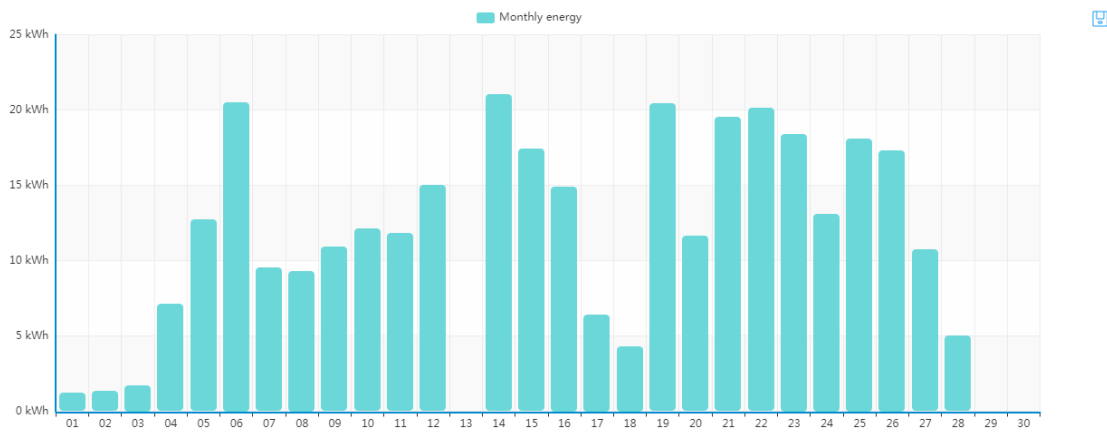


Рис. 6.14. Виробництво електроенергії сонячною електростанцією за червень 2021 року

Графік споживання сонячної енергії за добу влітку - у червні 2021 року наведено на рис. 6.15 та взимку – грудні 2020 року на рис. 6.16.

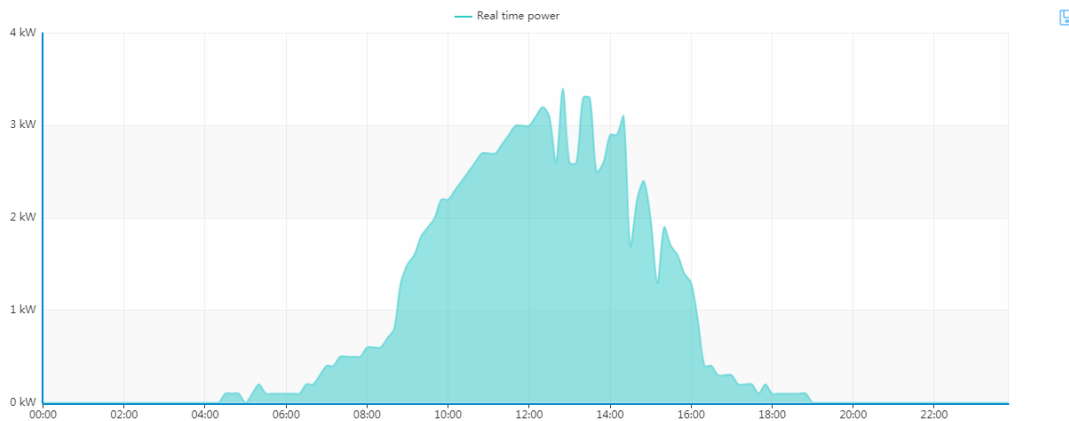


Рис. 6.15. Графік виробництва електроенергії сонячною електростанцією за 22 червня 2021 року

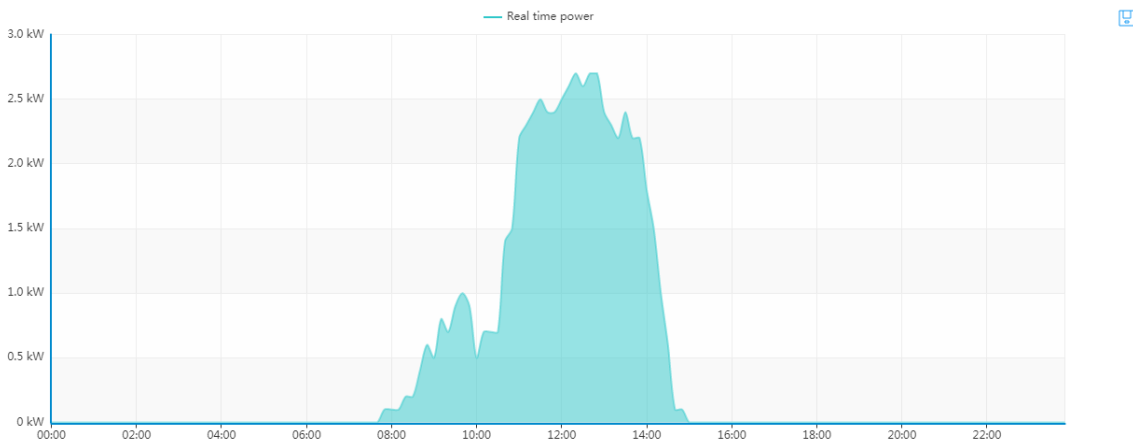


Рис. 6.16. Графік виробництва електроенергії сонячною електростанцією за 11 грудня 2020 року

Висновки до розділу 6.

1. Пікові значення миттєвої генерації електричної енергії СЕС при проектній потужності 4 кВт становила: влітку 3,4 – 3,8 кВт; взимку 2,5-2,8 кВт.

2. Добове виробництво електроенергії сонячною електростанцією залежить від освітленості та протяжності світлового дня, так влітку максимальне добове значення становить 25 кВт*год; взимку – 12,5 кВт*год.

3. Різниця виробництва електроенергії сонячною електростанцією за місяць взимку і влітку відрізняється більш ніж в 5 разів: у грудні виробництво електроенергії сонячною електростанцією становило менше 100 кВт*год; виробництво електроенергії сонячною електростанцією у травні та червні становило більше 500 кВт*год.

4. Сонячну електростанцію Енергоінноваційного ХАБу ПДАБА можливо розглядати як джерело відновлюваної електричної енергії в системі опалення з використанням акумуляторів тепла.

РОЗДІЛ 7

РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА "TECHNOTHERM"



Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА "TECHNOTHERM"

В якості прототипа теплоаккумулятора з використанням вітчизняних матеріалів був вибраний зарубіжний аналог – теплоаккумулятор "Technotherm" (рис. 7.1).

Мета випробувань: перевірити температуру складових частин теплоаккумулятора у режимах накопичення та віддачі тепла.

В режимі накопичення тепла:

- ✓ визначити час та постійний час накопичення тепла;
- ✓ визначити споживану потужність із мережі за час накопичення тепла;
- ✓ зафіксувати максимальну температуру корпусу та складових частин теплоаккумулятора.

В режимі віддачі тепла:

- ✓ визначити зміни температури корпусу та складових частин теплоаккумулятора залежно від часу.

При виконанні досліджень використовувались наступні прилади та приладдя:

Термопари ТХА-11 шт.

Калібратор МТМ1000М - 1 шт.

Лічильник електричної енергії "Енергоміра ЦЕ36807Б-У" - 1 шт.

Вимірювач активної потужності Vuse Tech -1 шт.

Результати випробувань:

Для перевірки теплоаккумулятора було створено стенд. На корпус та на складові частини теплоаккумулятора були встановлені термопари. Точки встановлення термопар вказані в таблиці 7.1 і на рис. 7.1.

Режим накопичення тепла.

При випробуванні теплоаккумулятора регулятор «OUT» був встановлений на 0 (заслінка повністю закрыта), а регулятор «Input» був встановлений на максимум. Випробування проводилися до моменту відключення теплоаккумулятора вбудованим термодатчиком. Оскільки вбудований датчик температури не відключив теплоаккумулятор, то після 12 годин роботи теплоаккумулятор було відключено від мережі.

Результати вимірювань занесені до таблиць, а графіки зображені на рис. 7.2...7.14.

Режим віддачі накопиченого тепла.

Попередньо теплоаккумулятор був встановлений в режим накопичення тепла на 9 годин. Після цього теплоаккумулятор був відключений від мережі, а регулятор «OUT» встановлений на максимум (заслінка максимально відкрита).

Результати вимірювань занесені до таблиць, а графіки зображені на рис. 7.15...7.27.

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.1. Місця встановлення термопар

№ термопар	Місце встановлення термопар
13	Тен
5	Всередині каміна на дотику термонакопичувача та задньої стінки
14	Всередині каміна на верхній ізоляційній прокладці
7	Всередині каміна на нижній ізоляційній прокладці
6	Усередині каміна на правій бічній стінці
9	Усередині каміна між термонакопичувачами вгорі
11	Внутрішня передня стінка
15	На днищі теплоаккумулятора
16	Зверху на зовнішньому боці теплоаккумулятора
10	Зовнішня бічна сторона задньої стінки

Таблиця 7.2. Споживана потужність

Діапазон часу, година	Потужність, Вт
0,5	1448
1	1415
1,5	1307
2	1260
3	1317
4	1272
5	1300
6	1285
7	1287
8	1287
9	1247
10	1384
11	1371
12	1369

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА "TECHNOTHERM"

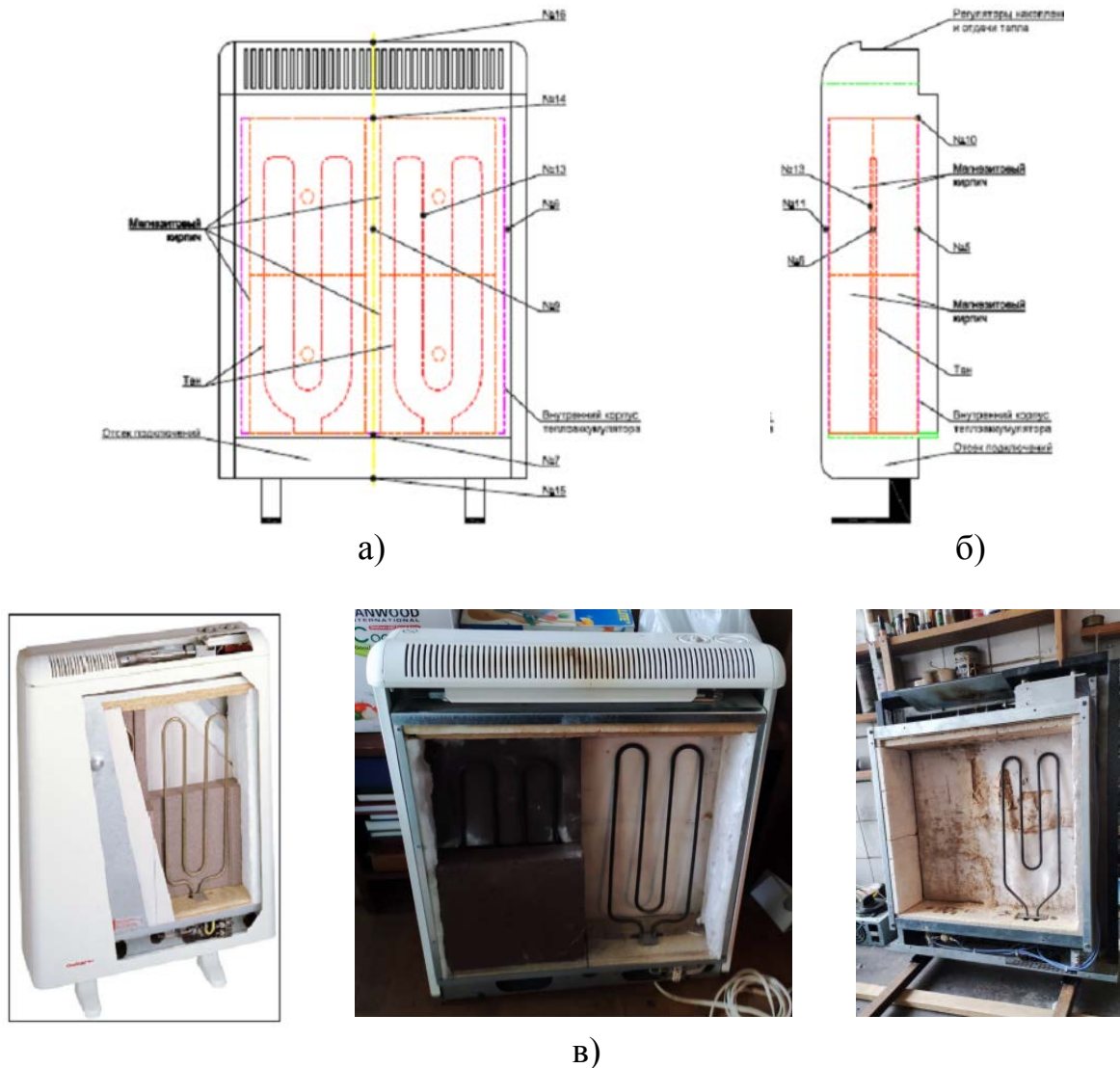


Рис. 7.1. Статичний теплоаккумулятор Technotherm:
а) вид спереду; б) вид справа; в) загальний вигляд



Рис. 7.2. Графік споживаної потужності

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА "TECHNOTHERM"

Таблиця 7.3. Показання лічильника теплової енергії

Діапазон часу, година	Споживання тепла, кВт
0,5	53,4
1	54,1
1,5	54,8
2	56,15
3	57,5
4	58,85
5	60,2
6	61,5
7	62,85
8	64,2
9	65,55
10	67
11	68,6
12	70

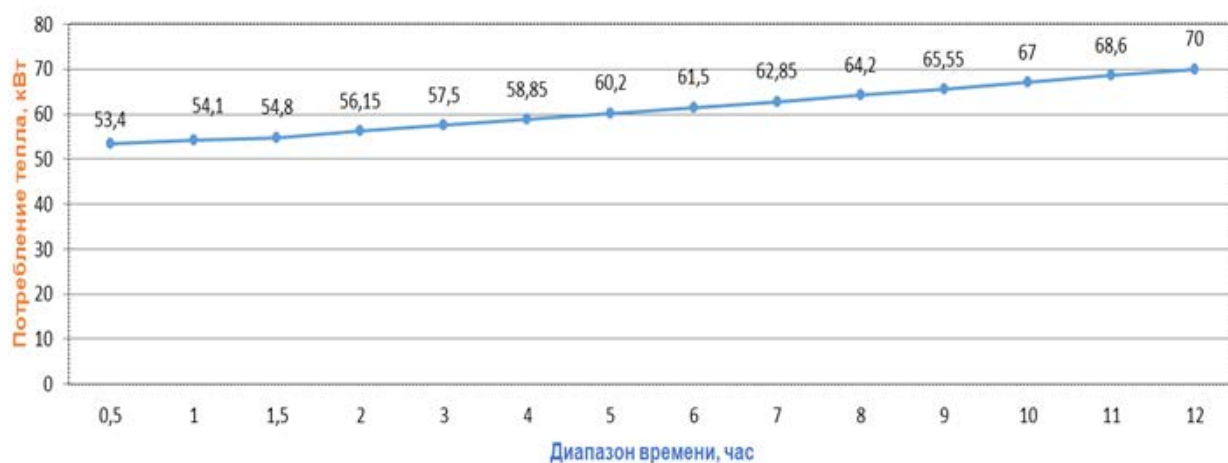


Рис. 7.3. Графік показань лічильника теплової енергії

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.4. Температура оточуючого середовища, градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура оточуючого середовища, °C
0,5	18,4
1	18,2
1,5	18,6
2	18,6
3	19,3
4	19,8
5	19,4
6	19,7
7	19,7
8	19,9
9	20
10	20
11	20,1
12	20,5

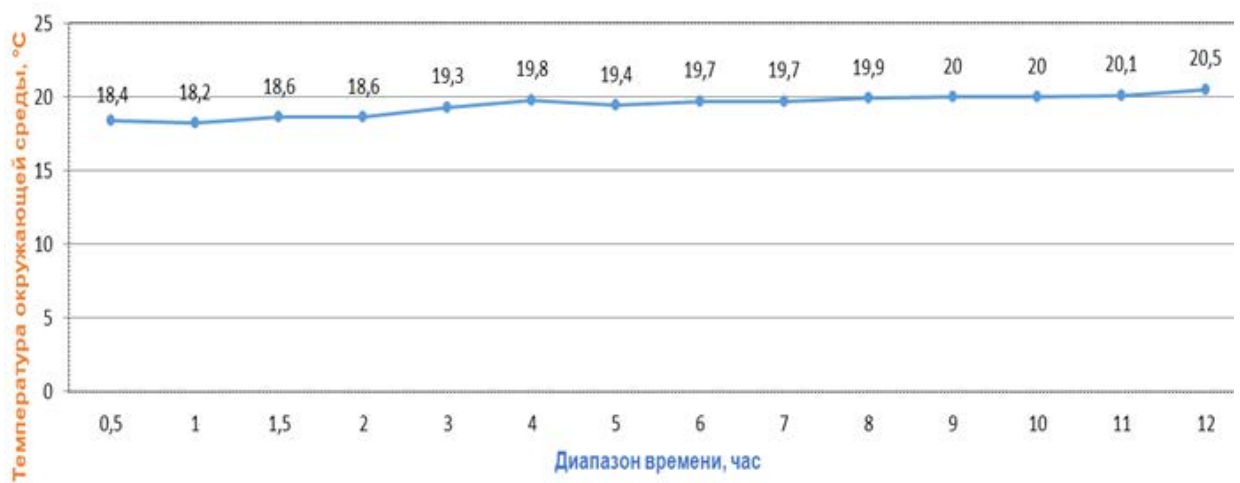


Рис. 7.4. Графік температури оточуючого середовища

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.5. Температура тена, градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура тена, °C
0,5	21,6
1	506,9
1,5	513,7
2	543,9
3	590,8
4	630,6
5	673,5
6	708,9
7	740,7
8	776,7
9	807
10	848,9
11	879,5
12	905

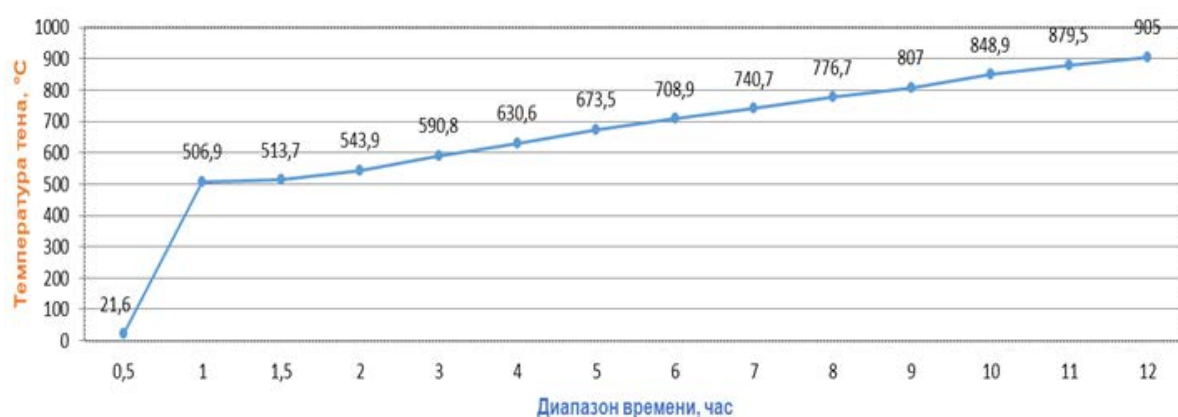


Рис. 7.5. Графік температури тена теплоаккумулятора (термопара №13)

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.6. Температура задньої стінки теплоаккумулятора,
градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура задньої стінки, °C
0,5	21,3
1	34,3
1,5	62,3
2	188,7
3	267
4	288
5	339,7
6	414
7	369,8
8	334,2
9	340,2
10	357,2
11	377,6
12	386,3



Рис. 7.6. Графік температури задньої стінки теплоаккумулятора
(термопара №5)

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА "TECHNOTHERM"

Таблиця 7.7. Температура верхньої стінки теплоаккумулятора,
градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура верхньої стінки, °С
0,5	21,2
1	104,9
1,5	148,5
2	227
3	298,1
4	313,5
5	435,4
6	486,7
7	533,5
8	577,2
9	616,8
10	654,4
11	689,5
12	717,9



Рис. 7.7. Графік температури верхньої стінки теплоаккумулятора
(термопара №14)

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.8. Температура нижньої стінки теплоаккумулятора,
градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура нижньої стінки, °C
0,5	21
1	30,3
1,5	52
2	98,1
3	138,6
4	173,2
5	200,9
6	222,3
7	241,5
8	259,3
9	275,1
10	290,4
11	305,8
12	319,6



Рис. 7.8. Графік температури нижньої стінки теплоаккумулятора
(термопара №7)

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА "TECHNOTHERM"

Таблиця 7.9. Температура бічної стінки теплоаккумулятора,
градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура бічної стінки, °С
0,5	21,2
1	68,8
1,5	122,5
2	217,3
3	294,8
4	359,1
5	413,7
6	456
7	495,2
8	531,2
9	564
10	596,8
11	628,1
12	655,7



Рис. 7.9. Графік температури бічної стінки теплоаккумулятора (термопара №6)

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.10. Температура посередині між цеглинами теплоаккумулятора, градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура посередині між цеглинами, °С
0,5	21,2
1	70
1,5	125
2	225,7
3	312
4	388,8
5	457,6
6	512,8
7	564,2
8	613,5
9	657,5
10	700,3
11	740,9
12	774,9

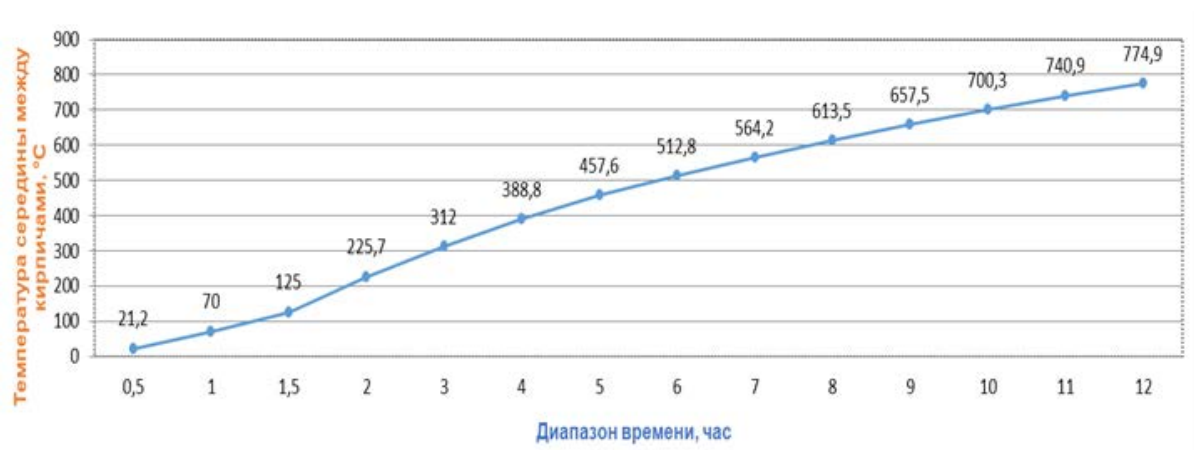


Рис. 7.10. Графік температури посередині між теплоносіями (цеглою) теплоаккумулятора (термопара №9)

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.11. Температура внутрішньої передньої стінки теплоаккумулятора, градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура внутрішньої передньої стінки, °C
0,5	20,3
1	31,4
1,5	51,4
2	82,6
3	108,5
4	130,3
5	149,1
6	163,7
7	177,1
8	190,5
9	202,8
10	215,1
11	227,2
12	237,8



Рис. 7.11. Графік температури внутрішньої передньої стінки теплоаккумулятора (термопара №11)

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.12. Температура нижньої стінки теплоаккумулятора,
градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура низу, °С
0,5	18,8
1	19,5
1,5	20,4
2	21,8
3	23,2
4	23,7
5	24,1
6	24,7
7	25
8	25,7
9	26
10	26,8
11	27,2
12	28,1



Рис. 7.12. Графік температури нижньої стінки теплоаккумулятора
(термопара №15)

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.13. Температура верхньої стінки теплоаккумулятора,
градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура верху, °C
0,5	19,2
1	28,7
1,5	36,5
2	48
3	58,1
4	66,9
5	74,7
6	79,9
7	85
8	87,8
9	92
10	95,6
11	100
12	102,2

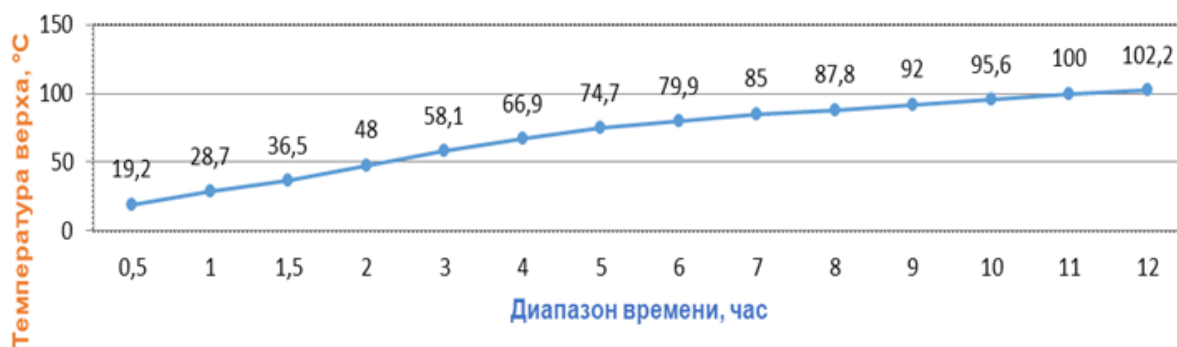


Рис. 7.13. Графік температури верхньої стінки теплоаккумулятора
(термопара №16)

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.14. Температура бічної сторони задньої стінки
теплоаккумулятора, градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура бічної сторони задньої стінки, °C
0,5	21,6
1	21
1,5	22,7
2	25
3	26,8
4	29,1
5	30,9
6	31,2
7	31,9
8	33,4
9	33,7
10	34,8
11	35,6
12	36,4

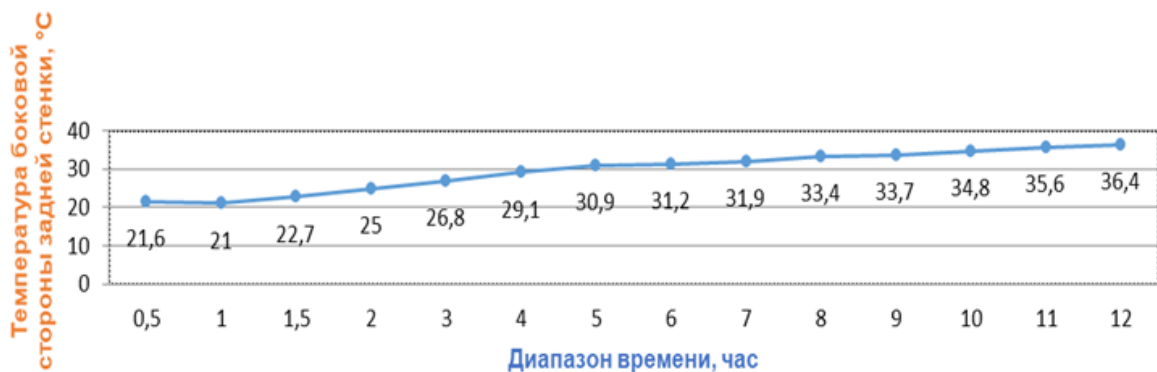


Рис. 7.14. Графік температури бічної сторони задньої стінки
теплоаккумулятора (термопара №10)

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.15. Споживана потужність, Вт

Діапазон часу, година	Потужність, Вт
0,5	1293
1	
1,5	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	

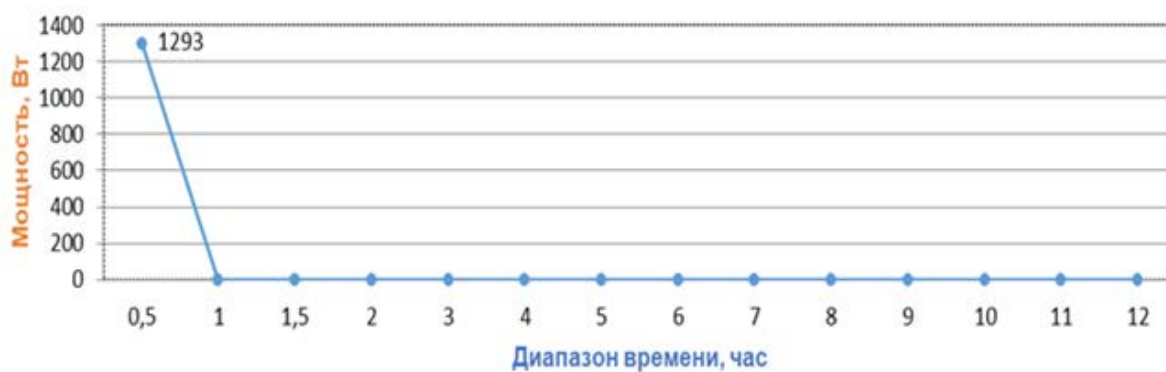


Рис. 7.15. Графік споживаної потужності

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.16. Показання лічильника електричної енергії, кВт

Діапазон часу, година	Споживання тепла, кВт
0,5	82,35
1	
1,5	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	

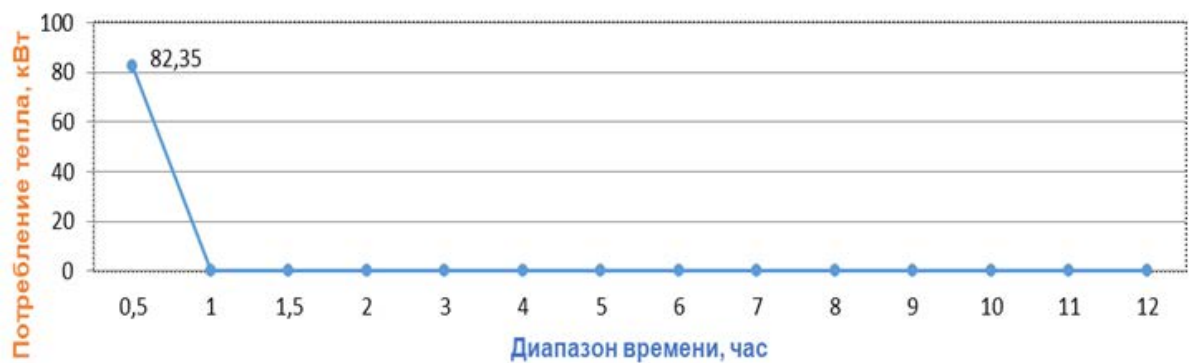


Рис. 7.16. Графік показань лічильника електричної енергії

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.17. Температура оточуючого середовища, градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура оточуючого середовища, °С
0,5	20,9
1	20,5
1,5	20,7
2	21,7
3	21,2
4	20,4
5	20,7
6	21
7	20,6
8	20,3
9	20,8
10	19,6
11	19,4
12	19,3



Рис. 7.17. Графік температури оточуючого середовища

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.18. Температура тена теплоаккумулятора, градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура тена, °С
0,5	796
1	675,1
1,5	589,9
2	513,8
3	433,2
4	371,8
5	316,6
6	267,4
7	225,5
8	192,6
9	165,5
10	143,2
11	125,5
12	109,5



Рис. 7.18. Графік температури тена теплоаккумулятора (термопара №13)

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.19. Температура задньої стінки теплоаккумулятора,
градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура задньої стінки, °C
0,5	588,8
1	507,4
1,5	432,4
2	383,4
3	343,5
4	310,8
5	285,3
6	256,7
7	221
8	190,2
9	164,7
10	141,9
11	125,3
12	109,4



Рис. 7.19. Графік температури задньої стінки теплоаккумулятора
(термопара №5)

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.20. Температура верхньої стінки теплоакумулятора,
градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура верхньої стінки, °C
0,5	632,4
1	630
1,5	539,5
2	465,2
3	387,1
4	347,3
5	311
6	263,4
7	226
8	190,4
9	160,1
10	136,7
11	122,4
12	105,4

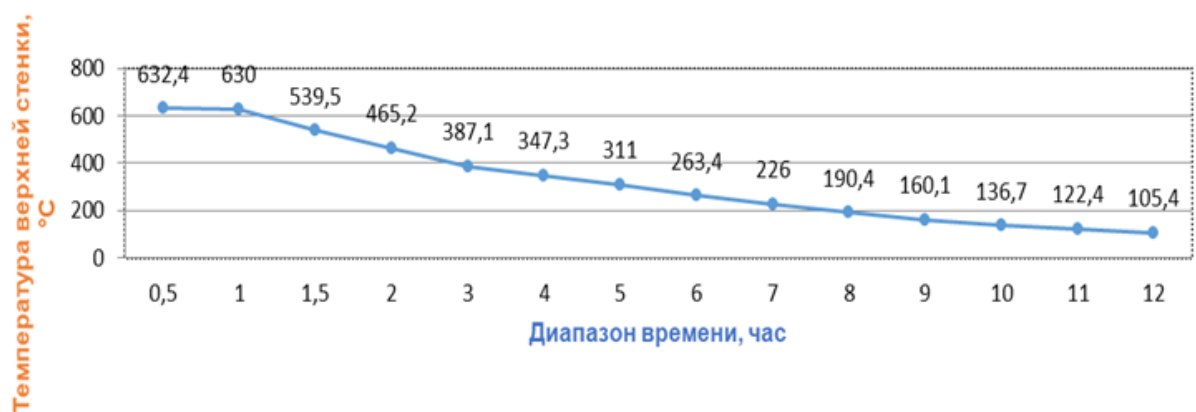


Рис. 7.20. Графік температури верхньої стінки теплоакумулятора
(термопара №14)

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА "TECHNOTHERM"

Таблиця 7.21. Температура нижньої стінки теплоакумулятора,
градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура нижньої стінки, °C
0,5	298,2
1	295,3
1,5	271
2	242,3
3	210,4
4	185,6
5	163,8
6	143,6
7	125,8
8	110,9
9	98,4
10	87,1
11	78,6
12	70,4



Рис. 7.21. Графік температури нижньої стінки теплоакумулятора
(термопара №7)

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.22. Температура бічної стінки теплоакумулятора,
градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура бічної стінки, °C
0,5	583
1	565
1,5	507,9
2	450
3	389,3
4	343,9
5	301,5
6	261,5
7	226,2
8	196,4
9	170,6
10	147,6
11	130,6
12	113,8

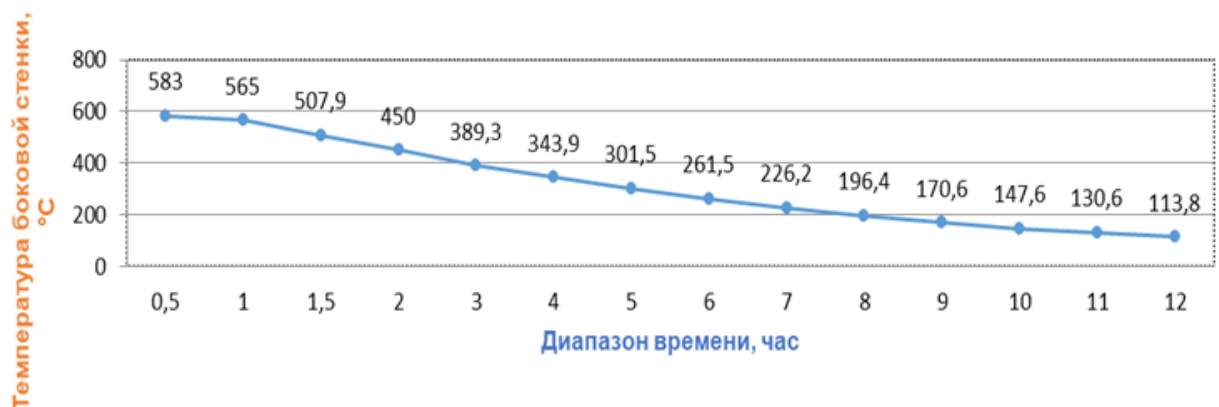


Рис. 7.22. Графік температури бічної стінки теплоакумулятора
(термопара №6)

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.23. Температура посередині між цеглинами теплоаккумулятора, градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура посередині між цеглинами, °С
0,5	737,7
1	700,9
1,5	631,1
2	564,3
3	493,7
4	436,5
5	380,3
6	327
7	280,5
8	241,4
9	207,7
10	178,3
11	156,3
12	135,5

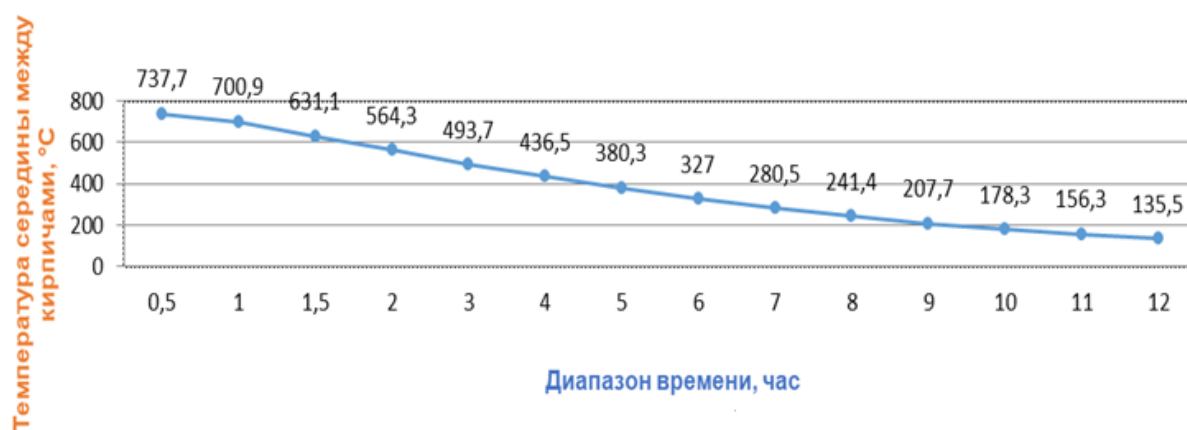


Рис. 7.23. Графік температури посередині між теплоносіями (цеглинами) теплоаккумулятора (термопара №9)

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.24. Температура внутрішньої передньої стінки теплоакумулятора, градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура внутрішньої передньої стінки, °С
0,5	216,1
1	214,9
1,5	194,2
2	175,9
3	155
4	138,4
5	123,7
6	109,8
7	97
8	86
9	77,3
10	68,5
11	62,5
12	56,4

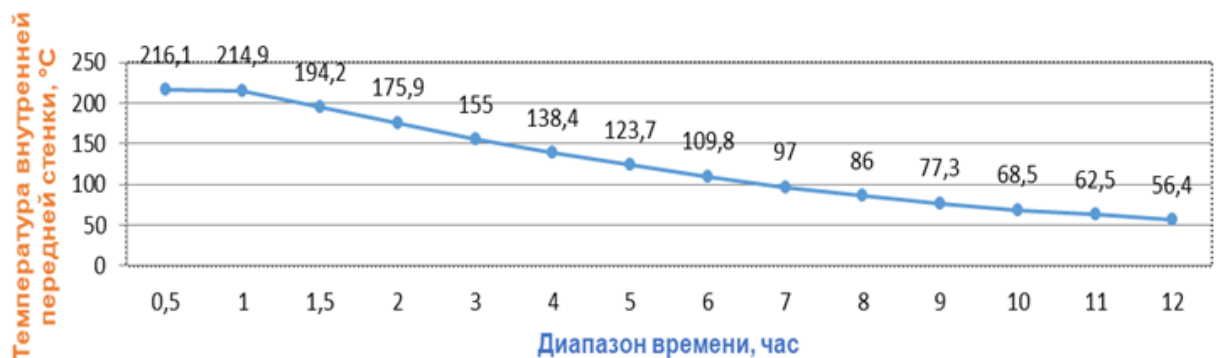


Рис. 7.24. Графік температури внутрішньої передньої стінки теплоакумулятора (термопара №11)

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.25. Температура нижньої стінки теплоакумулятора,
градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура низу, °С
0,5	28,2
1	25,9
1,5	26,3
2	26,1
3	25,2
4	23
5	23,3
6	23,9
7	22,6
8	21,6
9	22,2
10	21,5
11	21,2
12	20,7



Рис. 7.25. Графік температури нижньої стінки теплоакумулятора
(термопара №15)

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.26. Температура верхньої стінки теплоаккумулятора,
градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура верху, °С
0,5	151
1	147
1,5	136,3
2	124,5
3	118,5
4	109,3
5	103,4
6	95
7	83,1
8	75,3
9	69,2
10	62,1
11	56,7
12	51

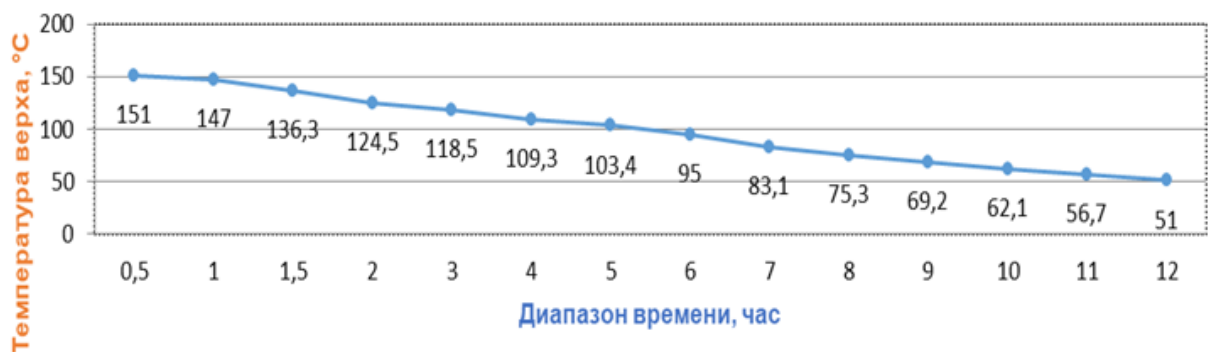


Рис. 3.26. Графік температури верхньої стінки теплоаккумулятора
(термопара №16)

Розділ 7. РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА
"TECHNOTHERM"

Таблиця 7.27. Температура бічної сторони задньої стінки теплоакумулятора, градуси Цельсія

Діапазон часу, година	Температура бічної сторони задньої стінки, °C
0,5	35,2
1	37,2
1,5	36,5
2	34
3	32,4
4	29,8
5	29,6
6	28,6
7	27,4
8	26
9	25,7
10	24,5
11	24,2
12	23,7

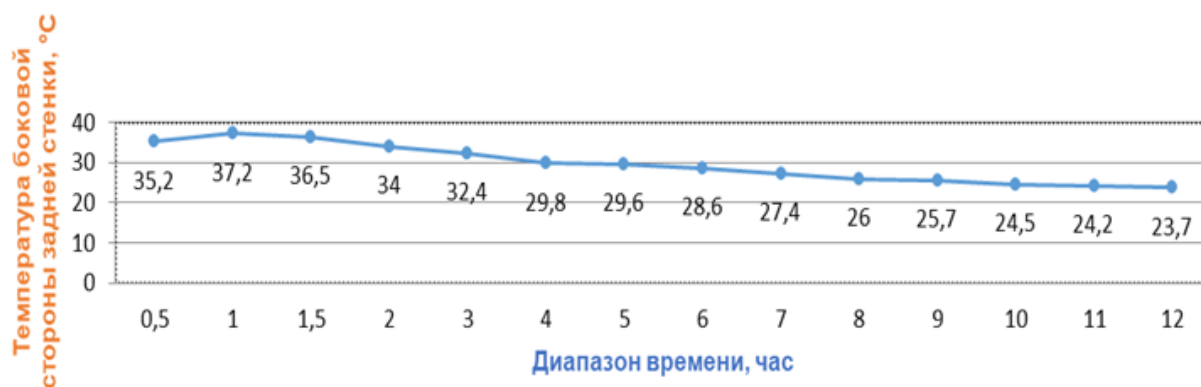


Рис. 7.27. Графік температури бічної сторони задньої стінки теплоакумулятора (термопара №10)

Висновки до розділу 7

1. У режимі накопичення тепла, з невідомої причини, внутрішній датчик температури не відключає теплоаккумулятор від електромережі. На 12-й годині роботи температура тена досягла 905 °С. Щоб не допустити пошкодження тена, теплоаккумулятор було відключено від мережі.

2. Пікова споживана потужність становить 1448Вт (залежить від напруги мережі).

3. Сумарне споживання енергії за час нагрівання (8 годин роботи) склало 10.8 кВт/година.

4. Максимальна температура складових частин теплоаккумулятора в режимі нагріву та тепловіддачі наведена у таблицях 3.2-3.27 та зображена на графіках рис. 3.2...3.27.

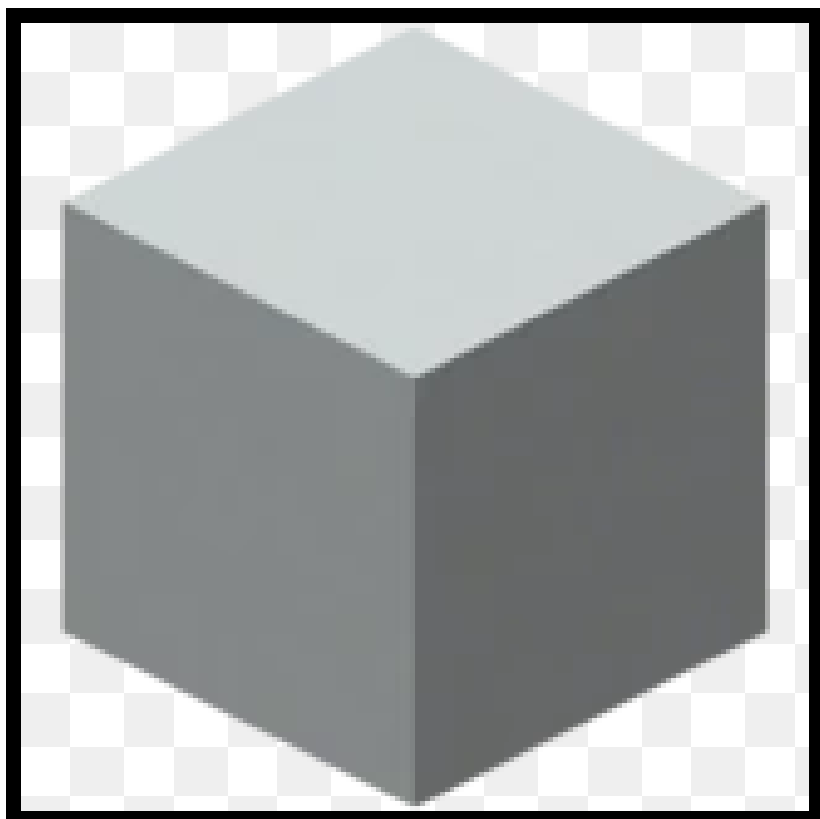
5. Температура корпусу у верхній частині теплоаккумулятора посередині становить 190,5 °С (8 годин роботи) та 237 °С (12 годин роботи). Необхідно передбачити захист від опіку (додатково встановити ще одну сітку зверху). Напису "Не накривати" недостатньо.

6. Конструкція теплоаккумулятора нестійка і схильна до перекидання (необхідно забезпечити захист від дітей).

7. Конструкція теплоаккумулятора забезпечує рівномірну віддачу накопиченого тепла.

РОЗДІЛ 8

РОЗРОБКА МАТЕРІАЛІВ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ТЕПЛОНАКОПИЧУВАЧІВ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА



8.1. Матеріали та методика проведення випробувань

Враховуючи характер роботи теплоакumuлюючого нагрівача, що розробляється, а саме високі до 700 °С температури нагріву, поперемінний нагрів-охолодження в камері, а також вплив теплофізичних характеристик матеріалів на процеси теплообміну, було прийняте рішення розробити та дослідити склади жаростійких бетонів, які можуть бути використані для виготовлення каменів-вкладишів. При цьому ставили завдання знайти заміну імпорнтним каменям – вкладишам з магнетиту, які застосовуються в імпорнтних теплоакumuлюючих нагрівачах.

Враховуючи розміри каменів-вкладишів, а саме 210 (довжина) x 195(ширина) x 45 (товщина), а також те, що камені - вкладиші наряду з високою теплоємністю повинні одночасно мати, по можливості, і підвищену теплоізоляційну здатність, підбирали матеріали, склади бетонів та технологію їх виготовлення. Враховували також можливість застосування вогнетривких матеріалів, які виробляються в Україні, а також і можливість використання відходів виробництв.

Виходячи з вищевказаного, було прийняте рішення про застосування в якості матеріалу каменів-вкладишів жаростійкого бетону на зв'язуючому з рідкого скла.

Позитивний досвід застосування в металургії складів жаростійких бетонів на рідкому склі [1] показав, що вони володіють рядом характерних властивостей, які мають переваги в порівнянні з традиційними бетонами на цементних та інших в'язучих, а саме:

- ✓ володіють прискореними термінами схвачування. При цьому, розпалубку таких бетонів можна виконувати вже на протязі 30 - 80 хвилин після укладки суміші;
- ✓ твердіння цих бетонів відбувається повітряно-сухих умовах;
- ✓ високі літні температури не є перешкодою для виготовлення і твердіння бетону;
- ✓ відсутність спеціальних заходів нагляду за бетоном, який укладений (таких як періодичне зволоження при використанні в якості в'язучого портландцементу, глиноземного або високоглиноземного цементів), що значно знижує трудоемність робіт.

В якості заповнювача, вважаючи на малу товщину каменів-вкладишів раціонально використовувати шамотний заповнювач дрібнозернистої фракції до 10 мм. При цьому цей заповнювач для максимального ущільнення суміші бажано розділити на дві фракції 2-5 мм та 5-10 мм.

В якості тонкомолотої добавки використовували мертель шамотний МШ-36 та периклазохромітовий порошок, який отримували шляхом подрібнення відпрацьованої сводової цегли металургійного виробництва.

Розділ 8. РОЗРОБКА МАТЕРІАЛІВ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ТЕПЛОАКОПИЧУВАЧІВ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

В якості ініціатора твердіння рідкого скла використовували кремнефтористий натрій (Na_2SiF_6).

Хімічний склад компонентів бетонної суміші наведений в табл. 8.1.

Таблиця 8.1. Хімічний склад компонентів бетонної суміші

Найменування компонентів	Хімічний склад, %							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Cr_2O_3	Na_2O K_2O	$\Delta m_{\text{прк}}$
Шамотний заповнювач	62,0	31,98	1,6	0,78	0,27	-	1,38	0,12
Мертель МШ-39	53,28	39,52	1,54	1,58	-	-	-	2,97
Периклазохроміт	4,2	2,75	2,4	2,15	68,0	18,5	-	1,82
Рідке скло	31,5	-	-	-	-	-	11,3	-

Зразки жаростійких бетонів готували методом вібрування на лабораторній віброплощадці з амплітудою і частотою коливання 1,1 мм та 2860 кол/хв., відповідно.

Всі склади бетонних сумішей виготовляли в лабораторній мішалці в наступному порядку: подавали в мішалку сипучі компоненти і суміш перемішували на протязі 2 хв, потім додавали в'язуче і усю суміш перемішували протягом 3 хв.

Зразки витримували добу в повітряно - сухих умовах при нормальній температурі, розпалублювали і подавали на сушку. Сушку жаростійких бетонів проводили в сушильній шафі при температурі 110 °С до постійної маси.

Склади бетонних сумішей наведені в табл. 8.2.

Таблиця 8.2. Склади бетонних сумішей

№ п/п	Найменування компонентів	№ складу/ вміст, мас%	
		1	2
1	Шамот фракції 5-10мм	39,5	34,9
2	Шамот фракції 2-5мм	21,9	26,3
3	Мертель шамотний МШ-39	-	21,8
4	Периклазохроміт	21,9	-
5	Кремнефтористий натрій	1,3	1,7
6	Рідке скло	15,4	15,3

Міцність бетону на стиск в охолодженому стані після нагріву до температур визначали в МПа згідно нормативного документа [2] на зразках - кубах розмірами 100 x 100 x 100 мм. Зразки нагрівали в електричній нагрівальній печі до температур 200, 400, 600 і 800 °С зі швидкістю підйому температури 150 °С за годину, витримували при заданій температурі 4 години і охолоджували до нормальної температури разом з піччю.

Зразки доводили до руйнування на гідравлічному пресі П-125 зі швидкістю 4 кН за секунду Межу міцності на стиск визначали шляхом ділення руйнівного навантаження до площі поперечного перерізу зразка.

Термічну міцність в теплосмінах визначали на зразках – кубах розмірами 70x70x70мм [2]. Зразки поміщали в електричну нагрівальну піч, яка була попередньо розігріта до температури 800 °С і витримували на протязі 40 хв. Потім зразки діставали з печі і охолоджували струменем повітря з вентилятора до кімнатної температури на протязі 20 хв. Потім нагрівання та охолодження повторювали. Після кожної теплосміни зразки, які були охолоджені, оглядали, відмічали наявність тріщин, їх розкриття та руйнування зразків.

Лінійну вогневу усадку бетонів у % визначали на зразках розмірами 70x70x70 мм наступним чином. Після розпалубки кубів на чотирьох протилежних гранях (по висоті зразка) наносили чотири лінії паралельно центральній вісі. Довжину ліній брали за вихідний розмір. Вимірювання проводили штангенциркулем. Після сушіння та нагріву зразків розміри вимірювали знову, а усадку жаростійкого бетону обчислювали за формулою:

$$\varepsilon = \frac{l_2 - l_1}{l_1} \times 100, \quad (8.1)$$

де: l_1 – початковий розмір зразка після розпалублення;

l_2 – розмір зразка після сушіння і нагріву до температури .

Відкриту пористість та уявну щільність визначали згідно з нормативним документом [3] на зразках 50x50x50 мм способом насичення рідиною та гідростатичного зважування.

Визначення коефіцієнта теплопровідності жаростійких бетонів проводили методом полого циліндру [4] на зразках внутрішнім діаметром 26 мм, зовнішнім діаметром 75 мм і висотою 67 мм, шляхом установленого теплового потоку, який проходить через одиницю поверхні зразка в одиницю часу при визначеному температурному градієнті. Коефіцієнт теплопровідності визначали за формулою:

$$\lambda = \frac{\ln \frac{r_1}{r_2} \cdot 0,24IV}{2\pi l \cdot T_2 - T_1} \quad (8.2)$$

де: T_2 – температура «гарячої» поверхні зразка з радіусом r_2 , °С;
 T_1 – температура «холодної» поверхні зразка з радіусом r_1 , °С;
 $0,24IV$ – кількість тепла, яке вивільняється нагрівачем при протіканні струму I (А), з падінням напруги V (В) на ділянці l (см), кал;
 l – довжина зони полого циліндру, см.

Температури «гарячої» та «холодної» поверхні зразка вимірювали хромель - алюмелевими термопарами.

8.2. Результати дослідження властивостей жаростійких бетонів

Результати дослідження міцності на стиск жаростійких бетонів наведені в табл. 8.3.

Таблиця 8.3. Міцність на стиск жаростійких бетонів після нагріву

Номера складів	Межа міцності при стиску, МПа / в процентах (знаменник) після				
	сушки при 110°С	нагріву до 200°С	нагріву до 400°С	нагріву до 600°С	нагріву до 800°С
1	<u>26,8</u> 100	<u>24,2</u> 90,3	<u>21,8</u> 81,3	<u>19,6</u> 73,1	<u>18,0</u> 67,2
2	<u>19,8</u> 100	<u>19,7</u> 99,5	<u>19,8</u> 100	<u>20,0</u> 101,0	<u>21,4</u> 108,1

Як видно з даних, наведених в табл. 8.3, міцність на стиск жаростійкого бетону складу 1 (з тонкомолотою добавкою з периклазохроміту) зменшується з підвищенням температури нагріву. Найбільш суттєве зменшення міцності відбувається при нагріванні до температур 800 °С, при цьому залишкова міцність бетону складу 1 складає 67,2%. Міцність на стиск жаростійкого бетону складу 2 (з тонкомолотою добавкою з мертелю шамотного МШ-39), навпаки, складу 1 поступово збільшується при підвищенні температури до 800 °С і складає 108,1%. Враховуючи максимальну температуру нагріву в камері теплоакумулюючого пристрою, яка складає 700 °С, можна стверджувати про, приблизно, однакову міцність обох складів жаростійких бетонів при дії високих температур.

Розділ 8. РОЗРОБКА МАТЕРІАЛІВ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ТЕПЛОНАКОПИЧУВАЧІВ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

Результати визначення вогневої усадки, відкритої пористості та уявної щільності жаростійких бетонів наведені в табл. 8.4.

Як видно з даних, наведених в табл. 8.4, уявна густина обох складів жаростійких бетонів зменшується з підвищенням температури нагріву, а відкрита пористість цих складів, відповідно, підвищується. Бетон складу 1 (з тонкомолотою добавкою з периклазохроміту) після сушки має підвищений показник щільності, який дорівнює $2,05 \text{ г/см}^3$ в порівнянні зі складом 2 (з тонкомолотою добавкою з мертелю шамотного МШ-39), щільність якого дорівнює $1,92 \text{ г/см}^3$. З підвищенням температури нагріву до $800 \text{ }^\circ\text{C}$ уявна щільність складу 1 змінюється незначно, що пов'язано зі стабільністю властивостей тонкомолотого периклазохроміту при температурах менше $800 \text{ }^\circ\text{C}$. Щільність бетону складу 2 змінюється також незначно і при температурі $800 \text{ }^\circ\text{C}$ складає $1,87 \text{ г/см}^3$.

Таблиця 8.4. Уявна щільність, відкрита пористість та вогнева усадка жаростійких бетонів після нагріву

№ складів	Уявна щільність, г/см^3				Усадка, %			
	Відкрита пористість, %				після сушки при 110°C	після нагріву до температури, $^\circ\text{C}$		
	після сушки при 110°C	після нагріву до температури, $^\circ\text{C}$				400	600	800
		400	600	800				
1	<u>2,05</u> 20,8	<u>2,03</u> 23,1	<u>2,03</u> 23,7	<u>2,02</u> 24,9	0,39	0,42	0,43	0,37
2	<u>1,92</u> 20,5	<u>1,90</u> 22,8	<u>1,89</u> 23,4	<u>1,87</u> 24,7	0,42	0,47	0,48	0,48

Відкрита пористість жаростійких бетонів підвищується з підвищенням температури нагріву до $800 \text{ }^\circ\text{C}$ з 20,8 до 24,9% у складу 1 та з 20,5 до 24,9% у складу 2, відповідно.

Вогнева усадка жаростійких бетонів складів 1 і 2 підвищується зі зростанням температури нагріву. Винятком є жаростійкий бетон складу 1 (з тонкомолотою добавкою з периклазохроміту) при температурах нагріву до $800 \text{ }^\circ\text{C}$. В даному випадку відбувається зменшення лінійної усадки до 0,39% за рахунок утворення мінералу форстериту і, відповідно ущільнення в'язучої речовини, яка розташовується між зернами заповнювача.

Результати визначення коефіцієнту теплопровідності та термічної стійкості жаростійких бетонів наведені в табл. 8.5.

Як видно з даних, наведених в табл. 8.5, коефіцієнт теплопровідності складу 2 (з тонкомолотою добавкою з мертелю шамотного МШ-39) має значно нижчі значення при нагріванні ніж аналогічний коефіцієнт у бетону

Розділ 8. РОЗРОБКА МАТЕРІАЛІВ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ТЕПЛОАКОПИЧУВАЧІВ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

складу 1 (з тонкомолотою добавкою з периклазохроміту). При цьому величина цього коефіцієнту визначається виключно теплопровідністю тонкомолотої добавки.

При однократному нагріванні і охолодженні міцність жаростійких бетонів складу 2 (з тонкомолотою добавкою з мертелю шамотного МШ-39) не знижується, а, навпаки, суттєво збільшується до 119,2%. Бетон складу 2 показав найбільшу кількість теплосмін до появи відкритих тріщин – 32, а зразки цього складу через 40 теплосмін не зруйнувалися. У бетону складу 1 (з тонкомолотою добавкою з периклазохроміту) після першої теплосміни міцність незначно знижується до 97,8%. Кількість теплосмін у бетону складу 1 до появи відкритих тріщин складає 25, а до руйнування – 31.

Таблиця 8.5. Коефіцієнт теплопровідності та термічна стійкість жаростійких бетонів при температурах нагріву

№ складів	Коефіцієнт теплопровідності, $\frac{Вт}{м \cdot К}$, при температурі, °С				Термічна стійкість			
	110	400	600	800	межа стійкості при стиску, МПа (чисельник) та відносна міцність, % (знаменник)		кількість теплосмін	
					після сушки при 110°С	після однієї теплосміни	до появи відкритих тріщин	до руйнування
1	1,0	1,02	1,15	1,18	$\frac{26,8}{100}$	$\frac{26,2}{97,8}$	25	31
2	0,89	0,95	1,03	1,11	$\frac{19,8}{100}$	$\frac{23,6}{119,2}$	32	Більш 40

Зниження термостійкості бетону складу 1 можна пояснити кородованою поверхнею периклазохроміту на границі його контакту з зернами шамоту і послаблення контакту між заповнювачем і в'язучою речовиною при нагріванні до 8000С. При цьому, при таких низьких для периклазохроміту температурах нагріву не відбувається утворення шпінеліду неоднорідного складу, який розташовується на зернах заповнювача, сприяє адгезії в'язучої речовини до заповнювача.

Висновки до розділу 8

1. Проведений аналіз роботи імпортного теплоакумуючого нагрівача показав, що для виготовлення каменів - вкладишів можуть бути застосовані склади жаростійкого бетону на матеріалах, які виробляються і використовуються в Україні.

2. Дослідження складів жаростійких бетонів дозволило визначити компоненти бетонних сумішей для виготовлення каменів-вкладишів а саме: шамотний заповнювач фракцій 2-5 і 5-10мм, тонкомолоті добавки – периклазохроміт та мертель шамотний МШ-39, зв'язуюче – рідке скло та твердник рідкого скла – кремнефтористий натрій.

3. Визначені основні фізико-механічні та теплотехнічні характеристики жаростійких бетонів, такі як міцність, уявна щільність, відкрита пористість та усадка після нагріву до температур 110 – 800 °С, а також термічна стійкість при нагріванні до 800 °С та охолодженні на повітрі до 20 °С і коефіцієнт теплопровідності при температурах 110 – 800 °С.

4. Враховуючі високі показники термостійкості – більш 40 тепломін, та менший коефіцієнт теплопровідності при температурах 110 – 800 °С, який дорівнює $0,89 - 1,11 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$, економічно більш доцільно в якості жаростійкого бетону для виготовлення каменів вкладишів використовувати склад 2 з тонкомолотою добавкою з мертелю МШ-39.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 8

1. Конопляник А. Ю. Опыт и перспектива применения жаростойких бетонов и огнеупорных смесей в тепловых агрегатах и конструкциях /Конопляник А.Ю., Бородин А.А. // Теория и практика металлургии. – 1999. – №1. – С. 53 – 54.
2. ГОСТ 20910-2019. Бетоны жаростойкие. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2019. – 20 с.
3. ГОСТ 2409 - 95 (ИСО 5017-88). Межгосударственный стандарт. Огнеупоры. Метод определения кажущейся плотности, открытой и общей пористости, водопоглощения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1996.
4. Пустовалов В.В. Теплопроводность огнеупоров. – М.: Металлургия, 1966.–212 с.

РОЗДІЛ 9

РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА



Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ
ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

9.1. Загальні положення

При розробці теплоізоляційних конструкційних плит теплоаккумулятора керувалися такими основними передумовами:

- ✓ температура в теплонакопичувачі може підніматись до 1000-1200 °С [1];
- ✓ згідно вимог теплоізоляційні конструкційні плити повинні мати технічні характеристики і габаритні розміри:
 - ✓ виготовляться на вермікулітовому заповнювачі;
 - ✓ об'ємна вага – 650-700 кгс/м³;
 - ✓ вологість до 5%;
 - ✓ ширина – від 700 до 1000 мм;
 - ✓ товщина - max 50 мм;
 - ✓ є позитивний досвід застосування легких жаростійких бетонів об'ємною вагою 800 кгс/м³ і менше із заповнювачами зі спученого перліту та вермикуліту [4, 5], проте максимальна температура застосування таких складів на перлітовому заповнювачі з в'язучими з рідкого скла та глиноземистого цементу складає 800-1000 °С [4], а температура застосування складів на вермікулітовому заповнювачі з тими ж в'язучими становить 1000-1100 °С [5].

9.2. Характеристика вихідних матеріалів та технологія виготовлення сумішей

Усього було виготовлено та випробувано 25 складів теплоізоляційних бетонів. Було використано три різні типи в'язучих:

- а) глиноземистий цемент;
- б) високоглиноземний цемент;
- в) рідке скло.

Така різноманітність складів викликана різною вогнетривкістю кожного в'язучого, а отже, і температурою застосування бетонів на їх основі.

Як матеріали - компоненти бетонів використовували такі матеріали:

Спучений вермікулітовий щебінь фракції 1,25 - 5мм та вермікулітовий пісок фракції 0,63 - 1,25мм українського виробництва НВП «Укрвермикуліт» за ГОСТ 12865-67 [15];

Високоглиноземний цемент GORKAL 70 виробництва цементного заводу м. Горка, Польща;

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

Глиноземний цемент GORKAL 40 виробництва цементного заводу м. Горка, Польща;

Портландцемент М400 за ГОСТ 10178-85;

Скло натрієве рідке за ГОСТ 13078-81 щільністю 1,4 г/см³;

Тонкомолота силікатна добавка.

Усі склади теплоізоляційних бетонів виготовляли у такому порядку. Спочатку ретельно перемішували протягом 2-х хвилин сипучі компоненти, потім додавали воду або рідке скло і всю суміш перемішували 2 – 3 хвилин до отримання однорідної маси. Перед додаванням рідкого скла його розводили до необхідної щільності.

Враховуючи максимальну товщину теплоізоляційних плит, що дорівнює 50 мм, зразки бетону виготовляли розміром 50х50х50мм для дослідження усадки, міцності при стисканні та вологості (рис. П.1.1, рис. П.1.2). Для дослідження теплопровідності та оцінки цілісності бетону зразки виготовляли розміром 140 x 160 x 40 мм (рис. П.1.6 - П.1.8). Зразки виготовляли шляхом ручного ущільнення у формах. При виготовленні та витримці зразків температура повітря становила 18 – 20 °С, вологість – 45 - 50%.

Зразки з теплоізоляційних сумішей витримували добу до розпалубки. Після розпалубки склади бетонів витримували певну кількість діб, а потім сушили при температурі 105 – 110 °С до постійної ваги.

9.3. Методика проведення випробувань

Об'ємну вагу кг/м³ зразків визначали шляхом їх контрольного зважування гравіметричним методом.

Вихідну міцність бетону на стиск в МПа визначали згідно з нормативним документом [8] після сушіння зразків, витриманих в нормальних умовах певну кількість діб. Зразки доводили до руйнування на 2,5 тонному пресі УММ - 20 зі швидкістю підйому навантаження 10 кГс за секунду. Межу міцності на стиск визначали шляхом відношення руйнівного навантаження до площі поперечного перерізу зразка.

Міцність бетону на стиск після нагрівання до певних температур визначали у відповідність до [9]. Зразки нагрівали в електричній нагрівальній печі до температур 800, 1000, 1100 і 1200 °С за режимом підйому температури у відповідності до нормативного документа [6]. Після нагрівання до температури 800 °С зразки витримували 2,5 години, а після нагрівання до температур 1000 – 1200 °С витримка становила 1,5 години. Після витримки за відповідних температур зразки охолоджували разом з

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

піччю. Вид зразків теплозахисних бетонів на різних в'язучих після нагрівання до температури 800 °С наведено на рис. П.1.3 - П.1.5.

Лінійну усадку бетонів у % визначали наступним чином. Після розпалубки кубиків на чотирьох протилежних гранях (по висоті зразка) наносили чотири лінії паралельно до центральної осі. Довжину ліній брали за вихідний розмір. Вимірювання проводили штангенциркулем. Через певну кількість діб зберігання зразків, а також після їх сушіння та нагрівання розміри вимірювали знову, а усадку вогнестійкого бетону обчислювали за формулою:

$$\varepsilon = \frac{l_2 - l_1}{l_1} \times 100, \quad (9.1)$$

де: l_1 - початковий розмір зразка після розпалубки;

l_2 – розмір зразка після зберігання протягом певної кількості доби, сушіння або нагрівання.

Об'ємну усадку у % визначали шляхом фіксації зміни об'єму зразків за формулою:

$$\varepsilon_v = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100, \quad (9.2)$$

де: V_1 – початковий об'єм зразка після розпалубки;

V_2 – об'єм зразка після зберігання протягом певної кількості діб, сушіння або нагрівання.

Вологість бетону перед сушінням після витримки зразків у нормальних умовах протягом певної кількості діб визначали ваговим способом у відповідність до джерела [10]. Аналогічно визначали вологість оптимальних складів бетонів після сушіння та витримки зразків у нормальних умовах.

Теплопровідність бетонів після сушіння та нагрівання до температури 1000 °С (і подальшого охолодження) визначали поверхневим перетворювачем у відповідність до джерела [11]. Для цього були виготовлені зразки розмірами 140 x 160 x 40 мм, що мають рівні плоскі поверхні для розміщення первинного перетворювача та забезпечення теплового контакту між ними. Вигляд установки та проведення випробувань на теплопровідність наведено на рис. П.1.9.

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

Для оцінки цілісності бетону використовували зразки розмірами 140 x 160 x 40 мм. У нагрівальній печі зразки встановлювали таким чином, щоб забезпечити одностороннє нагрівання однієї з поверхонь (рис. П.1.10). Температуру з боку поверхні, що обігривається, піднімали до 1000 °С за режимом підйому температури у відповідність з нормативним документом [6].

Після нагрівання до температури 1000 °С її витримували 1,5 години, що відповідає часу забезпечення цілісності плит.

Цілісність зразків оцінювали за наявності наскрізних тріщин і наявності полум'я на поверхні, що не обігривається, зразка, яке може виникнути шляхом проникнення вогню через ці тріщини. Крім того, на поверхні зразка, що обігривається, у відповідність до вимог нормативного документа [7] виділяли 9 характерних точок, в яких вимірювали деформації після нагрівання. Зразки бетонів на різних в'язучих до і після випробувань на цілісність наведені на рис. П.1.11 - П.1.13.

9.4. Результати випробувань

Випробування проводилися в 5 етапів на кожному з яких вирішувалися певні завдання.

9.4.1. Результати першого етапу випробувань

На першому етапі випробувань завдання стояло в початковому пошуку співвідношення компонентів для отримання складів необхідної щільності, а також відпрацювання технологічного процесу виготовлення складів бетонів.

На першому етапі відпрацювання технологічного процесу виготовлення складів проводили з в'язучим з глиноземистого цементу. Великим заповнювачем служив вермікулітовий щебінь, а дрібним – вермікулітовий пісок. Всього на першому етапі було виготовлено та випробувано 4 склади вогнестійких бетонів. Склади вогнестійких сумішей наведено у таблиці 9.1.

Визначали об'ємну вагу бетону через 3 і 7 діб зберігання в нормальних умовах, а також висушених після зберігання при температурі 110 °С, межу міцності при стисканні висушених зразків, а також вологість зразків бетону

**Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ
ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА**

через 3 і 7 діб зберігання по відношенню до зразків бетону після сушіння. Властивості складів вогнестійких бетонів наведено у табл. 9.2.

Таблиця 9.1. Склади вогнестійких сумішей на глиноземистому цементі

Найменування компонентів	Витрата компонентів, % за масою складу			
	1	2	3	4
Вермикулітовий щебінь	14,1	11,0	17,6	18,9
Вермикулітовий пісок	7,8	6,3	-	-
Глиноземистий цемент	25	37,5	39,2	30,1
Вода	53,1	45,2	43,2	51,0
Співвідношення вода: цемент	2,125	1,21	1,1	1,69

Таблиця 9.2. Властивості теплоізоляційних бетонів на глиноземистому цементі

№ складів	Об'ємна вага, кг/м ³		Межа міцності при стисканні, МПа		Вологість, %	
	<u>3сут</u> сушки	<u>7сут</u> сушки	3сут	7сут	3сут	7сут
1	<u>584</u> 408	<u>500</u> 420	0,51	0,86	30,14	15,2
2	<u>840</u> 608	<u>740</u> 609	1,3	1,73	27,62	16,76
3	<u>664</u> 496	<u>756</u> 491	0,63	0,7	25,3	13,2
4	<u>664</u> 464	<u>496</u> 437	0,6	0,8	30,12	12,9

Висновки.

1. На глиноземистому цементі отримано склади легких теплоізоляційних бетонів з об'ємною вагою 415, 450, 495, 610 кг/м³.

2. Міцність бетонів складів 1 і 2 з великим і дрібним заповнювачем з вермикуліту, висушених до постійної ваги після витримки 7 діб у нормальних умовах збільшується в 1,33-1,7 рази порівняно з міцністю цих складів, витриманих 3 доби. Міцність бетонів складів 3 і 4 тільки з великим вермикулітовим заповнювачем збільшується меншою мірою, а саме, в 1,12-1,325 рази.

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ
ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

9.4.2. Результати другого етапу випробувань

На другому етапі випробувань ставилося завдання отримати склади теплоізоляційних бетонів на різних в'язучих об'ємною вагою 650-700 кг/м³, а також дослідити закономірність зміни їх властивостей у віці 3, 7 та 14 діб. На другому етапі відпрацювання технологічного процесу виготовлення складів проводили з в'язучими з глиноземистого та високоглиноземистого цементів, а також рідкого скла. Всього на другому етапі було виготовлено та випробувано 6 складів вогнестійких бетонів. Склади вогнестійких сумішей наведено у таблиці 9.3.

Визначали об'ємну вагу бетону через 3, 7 і 14 діб зберігання в нормальних умовах, а також висушених після зберігання при температурі 110 °С, лінійну та об'ємну усадку після зберігання та сушіння зразків, межу міцності при стисканні висушених зразків, а також вологість зразків бетону через 3, 7 та 14 діб зберігання по відношенню до зразків бетону після сушіння. Властивості складів вогнестійких бетонів наведено у таблиці 9.4.

Таблиця 9.3. Склади теплоізоляційних сумішей

Найменування компонентів	Витрата компонентів, % за масою складу					
	21	31	5	6	7	8
Вермикулітовий щебінь	10,7	13,2	10,5	14,1	8,9	13,7
Вермикулітовий пісок	5,3	-	5,3	-	4,4	-
Глиноземистий цемент	37,3	34,2	-	-	-	-
Високоглиноземистий цемент	-	-	36,8	36,6	-	-
Тонкомолота силікатна добавка	-	-	-	-	26,7	27,4
Вода	46,7	52,6	47,4	49,3	-	-
Портландцемент	-	-	-	-	4,4	5,5
Рідке скло	-	-	-	-	55,6	53,4
Співвідношення вода : цемент	1,25	1,54	1,29	1,35	1,785	1,62

Примітка: Для складів 7 і 8 і надалі для всіх складів на рідкому склі наведено співвідношення: рідке скло : тонкомолота добавка + портландцемент.

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ
ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

Висновки.

1. Отримано склади легких теплоізоляційних бетонів на глиноземистому цементі об'ємною вагою 575 та 605 кг/м³, на високоглиноземистому цементі – 545 кг/м³ та рідкому склі – 600 та 640 кг/м³.

2. Лінійна та об'ємна усадка всіх складів бетонів збільшується зі зростанням терміну зберігання зразків.

Найбільшу усадку мають зразки на рідкому склі. Так, об'ємна усадка зразків після 14 діб зберігання у нормальних умовах становить 4,32-5,58 %. А після сушіння усадка значно збільшується і становить 9,27-10,28 %. Навіть після 3 діб зберігання та сушіння величина об'ємної усадки зразків значна і становить 6,58-7,27 %.

Таблиця 9.4. Властивості теплоізоляційних бетонів

№ склади- дів	Обємна вага, кг/м ³				Усадка,%, лінійна обємна			Межа міцності при стисканні, МПа			Вологість,%		
	після роз- палубки	<u>3доби</u> сушка	<u>7діб</u> сушка	<u>14 діб</u> сушка	<u>3 доби</u> сушка	<u>7 діб</u> сушка	<u>14 діб</u> сушка	3 доби	7 діб	14 діб	3 доби	7 діб	14 діб
21	898	<u>794</u>	<u>694</u>	<u>700</u>	+0,06/0,54	0,1/0,96	0,64/1,09	1,1	1,17	1,54	26,2	15,6	13,55
		<u>597</u>	<u>597</u>	<u>614</u>	0,5/2,5	0,56/2,56	2,26/3,58						
31	881	<u>749</u>	<u>685</u>	<u>675</u>	+0,08/0,5	+0,26/0,68	0,54/0,98	0,981	1,0	1,11	25,2	17,37	14,35
		<u>571</u>	<u>579</u>	<u>582</u>	0,53/2,72	1,01/2,95	2,14/3,46						
5	818	<u>708</u>	<u>633</u>	<u>644</u>	0,3/0,9	0,38/0,93	0,42/1,03	1,03	1,07	1,31	24,4	15,9	14,6
		<u>544</u>	<u>542</u>	<u>555</u>	0,29/1,73	1,5/2,66	1,8/3,12						
6	817	<u>676</u>	<u>640</u>	<u>628</u>	0,44/1,7	0,5/0,9	0,66/1,33	0,92	1,1	1,2	20,7	15,95	14,2
		<u>544</u>	<u>547</u>	<u>543</u>	0,68/2,42	1,58/2,9	3,2/3,8						
7	930	<u>820</u>	<u>756</u>	<u>729</u>	1,2/2,2	1,8/3,78	2,28/3,89	0,93	0,97	0,98	35,5	25,85	10,98
		<u>630</u>	<u>642</u>	<u>647</u>	1,8/7,27	4,11/10,6	5,58/10,28						
8	865	<u>745</u>	<u>710</u>	<u>644</u>	1,12/2,14	1,3/3,56	2,1/3,85	0,63	0,8	0,94	35,9	26,1	10,7
		<u>575</u>	<u>611</u>	<u>606</u>	1,44/6,58	2,85/8,9	4,32/9,27						

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

Така велика усадка бетонів на рідкому склі може викликати значну початкову напругу і призвести до зниження міцності твердіючого бетону. Досвід розробки та експлуатації в умовах виробництва складів жаростійких бетонів, накопичений в лабораторії жаростійких бетонів Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, показує, що найбільш раціонально проводити сушіння таких складів відразу після розпалубки бетону [12].

Об'ємна усадка після сушіння зразків з в'язучими з глиноземистого і високоглиноземистого цементів після 14доб зберігання становить 3,12 - 3,8 %, що в 2,7 - 2,97 раза менше усадки бетонів на в'язучому з рідкого скла.

3. Міцність зразків бетону зростає у часі їх зберігання з 3 до 14 діб.

Міцність зразків бетонів складів 21 і 31 з в'язучим на глиноземистому цементі зі збільшенням терміну зберігання з 3 до 7 діб зростає незначно, а саме в 1,02 – 1,07 рази. Подальше зберігання до 14сут веде до більш інтенсивного збільшення міцності, а саме в 1,1 - 1,31 рази.

Міцність зразків бетонів складів 5 і 6 з в'язучим на високоглиноземистому цементі зі збільшенням терміну зберігання з 3 до 7 діб зростає в 1,05 - 1,2 рази. Збільшення терміну зберігання до 14 діб веде до практично однакового збільшення міцності, а саме в 1,1 – 1,22 рази.

Міцність бетонів складів 7 і 8 на в'язучому з рідкого скла залежно від терміну зберігання змінюється незначно, за винятком зразків складу 8, коли витримка зразків з 3 до 7сут веде до збільшення міцності зразків в 1,26 рази.

4. Вологість зразків перед сушінням зменшується із збільшенням терміну зберігання. Найбільш значне зменшення вологості в 1,3 – 1,7 рази спостерігається зі збільшенням терміну зберігання від 3 до 7 діб.

9.4.3. Результати третього етапу випробувань

На третьому етапі випробувань ставилося завдання отримати склади теплоізоляційних бетонів на різних в'язучих об'ємною вагою 650 – 700 кг/м³, а також дослідити закономірність зміни їх властивостей у віці 7, 14 і 28 діб. При цьому особливу увагу необхідно було приділити зміні величини усадки бетонів на в'язучому з рідкого скла при зміні їх об'ємної ваги і збільшенні терміну зберігання зразків в нормальних умовах до 28сут. Всього на третьому етапі було виготовлено та випробувано 6 складів вогнестійких бетонів. Склади вогнестійких сумішей наведено у табл. 9.5.

Визначали об'ємну вагу бетону через 7, 14 і 28 діб зберігання в нормальних умовах, а також висушених після зберігання при температурі 110 °С, лінійну та об'ємну усадку після зберігання та сушіння зразків, между

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ
ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

міцності при стисканні висушених зразків, а також вологість зразків бетону через 7, 14 та 28 діб зберігання по відношенню до зразків бетону після сушіння. Властивості складів теплоізоляційних бетонів наведено у таблиці 9.6.

Таблиця 9.5. Склади вогнестійких сумішей на третьому етапі випробувань.

Найменування компонентів	Номери складів					
	Витрати компонентів, мас % / кг/м ³					
	22	32	51	61	71	81
Вермикулітовий щебінь	8,8	10,8	8,0	10,3	8,2	9,6
Вермикулітовий пісок	5,1	–	4,6	–	4,8	–
Глиноземистий цемент	43,2	47,3	–	–	–	–
Високоглиноземистий цемент	–	–	41,6	50,6	–	–
Тонкомолота силікатна добавка	–	–	–	–	34,0	34,5
Вода	42,9	41,9	45,8	39,1	–	–
Портландцемент	–	–	–	–	4,2	4,8
Рідке скло	–	–	–	–	48,8	51,1
Співвідношення: вода : цемент	1	0,89	1,1	0,77	1,28	1,3

Висновки.

1. Отримано склади легких теплоізоляційних бетонів на глиноземистому цементі об'ємною вагою 780 та 790 кг/м³, на високоглиноземистому цементі – 705 та 870 кг/м³ та рідкому склі – 835 та 880 кг/м³.

2. Лінійна та об'ємна усадка всіх складів бетонів збільшується зі зростанням терміну зберігання зразків з 7 до 14 діб. Подальше збільшення терміну зберігання зразків до 28 діб або незначно збільшує усадку, або зменшує її, як у складу 71 на в'язучому із рідкого скла.

Слід зазначити, що зі збільшенням об'ємної ваги зразків усадка збільшується для всіх бетонів на відповідних в'язучих.

Підтверджена значна усадка бетонів на рідкому склі, яка практично засвідчує про недоцільність великих термінів зберігання цих бетонів до сушіння.

Таблиця 9.6. Властивості теплоізоляційних бетонів

№ складів	Об'ємна вага, кг/м ³				Усадка,% лінійна об'ємна			Межа міцності при стисканні, МПа			Вологість,%		
	Після розпа-лубли	<u>7сут</u> сушка	<u>14сут</u> сушка	<u>28сут</u> сушка	<u>7сут</u> сушка	<u>14сут</u> сушка	<u>28сут</u> сушка	7 діб	14 діб	28 діб	7 діб	14 діб	28 діб
22	1087	<u>932</u> 781	<u>888</u> 786	<u>882</u> 799	0,2/0,65	0,46/0,8	0,87/1,18	2,08	2,56	2,76	17,36	12,28	10,34
					0,2/1,6	1,11/1,98	1,82/2,93						
32	1048	<u>907</u> 759	<u>897</u> 793	<u>870</u> 792	0,42/0,49	0,86/1,2	0,98/1,37	2,21	2,03	2,12	17,28	13,04	9,9
					1,02/2,03	1,24/2,86	1,79/2,79						
51	975	<u>843</u> 710	<u>793</u> 706	<u>767</u> 689	+0,99/0,53	0,39/0,71	0,47/1,15	1,94	2,05	1,97	17,05	12,64	10,9
					+0,05/2,09	0,99/1,92	1,16/2,82						
61	1120	<u>1020</u> 891	<u>959</u> 873	<u>911</u> 846	0,05/0,12	0,43/0,8	0,42/0,9	3,58	3,19	3,15	12,96	10,0	8,57
					1,48/1,84	1,06/2,2	1,1/2,66						
71	1160	<u>1107</u> 859	<u>965</u> 886	<u>913</u> 884	0,6/2,36	1,78/3,22	2,06/3,21	3,23	2,31	1,84	26,7	11,8	6,8
					1,18/6,65	5,39/9,17	4,76/8,3						
81	1125	<u>1095</u> 835	<u>892</u> 823	<u>882</u> 845	0,6/2,8	1,9/3,2	2,01/3,45	2,2	2,39	2,39	28,37	11,27	7,87
					1,85/7,0	4,75/8,44	5,08/8,68						

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

Застосування у складах бетонів одного тільки великого заповнювача (склади 32, 61 та 81) призводить до збільшення усадки порівняно з аналогічними складами з великим та дрібним заповнювачем (склади 22, 51 та 71), особливо у віці 7 діб. Подальше збільшення терміну зберігання до 14 і 28 діб веде або до незначного збільшення усадки у віці 14 діб або до деякого зменшення у віці 28 діб.

3. Зі збільшенням терміну зберігання зразків від 7 до 28 діб міцність бетонів змінюється незначно.

Зростання міцності зразків спостерігається тільки у складу 22 на глиноземистому цементі, коли збільшення терміну зберігання з 7 до 28 діб призводить до збільшення міцності зразків в 1,33 рази.

Міцність бетонів на високоглиноземистому цементі або не змінюється (склад 51) або зменшується в 1,14 рази (склад 61).

Міцність бетонів на рідкому склі або зменшується в 1,76 раза (склад 71) або трохи збільшується (склад 81).

4. Вологість зразків перед сушінням зменшується із збільшенням терміну зберігання. Найбільш значне зменшення вологості в 1,5-3,9 рази спостерігається зі збільшенням терміну зберігання від 7 до 28 діб.

5. Результати проведених на трьох етапах випробувань показали, що найбільш оптимальним терміном зберігання до сушіння, є вік 7 діб для бетонів на в'язучому з глиноземистого і високоглиноземистого цементів і вік 1 доба для бетонів на в'язучому із рідкого скла.

6. Найбільш раціонально вогнестійкі бетони виготовляти на вермикулітовому заповнювачі, що складається із щебеню та піску.

9.4.4. Результати четвертого етапу випробувань

На четвертому етапі випробувань ставилося завдання отримати склади вогнестійких бетонів на різних в'язучих об'ємною вагою 650-700 кг/м³, а також дослідити закономірність зміни їх властивостей у віці 7 діб. Усього на четвертому етапі було виготовлено та випробувано 9 складів вогнестійких бетонів. Склади вогнестійких сумішей наведено у табл. 9.7.

Визначали об'ємну вагу бетону після розпалубки, через 7 діб зберігання в нормальних умовах для бетонів на глиноземистому та високоглиноземистому цементі і через 1 добу зберігання – для бетонів на рідкому склі, а також висушених після зберігання при температурі 110 °С, лінійну та об'ємну усадку після відповідного зберігання зразків, межа міцності при стиску висушених зразків, а також вологість зразків бетону

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ
ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

через 7 і 1 добу зберігання по відношенню до зразків бетону після сушіння. Властивості складів теплоізоляційних бетонів наведено у табл. 9.8.

Таблиця 9.7. Склади теплоізоляційних сумішей на четвертому етапі випробувань

Найменування компонентів	Номера складів, витрати компонентів, мас. % / кг/м ³								
	23	24	25	26	52	72	73	74	75
Вермикулітовий щебень	9,4	9,2	9,1	8,8	8,8	8,7	8,7	8,7	8,2
Вермикулітовий пісок	5,4	5,3	4,5	4,4	5,0	4,3	4,4	4,4	4,2
Глиноземистий цемент	39,2	40,7	43,2	43,4	–	–	–	–	–
Високоглиноземистий цемент	–	–	–	–	43,1	–	–	–	–
Тонкомолота силікатна добавка	–	–	–	–	–	29,2	28,8	28,3	27,6
Вода	46,0	44,8	43,2	43,4	43,1	–	–	–	–
Портландцемент	–	–	–	–	–	4,3	4,4	4,9	4,8
Рідке скло	–	–	–	–	–	53,5	53,7	53,7	55,2
Співвідношення: вода : цемент	1,17	1,1	1	1	1	1,6	1,62	1,62	1,7

Висновки.

1. Отримано необхідні за об'ємною вагою складів легких теплоізоляційних бетонів: на глиноземистому цементі об'ємною вагою 655 і 700 кг/м³, на високоглиноземистому цементі - 700 кг/м³ та рідкому склі - 660 кг/м³.

2. Отримано близькі до необхідного інтервалу 650 - 700 кг/м³ складів вогнестійких бетонів з об'ємною вагою 600, 630 та 740 кг/м³.

3. Усадка бетонів зменшується із збільшенням об'ємної ваги зразків. При однаковій об'ємній вазі, що дорівнює 700 кг/м³, усадка бетонів на високоглиноземистому цементі (склад 52) менше усадки бетонів на глиноземистому цементі (склад 26). Усадка бетонів на рідкому склі значно перевищує усадку бетонів на глиноземистому та високоглиноземистому цементах.

4. Зі збільшенням об'ємної ваги бетонів міцність на стиск усіх складів зростає. Найбільшу міцність на стиск рівну 1,78 МПа має склад

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ
ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

теплоізоляційного бетону на глиноземистому цементі з об'ємною вагою, що дорівнює 700 кг/м³ (склад 26). Міцність однакового за об'ємною вагою складу 52 на високоглиноземистому цементі менша і становить 1,68 МПа.

Вогнестійкі бетони на рідкому склі мають нижчі показники міцності порівняно з аналогічними складами на інших в'язучих. Так, міцність на стиск бетону на рідкому склі з об'ємною вагою 660 кг/м³ (склад 75) у 1,57 рази менша за міцність аналогічного за об'ємною вагою бетону складу 25 на глиноземистому цементі.

Таблиця 9.8. Властивості теплоізоляційних бетонів

№ скл адів	Об'ємна вага, кг/ м ³			Усадка,% лінійна об'ємна		Межа міцності при стис- канні, МПа	Вологість,%	
	після розпа лубки	7 діб	після сушки	7 діб	після сушки		1 доба	7 діб
23	871	692	600	<u>0,27</u> 1,03	<u>0,87</u> 2,95	0,99	-	15,2 1
24	806	635	570	<u>0,4</u> 1,25	<u>0,97</u> 2,95	0,72	-	13,0 6
25	910	750	655	<u>0,32</u> 1,2	<u>0,7</u> 2,39	1,3	-	13,8 3
26	990	822	700	<u>0,33</u> 0,78	<u>0,65</u> 1,88	1,78	-	15,4
52	958	811	700	<u>0,33</u> 0,7	<u>0,42</u> 1,47	1,68	-	14,2 4
72	1034	-	740	-	<u>2,49</u> 7,29	1,44	33,67	-
73	884	-	630	-	<u>2,5</u> 7,31	0,68	33,77	-
74	900	-	630	-	<u>2,27</u> 7,12	0,78	34,9	-
75	952	-	660	-	<u>3,05</u> 8,09	0,83	36,37	-

9.4.5. Результати п'ятого етапу випробувань

На п'ятому етапі випробувань ставилося завдання випробувати оптимальні за об'ємною вагою 650 - 700 кг/м³ склади теплоізоляційних бетонів на різних в'язучих, а також дослідити закономірність зміни їх властивостей. Усього було отримано 4 такі склади.

Оскільки при пошуку оптимальних за об'ємною вагою складів отримані склади з близьким до зазначеного інтервалу об'ємною вагою, то закономірно було простежити і закономірність зміни їх властивостей. Тому, разом з оптимальними за об'ємною вагою складами було випробувано 3 склади з найбільш близьким до зазначеного інтервалу об'ємними вагами.

Усього на п'ятому етапі було випробувано 7 складів теплоізоляційних бетонів. Склади теплоізоляційних сумішей для виготовлення бетонів та їх об'ємні ваги наведено в табл. 9.9. Всі склади теплоізоляційних бетонів нагрівали в печі до температур 800, 1000, 1100 та 1200 °С. Після охолодження визначали об'ємну вагу зразків (табл. 9.10), лінійну, об'ємну усадку після зберігання, сушіння та випалу зразків (табл. 9.11), міцність при стисканні після сушіння та випалу зразків (табл. 9.12), теплопровідність зразків після сушіння та нагрівання до температури 1000 °С (табл. 9.13).

Крім визначення вищезгаданих властивостей фіксували вологість зразків, витриманих в нормальних умовах після сушіння протягом 2-28сут зберігання. Визначали цілісність складів бетонів при односторонньому нагріванні до 1000°С та деформації, виділяючи на поверхні зразка 9 характерних точок (табл. 9.13).

Як видно з даних, наведених в табл. 9.10, об'ємна вага теплоізоляційних бетонів істотно знижується при нагріванні зразків до 800°С, що пов'язано з випаровуванням фізично пов'язаної води та ущільненням структури бетону. При подальшому збільшенні температури до 1000°С об'ємна вага бетонів з в'язучими з високоглиноземистого і глиноземистого цементів зменшується мінімально, а бетонів з в'язучим з рідкого скла починає збільшуватися.

Збільшення температури нагріву до 1100-1200 °С у бетонів з в'язучими з високоглиноземистого та глиноземистого цементів або не змінює або збільшує мінімально їх об'ємну вагу. Аналогічне збільшення температури у бетонів із в'язучим з рідкого скла веде до збільшення об'ємної ваги зразків. Особливо це збільшення помітно при температурі нагрівання до 1200 °С, коли об'ємна вага складів 72 та 75 перевищує об'ємну вагу зразків після сушіння. При цьому відбувається значна деформація зразків і вони практично спікаються, утворюючи щільний «черепок».

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ
ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

Таблиця 9.9. Склади теплоізоляційних сумішей на п'ятому етапі випробувань

Найменування компонентів	Номера складів, витрати компонентів, мас. % / кг/м ³						
	52	23	25	26	72	74	75
Вермикулітовий щебінь	8,8	9,4	9,1	8,8	8,7	8,7	8,2
Вермикулітовий пісок	5,0	5,4	4,5	4,4	4,3	4,4	4,2
Глиноземистий цемент	—	39,2	43,2	43,4	—	—	—
Високоглиноземистий цемент	43,1	—	—	—	—	—	—
Тонкомолотий шлак	—	—	—	—	29,2	28,3	27,6
Вода	43,1	46,0	43,2	43,4	—	—	—
Портландцемент	—	—	—	—	4,3	4,9	4,8
Рідке скло	—	—	—	—	53,5	53,7	55,2
Співвідношення: вода : цемент	1	1,17	1	1	1,6	1,62	1,7
Об'ємна вага, кг/м ³	700	600	655	700	740	630	660

Примітка: Жирним шрифтом виділено оптимальні по об'ємній вазі складі.

Таблиця 9.10. Зміна об'ємної ваги вогнестійких бетонів

Номера складів	Об'ємна вага, кг/м ³ після				
	сушки при 110 ⁰ С	нагрівання до 800 ⁰ С	нагрівання до 1000 ⁰ С	нагрівання до 1100 ⁰ С	нагрівання до 1200 ⁰ С
52	700	590	585	590	590
23	600	525	520	525	525
25	655	575	570	550	560
26	700	605	605	610	610
72	740	700	705	710	745
74	630	610	610	605	620
75	660	615	640	640	670

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ
ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

Таблиця 9. 11. Вогнева усадка теплоізоляційних бетонів

Номера складів	Объемна вага, кг/м ³	Лінійная усадка, % (чисельник) і об'ємна усадка, % (знаменник) після				
		сушки при 110 ⁰ С	нагріван-ня до 800 ⁰ С	нагріван-ня до 1000 ⁰ С	нагріван-ня до 1100 ⁰ С	нагріван-ня до 1200 ⁰ С
52	700	<u>0,42</u> 1,47	<u>1,59</u> 5,2	<u>1,97</u> 6,37	<u>2,25</u> 7,79	<u>2,46</u> 7,58
23	600	<u>0,87</u> 2,95	<u>1,16</u> 4,6	<u>2,2</u> 6,8	<u>1,92</u> 8,3	<u>2,64</u> 8,4
25	655	<u>0,7</u> 2,39	<u>1,93</u> 5,73	<u>2,59</u> 7,7	<u>2,54</u> 7,72	<u>2,8</u> 7,13
26	700	<u>0,65</u> 1,88	<u>1,82</u> 4,42	<u>2,1</u> 6,8	<u>1,92</u> 6,8	<u>2,85</u> 8,3
72	740	<u>2,49</u> 7,29	<u>2,54</u> 7,54	<u>2,51</u> 7,78	<u>2,91</u> 8,56	<u>4,25</u> 12,88
74	630	<u>2,27</u> 7,12	<u>2,06</u> 8,02	<u>2,71</u> 8,9	<u>2,23</u> 9,49	<u>4,75</u> 11,22
75	660	<u>3,05</u> 8,09	<u>1,88</u> 8,28	<u>3,15</u> 9,18	<u>3,34</u> 11,0	<u>6,22</u> 16,7

Як випливає з даних, наведених у таблиці 9.11 після сушіння усадка бетонів на в'язучому із рідкого скла значно перевищує усадку бетонів на глиноземистому та високоглиноземистому цементах. Так, об'ємна усадка складів 72 - 75 після сушіння досягає 7,12 - 8,09%, що в 2,74 - 4,84 рази більше об'ємної усадки бетонів на глиноземистому та високоглиноземистому цементах.

Підвищення температур нагріву до 800-1100 °С призводить до інтенсивного підвищення вогневої усадки у бетонів на глиноземистому та високоглиноземистому цементах. При цьому, об'ємна усадка цих складів становить 4,6 - 8,3%, що в 2,8 - 3,1 рази вище об'ємні усадки після сушіння. Вогнева усадка бетонів на в'язучому із рідкого скла збільшується в порівнянні з усадкою після сушіння всього в 1,2-1,36 рази.

Підвищення температури нагріву до 1200 °С практично не змінює усадку бетонів на глиноземистому та високоглиноземистому цементах за винятком складу 26, де усадка збільшується від 6,8 до 8,3%.

Після нагрівання до температури 1200 °С усадка бетонів на рідкому склі різко зростає до 11,22-16,7%, зразки сильно деформуються, а також

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ
ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

відбувається оплавлення поверхневого шару бетону з роз'їданням окремих ділянок поверхні бетону.

Таблиця 9.12. Міцнісні характеристики теплоізоляційних бетонів

Номера складів	Об'ємна вага вес, кг/м ³	Межа міцності при стисканні, МПа (чисельник) і відносна міцність, % (знаменник) після				
		сушки при 110°C	нагріву до 800°C	нагріву до 1000°C	нагріву до 1100°C	нагріву до 1200°C
52	700	<u>1,68</u> 100	<u>1,3</u> 77,4	<u>0,84</u> 50	<u>0,97</u> 57,7	<u>0,77</u> 45,8
23	600	<u>0,99</u> 100	<u>0,73</u> 73,7	<u>0,63</u> 63,6	<u>0,6</u> 60,6	<u>0,53</u> 53,5
25	655	<u>1,3</u> 100	<u>0,82</u> 63,1	<u>0,69</u> 53,1	<u>0,57</u> 43,8	<u>0,58</u> 44,6
26	700	<u>1,78</u> 100	<u>1,08</u> 60,7	<u>0,96</u> 53,9	<u>0,87</u> 48,9	<u>0,69</u> 38,8
72	740	<u>1,44</u> 100	<u>1,89</u> 131,2	<u>1,68</u> 116,7	<u>1,59</u> 110,4	<u>2,06</u> 143,0
74	630	<u>0,78</u> 100	<u>1,08</u> 138,5	<u>0,76</u> 97,4	<u>0,71</u> 91,0	<u>0,55</u> 70,8
75	660	<u>0,83</u> 100	<u>1,25</u> 150,6	<u>0,95</u> 114,5	<u>0,9</u> 108,4	<u>0,98</u> 118,1

Як впливає з даних, наведених у таблиці 9.12 міцність теплоізоляційних бетонів з в'язучими з високоглиноземистого та глиноземистого цементів зменшується зі збільшенням температури нагрівання зразків у всьому досліджуваному інтервалі. Окремі випадки підвищення міцності після її зниження спостерігаються у зразків складу 52 з в'язучим з високоглиноземистого цементу при температурі нагріву до 1100 °С і у зразків складу 25 з в'язучим з цементу глиноземистого при температурі нагріву до 1200 °С.

Міцність теплоізоляційних бетонів з в'язучим з рідкого скла помітно підвищується зі збільшенням температури нагріву до 800 °С. При цьому відносна міцність цих складів становить 131,2-150,6%. Подальше підвищення температури нагріву знижує міцність зразків складу 74, що мають об'ємну вагу 630 кг/м³. Зі збільшенням об'ємної ваги зразків на в'язучому із рідкого скла та підвищенні температури нагріву до 1200 °С підвищення міцності зразків відбувається за рахунок їх спікання з утворенням щільного «черепка».

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ
ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

Вологість всіх досліджуваних складів бетонів, витриманих у нормальних умовах після сушіння протягом 2-28 діб становить 0,7-3,2%.

Таблиця 9.13. Теплопровідність і цілісність теплоізоляційних бетонів

Номера складів	Об'ємна вага, кг/м ³ після		Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·°К після		Цілісність зразків		
	сушки при 110°С	нагріву до 1000°С	сушки при 110°С	нагріву до 1000°С	наявність наскрізних тріщин	наявність тріщин і інших дефектів	прогини, мм
26	700	590	0,142	0,107	немає	сітка тріщин глибиною до 5 мм і шириною $a_{\max} = 0,35 - 0,4$ мм	0,1-0,3
52	700	580	0,151	0,11	немає	сітка тріщин глибиною до 7 мм і шириною $a_{\max} = 0,5$ мм	0,1-0,2
75	660	630	0,114	0,103	немає	немає	0,15-0,5

Як випливає з даних, наведених у таблиці 9.13. найменший коефіцієнт теплопровідності, рівний 0,114 Вт/м·°К після сушіння має бетон складу 75 з об'ємною вагою 660 кг/м³ на в'язучому із рідкого скла. Серед бетонів з в'язучими з глиноземистого та високоглиноземистого цементів з однаковою об'ємною вагою 700 кг/м³ меншу теплопровідність має склад на глиноземистому цементі. Після нагрівання зразків до 1000 °С теплопровідність усіх досліджуваних складів відрізняється незначною мірою.

Після одностороннього нагрівання зразків бетону до 1000°С наскрізні тріщини у всіх зразках відсутні, а отже і немає полум'я на поверхні зразка, що не обігрівається. Після охолодження зразків з в'язучими з глиноземистого та високоглиноземистого цементів з боку поверхні бетону, що обігрівається, спостерігається сітка тріщин по в'язучій речовині глибиною 5 - 7мм і максимальною шириною 0,4 - 0,5мм. Поверхня зразка

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

бетону складу 75 частково спеклася (можна говорити про температуру початку спікання) без тріщин та інших дефектів.

Деформації зразків бетону, виміряні в характерних точках на поверхні, що обігрівається, свідчать про наявність прогинів, які склали 0,1 - 0,5 мм, що менше гранично допустимих прогинів, рівних 1,07 мм, визначених згідно джерела [13]. Найменші прогини, рівні 0,1 - 0,2 мм, мають зразки складу 52 з в'язучим на високоглиноземистому цементі.

Висновки.

1. Склад теплоізоляційного бетону на рідкому склі з об'ємною вагою 660 кг/м³ характеризується гранично допустимою температурою застосування 1100 °С.

2. Склади теплоізоляційних бетонів на глиноземистому та високоглиноземистому цементях з об'ємною вагою 700 кг/м³ характеризуються гранично допустимою температурою застосування 1200 °С. При цьому гранично допустима температура застосування бетонів на високоглиноземистому цементі знаходиться вище за досліджуваний інтервал.

3. Враховуючи нестационарний температурний режим нагрівання конструкції плити, а також змінного у часі положення поверхні сухого та вологого шарів бетону, дійсний час до настання граничного стану теплоізолюючої здатності слід визначити шляхом випробування конструкції плити за методикою [7].

9.5. Визначення необхідної товщини теплоізоляційних конструкційних плит

Товщина теплоізоляційних конструкційних плит із умови прогріву визначалася відповідно до вимог зазначених у ДСТУ Б.В.1.1-6-2001 [7]. При розрахунках використовувалися значення коефіцієнтів теплопровідності, отримані внаслідок випробувань.

Для отримання надійних результатів для умов прогріву розглядалися найбільш суворі дії «стандартної пожежі», що характеризується високими температурами.

Відповідно до методики [14], вплив «стандартної пожежі» на конструкцію задається граничною умовою 3-роду, яка характеризується:

- зміною температури t_s , К, в часі τ , відповідно до рівняння:

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ
ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

$$t_g = 345 \lg(0.133\tau + 1) + t_n, \quad (9.3)$$

- коефіцієнтом теплопередачі α , Вт/(м² К), від середовища пожежі до поверхні конструкції, що знаходиться за такою формулою:

$$\alpha = 29 + (3,9 - 0,0023t_0) \frac{\left(\frac{t_g}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_0}{100}\right)^4}{t_g - t_0}, \quad (9.4)$$

де t_0 - температура поверхні конструкції, що обігривається, К.

Початкові умови :

- початкова температура конструкції до пожежі та температура навколишнього середовища приймається рівною $t_n = t_0 = 293$ К (+20°C),
- α_b - коефіцієнт теплопередачі зовнішньої поверхні конструкції приймається рівним 8.7.

Значення температури t_g , визначається за формулою (9.3) і наведені в таблиці 9.14. На рис. 9.1 наведено графік стандартного температурного режиму.

Таблиця 9.14. Значення температури t_g

Час τ , хвилини	Температура t_g , °С	Час τ , хвилини	Температура t_g , °С
0	20	30	842
5	576	45	902
10	678	60	945
15	739	90	1006

Для визначення товщини вогнестійких конструкційних плит із умови прогріву використовувалася програма моделювання теплових та механічних задач – «ELCUT 5.1».

На рис. 5.2 показано графіки зміни температур залежно від часу впливу «стандартної пожежі» на зовнішній та внутрішній поверхнях при різних коефіцієнтах теплопровідності та товщині теплоізоляційної конструкції.

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ
ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

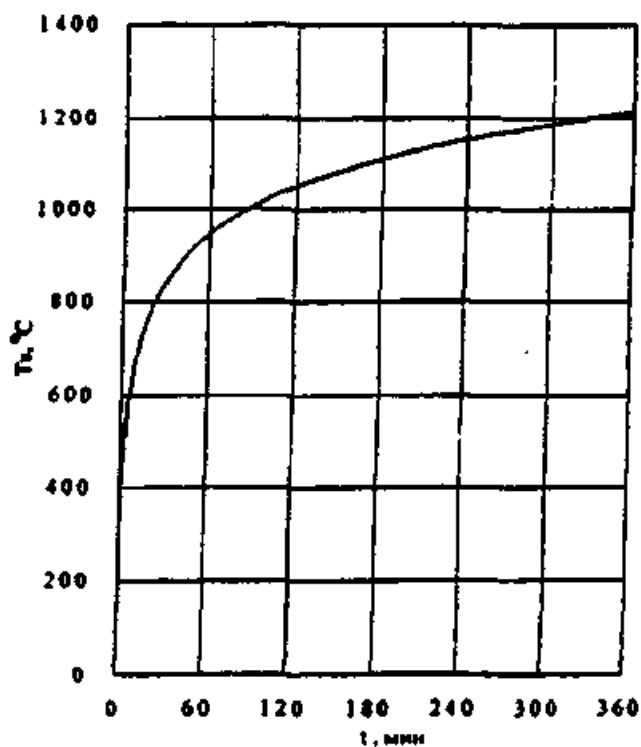
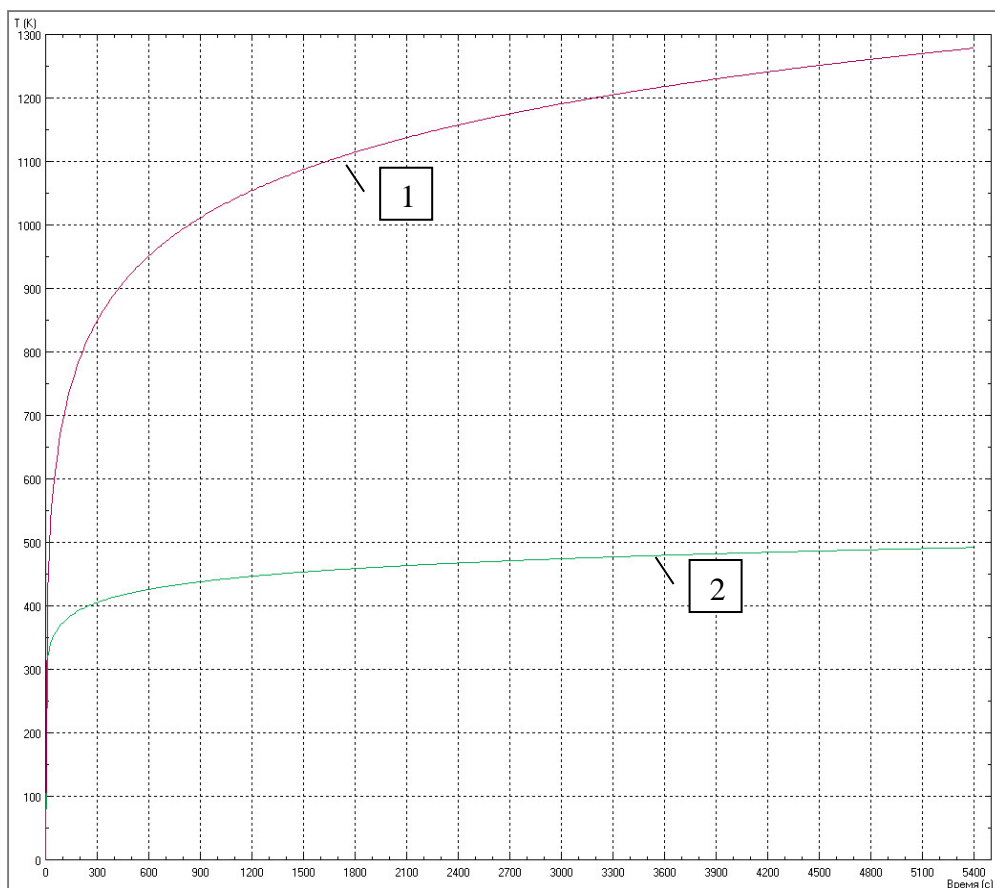
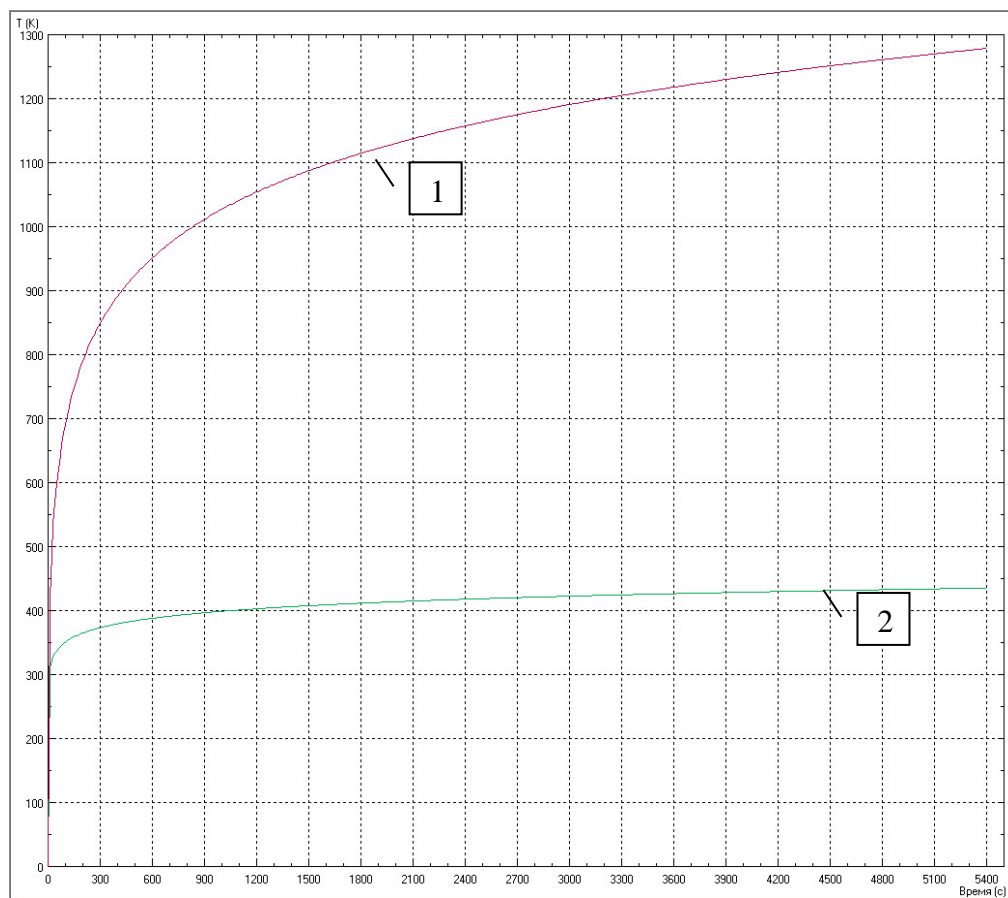


Рис. 9.1. Температурний режим «стандартної пожежі»



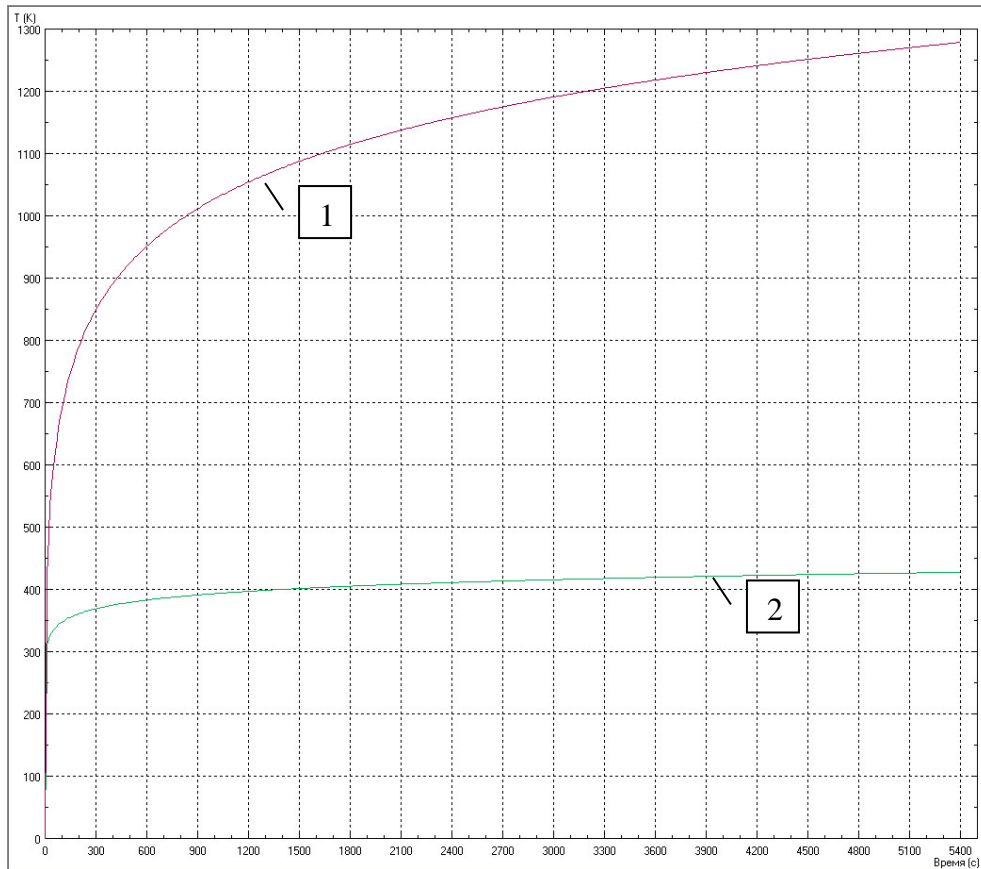
а)

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ
ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

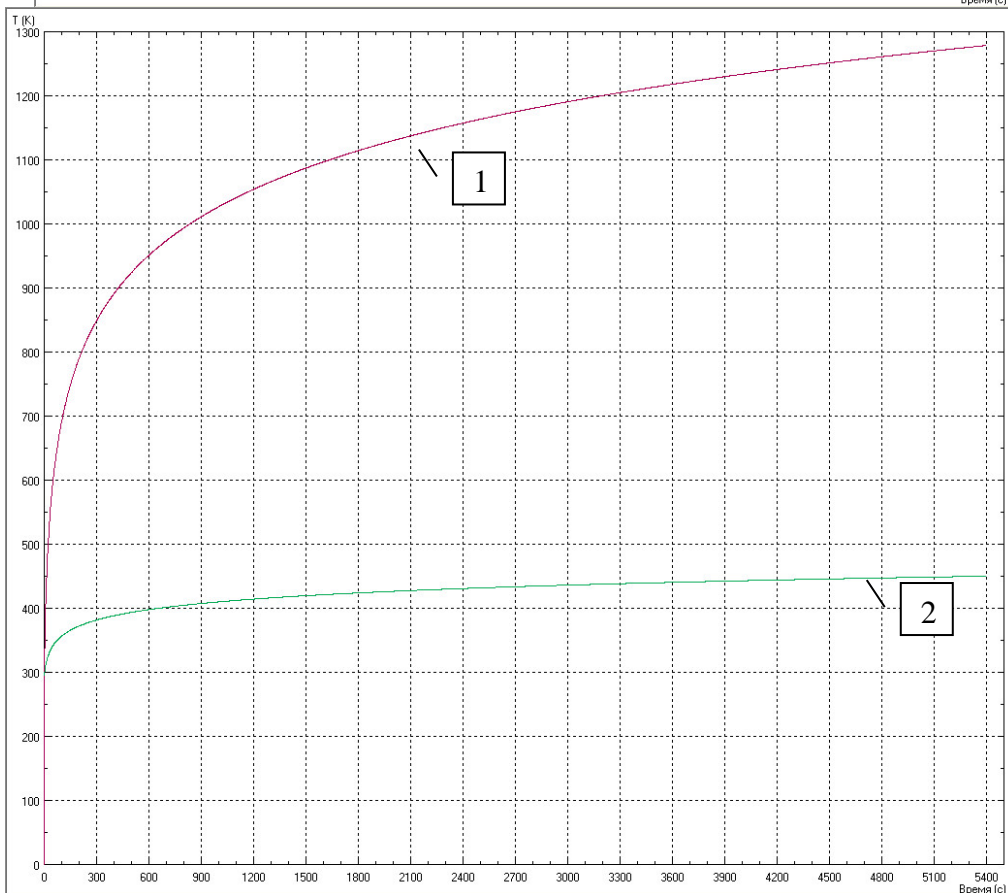


б)

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ
ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА



В)



Г)

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ
ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

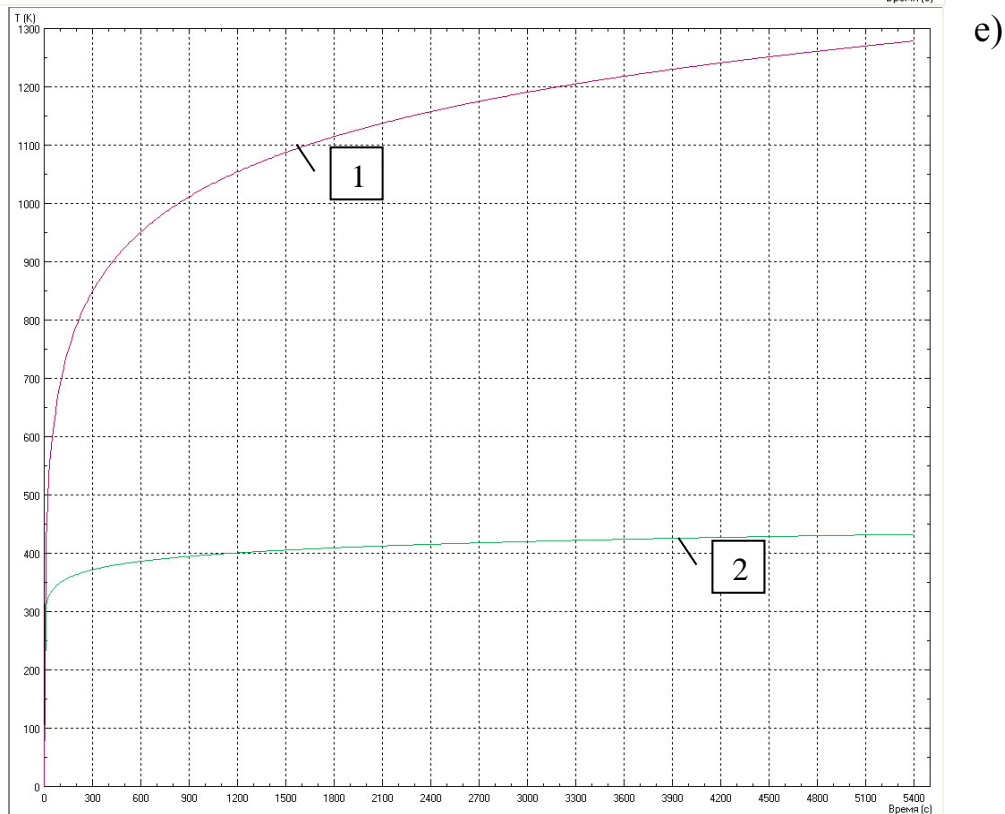
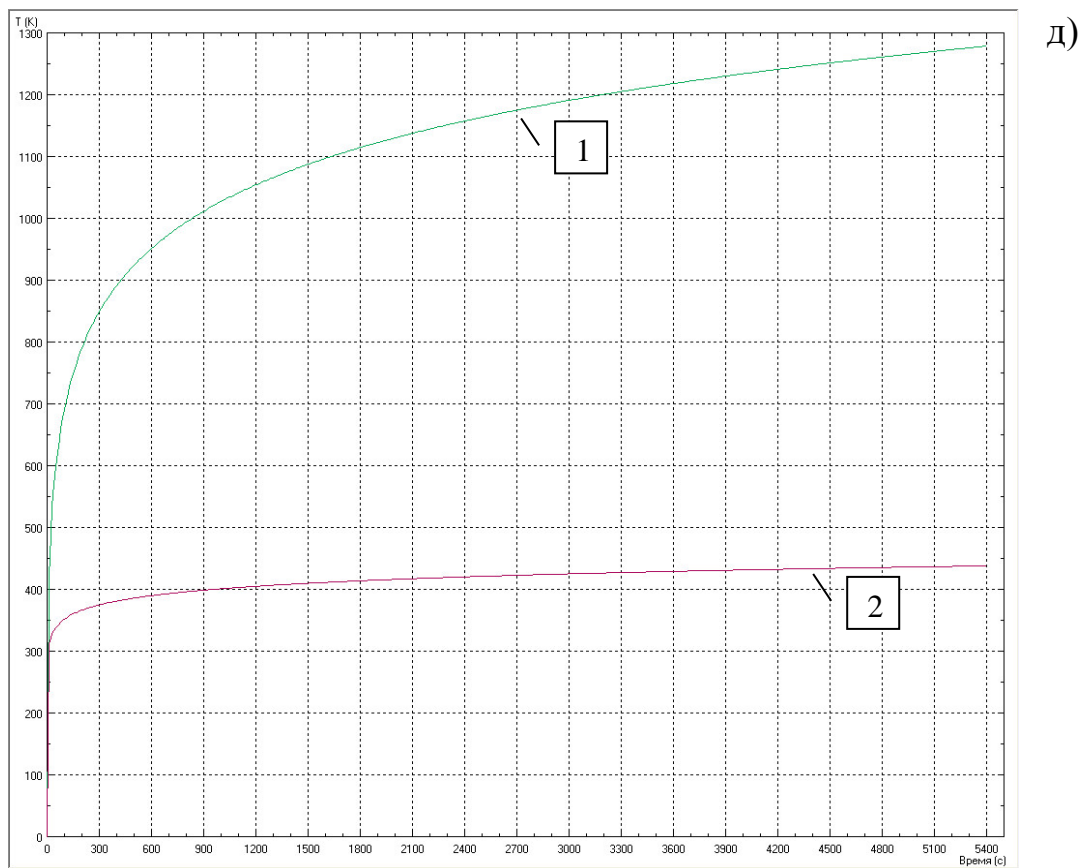


Рис. 9.2. Графіки зміни температур на поверхні конструкцій: з боку дії пожежі – 1; протилежної дії пожежі – 2; при коефіцієнті теплопровідності: а),

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ
ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

б), в) – 0,11 Вт/м К, г), д), е) – 0,165 Вт/м К; при товщині конструкцій: а) – 50 мм; б) – 75 мм; в) – 80 мм; г) – 100 мм; д) – 110 мм; е) – 115 мм

У таблиці 9.15 вказано температуру на внутрішній поверхні теплоізоляційної конструкційної плити після закінчення 90 хв випробування «стандартною пожежею».

Таблиця 9.15. Результати визначення товщини теплоізоляційних конструкційних плит із умови теплоізолюючої здатності

Коефіцієнт теплопровідності, λ , Вт/м К	Товщина теплоізоляційної конструкційної плити, δ , мм	Температура на зовнішній поверхні конструкції, t_n , К (°С)
0,11	50	492 (216)
	75	435 (162)
	80	427 (154)
0,165	100	450 (177)
	110	438 (165)
	115	432 (159)

Висновки.

1. Результати розрахунків свідчать, що товщини теплоізоляційної конструкційної плити рівної 50 мм при встановлених експериментально коефіцієнтах теплопровідності недостатньо для забезпечення теплоізолюючої здатності.

2. Згідно з даними моделювання прогріву чисельним методом для забезпечення необхідної теплоізолюючої здатності товщина конструкції повинна бути:

- ✓ при коефіцієнті теплопровідності $\lambda=0,11$ Вт/м К - не менше 80 мм,
- ✓ при коефіцієнті теплопровідності, $\lambda=0,165$ Вт/м К - не менше 115 мм.

Висновки до розділу 5

1. Розроблено склади теплоізоляційних бетонів об'ємною вагою 655-700 кг/м³ для виготовлення конструкційних плит на в'язучих із глиноземистого та високоглиноземистого цементів, а також рідкому склі.

Розділ 9. РОЗРОБКА СКЛАДІВ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПЛИТ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА

2. Технологія виготовлення складів включає перемішування протягом 2-х хвилин сипучих компонентів, потім добавку води або рідкого скла і перемішування всієї суміші протягом 2 - 3 хвилин до отримання однорідної маси. Після укладання форми склади витримують 1 добу в нормальних умовах і виконують розпалубку. Час витримки перед сушінням бетонів на глиноземистому і високоглиноземистому цементі складає 7 діб, а бетон на в'язучому із рідкого скла повинен піддаватися сушінню відразу ж після розпалубки. Сушіння бетонів повинне здійснюватися при температурі 105-110 °С до постійної ваги.

3. Вологість всіх досліджуваних складів бетонів, витриманих у нормальних умовах після сушіння протягом 2 – 28 діб становить 0,7-3,2%.

4. Склад теплоізоляційного бетону на рідкому склі з об'ємною вагою 660 кг/м³ характеризується гранично допустимою температурою застосування 1100 °С.

5. Склади теплоізоляційних бетонів на глиноземистому та високоглиноземистому цементах з об'ємною вагою 700 кг/м³ характеризуються гранично допустимою температурою застосування 1200 °С. При цьому гранично допустима температура застосування бетонів на високоглиноземистому цементі знаходиться вище за досліджуваний інтервал.

6. Розроблені склади теплоізоляційних бетонів забезпечують при дії «стандартної пожежі» протягом 90 хв збереження їхньої несучої здатності. При цьому їх залишкова несуча міцність після нагрівання до 1000 °С становить 50 -114,5%, об'ємна усадка - 6,37 - 9,18%, а прогини склали 0,1 - 0,5 мм, що менше гранично допустимих прогинів, рівних 1,07мм.

7. Розроблені склади теплоізоляційних бетонів забезпечують при дії «стандартної пожежі» протягом 90 хв збереження їх цілісності. При цьому після одностороннього нагріву зразка до температури 1000 °С наскрізні тріщини у всіх зразках відсутні, а отже відсутнє полум'я на поверхні.

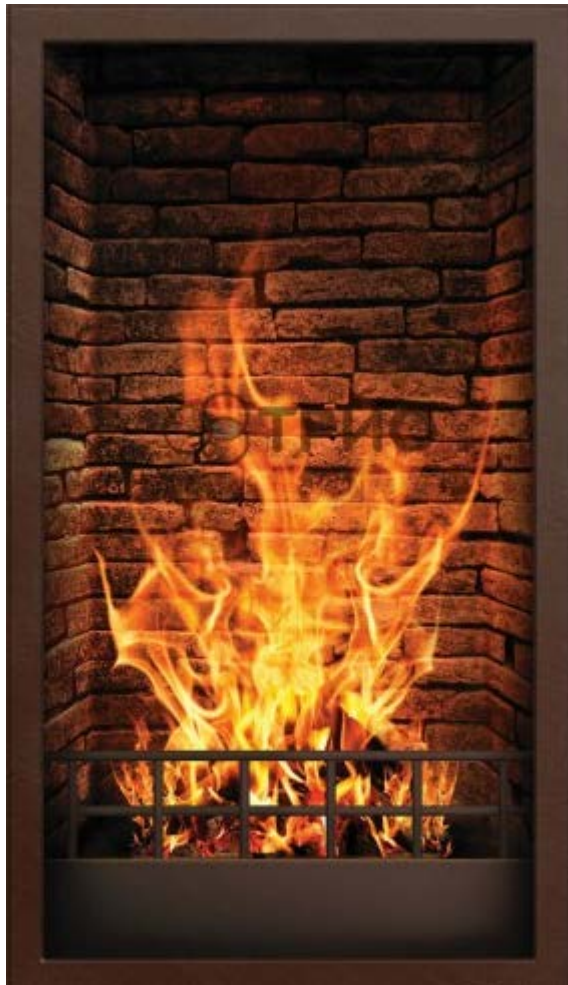
8. Враховуючи нестаціонарний температурний режим нагрівання конструкції плити, а також змінного в часі положення поверхні сухого та вологого шарів бетону, дійсний час до настання граничного стану теплоізолюючої здатності слід визначити шляхом випробування конструкції плити за методикою [7].

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 9

1. А.Ф.Милованов. Огнестойкость железобетонных конструкций .- М.: Стройиздат, 1986. - 224с.
2. Договір № 605 від 13.09.2010г за темою «Разработка состава смеси для изготовления огнестойких конструкционных плит»/ ПДАБА.
3. Технічне завдання на здійснення послуг за темою «Разработка состава смеси для изготовления огнестойких конструкционных плит» від 14.07.2010 р.
4. И.Л. Майзель, М.Ф. Сухарев. Жароупорный теплоизоляционный перлитобетон. – М.: Стройиздат, 1965.- 128с.
5. Н.Н. Кальянов, А.Н. Мерзляк. Вермикулит и перлит – пористые заполнители для теплоизоляционных изделий и бетонов. – М.: Госстройиздат, 1961.- 154с.
6. ДСТУ Б В.1.1-4-98. Защита от пожара. Строительные конструкции. Методы испытания на огнестойкость. Общие требования. – К.: Госстрой Украины, 1999.- 19с.
7. ДСТУ Б В.1.1-6-2001. Защита от пожара. Двери и ворота. Методы испытания на огнестойкость. – К.: Госстрой Украины, 2002.- 14с.
8. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 45с.
9. ГОСТ 20910-90. Бетоны жаростойкие. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 24 с.
10. ГОСТ 12730.2 – 78. Бетоны. Метод определения влажности. – М.: Изд-во стандартов, 1979.
11. ДСТУ Б.В.2.7 -41-95. Материалы строительные. Метод определения теплопроводности поверхностным преобразователем. . – К.: Госстрой Украины, 1996.
12. Конопляник А.Ю. Свойства и технология жаростойких бетонов повышенной шлакоустойчивости. /Дисс. ... канд. техн. наук. – Дн-ск.: ПГАСА, 1997. -226 с.
13. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций, предназначенных для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур (к СНиП 2.03.04-84) – М.: НИИЖБ, 1989. -184 с.
14. Яковлев А. И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. - М.: Стройиздат, 1988. – 142 с.
15. <https://vermiculite.com.ua/>.

РОЗДІЛ 10

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА



10.1. Конструктивні особливості статичного теплоаккумуляційного нагрівача

У електричних теплових накопичувачах найважливішу роль відіграють теплоаккумулятори, їх здатність акумулювати і зберігати теплоту тривалий час. До таких теплоаккумуляторів належать каміння з великою теплоємністю. Наступним важливим елементом такого обігрівача є камера, де розташовані теплоаккумуляуючі камені та електричні тені. Залежно від розміру та розташування каменів, електричних тенів та утеплення корпусу теплової камери обігрівача виходить різною величина накопиченої теплоти та, відповідно, його потужність. Дуже важливо, щоб при нагріванні каміння теплові втрати через стінки корпусу обігрівача були мінімальними, а при опаленні була можливість керувати конвективними потоками нагрітого повітря.

Як базову модель для дослідження використовувався розроблений статичний теплоаккумуляуючий нагрівач (рис. 10.1...рис. 10.4).

Характеристики теплоаккумуляуючого нагрівача:

- потужність $P = 1600$ Вт;
- ємність каменів теплоаккумуляуючих $12,8$ кВт * год;
- каміння теплоаккумуляуючі кількість 8 шт.;
- вага теплоаккумуляуючого каменю $8,5$ кг;
- габарити теплоаккумуляуючого каменю $51,0 \times 225,0 \times 210,0$;
- габарити внутрішньої камери $105 \times 455 \times 430$.

Для аналізу здатності акумулювати теплоту розглядаються кілька видів акумулюючих каменів: магнетит іспанський, магнетит німецький, шамотна цегла українського виробництва та магнезитовий камінь українського виробництва.

**Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА**

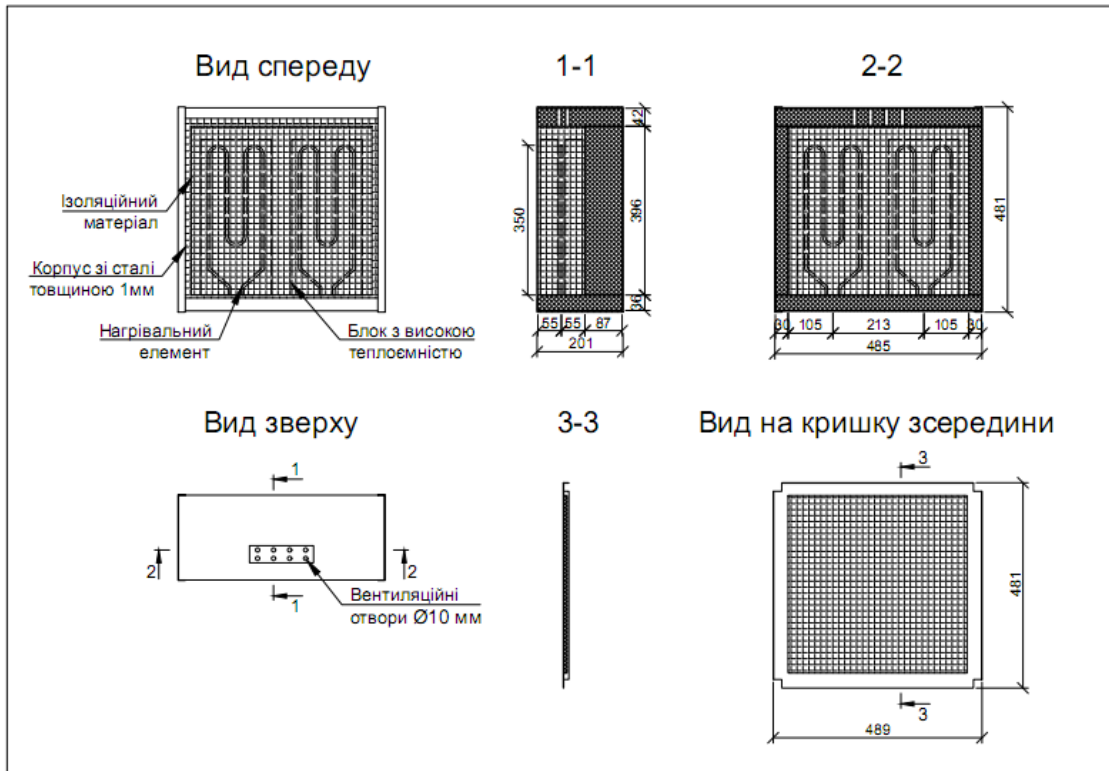


Рис. 10.1. Креслення статичного теплоакumuлюючого нагрівача

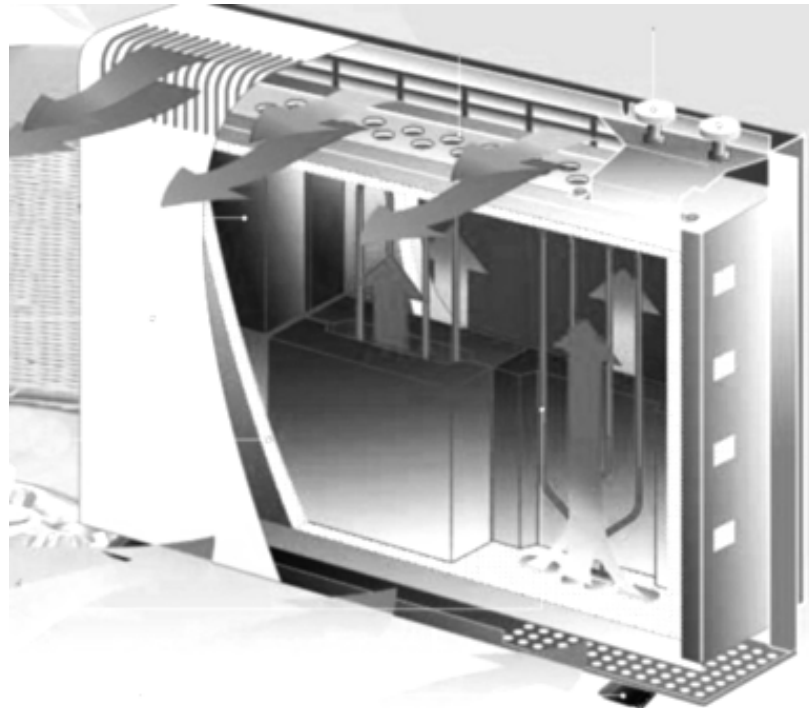


Рис. 10.2. Зовнішній вигляд статичного теплоакumuлюючого нагрівача

Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА

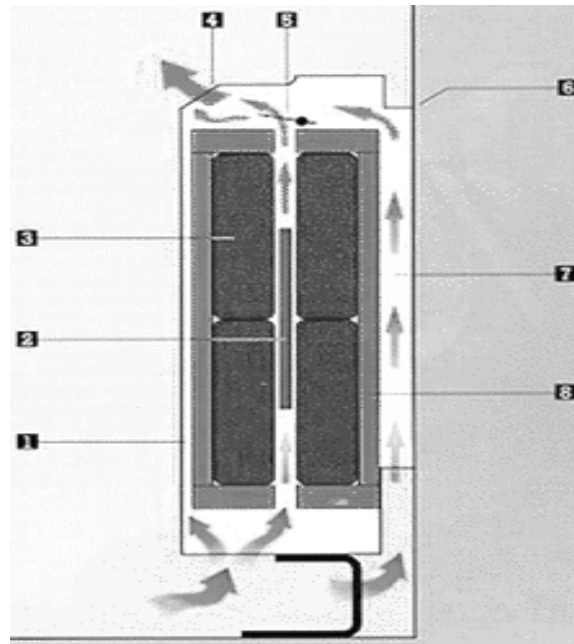


Рис. 10.3. Поздовжній розріз статичного теплоакumuлюючого нагрівача:
1 - теплоізоляція лицьової панелі знімної камери нагріву; 2 - нагрівальний
елемент – ТЕН; 3 - камінь акумуляційний; 4 - вихід гарячого повітря через
грати в декоративній лицьовій панелі; 5 - заслінка з автоматичним
керуванням; 6 - повітряний канал; 7 - повітряний потік; 8 - теплоізоляція
тильної стінки камери нагріву

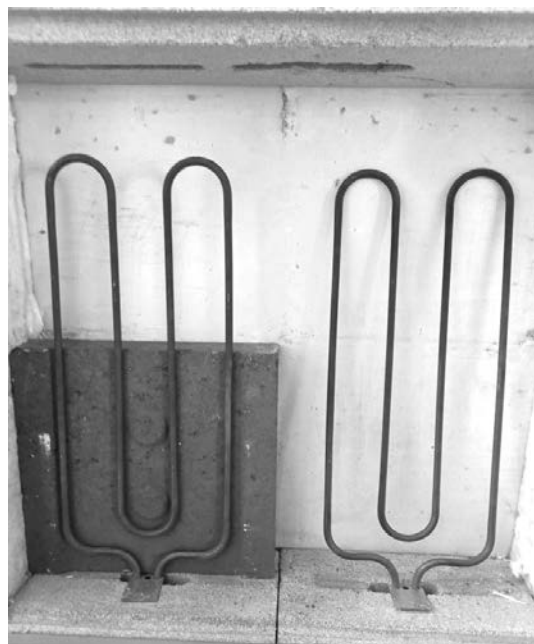


Рис. 10.4. Внутрішнє місце камери теплоакumuлюючого нагрівача

10.2. Експериментальне визначення питомої теплоємності теплоакумуючих каменів різних виробників

10.2.1. Визначення теплоємності твердого тіла

Теплоємність твердого тіла - це фізична величина, чисельно рівна теплоті, яку треба повідомити тілу для зміни її температури на 1К у аналізованому термодинамічному процесі. З іншого боку, теплоємність тіла дорівнює відношенню теплоти δQ , що надходить до тіла, до зміни dT температури тіла в даному термодинамічному процесі:

$$c = \frac{\delta Q}{dT} \quad (10.1)$$

Теплоємність тіла залежить від його хімічного складу, маси тіла та його термодинамічного стану, а також, як видно з визначення, від виду процесу зміни стану тіла, в якому надходить теплота δQ .

Теплові властивості однорідних тіл характеризуються значеннями питомої та мольної (молярної) теплоємності. Питомою теплоємністю речовини називається фізична величина c , чисельно рівна теплоті, яку треба надати одному кілограму речовини для зміни її температури на 1 К у аналізованому термодинамічному процесі. Теплоємність однорідного тіла можна визначити як добуток маси тіла m на питому теплоємність c з його речовини:

$$mc = \frac{\delta Q}{dT} \text{ або } c = \frac{1}{m} \frac{\delta Q}{dT} \quad (10.2)$$

Таким чином, зв'язок між δQ та dT для однорідного тіла має вигляд:

$$\delta Q = m \cdot c \cdot dT \quad (10.3)$$

Молярною теплоємністю називається фізична величина C , чисельно рівна теплоті, яку потрібно надати одному молю речовини для зміни його температури на 1 К в аналізованому термодинамічному процесі:

$$C = Mc = \frac{M}{m} \frac{\delta Q}{dT} \quad (10.4)$$

Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА

де M - молярна маса речовини;
 C – його питома теплоємність у тому процесі.

Вираз (10.4) можна записати тепер у формі:

$$\delta Q = \frac{m}{M} C dT, \quad (10.5)$$

де $\nu = \frac{m}{M}$ - кількість речовини.

Одиницею виміру теплоємності тіла є 1 Дж/К, питомої теплоємності – 1 Дж/кг.К, молярної - 1 Дж/моль.К.

Якщо нагрівання відбувається в умовах, коли обсяг залишається постійним, то відповідна молярна теплоємність називається теплоємністю при постійному обсязі, або ізохоричною теплоємністю, і позначається C_V :

$$C_V = \frac{dQ}{dT} \nu. \quad (10.6)$$

Якщо при нагріванні постійним залишається тиск, то теплоємність називається теплоємністю при постійному тиску C_p (її також можна назвати ізобаричною теплоємністю):

$$C_p = \frac{dQ}{dT} p. \quad (10.7)$$

Для твердих тіл безпосередньому виміру доступна тільки теплоємність при постійному тиску, а не при постійному обсязі, оскільки через теплове розширення не можна забезпечити сталість об'єму тіла. Проте внаслідок небагато зміни обсягу при нагріванні різницю між теплоємностями C_p і C_V дуже мало.

Експериментально теплоємність тіла визначають, застосовуючи рівняння теплового балансу. Нехай тіло нагріте до температури, яка вища за температуру навколишнього середовища. Тоді, остигаючи, тіло віддає кілька тепла. За законом збереження енергії в замкнутій системі кількість тепла, отримане середовищем, має бути точно дорівнює кількості тепла, відданого тілом.

Кількість теплоти, віддане тілом, дорівнює:

Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА

$$Q_{\text{від}} = c \times m \times (t_1 - t_2), \quad (10.8.),$$

де c – питома теплоємність випробуваного тіла,
 t_1 - початкова температура тіла,
 t_2 - кінцева температура тіла,
 m - маса тіла.

При експериментальному визначенні теплоємності досліджуваного тіла, яке нагрівається електричним струмом, температуру з досліджуваним зразком дуже повільно збільшується від початкової T на ΔT , то енергія електричного струму піде на нагрівання зразка та теплоізоляції, кришки теплоаккумуляційного нагрівача:

$$I \times U \times \Delta \tau = m \times c \times \Delta T + \Delta Q, \quad (10.9.)$$

де I і U - струм та напруга нагрівача;
 $\Delta \tau = (\tau - \tau_{\text{про}})$ - час нагрівання акумуляційного каменю;
 m – маса досліджуваного теплоаккумуляційного каменю;
 c – питома теплоємність теплоаккумуляційного каменю;
 $\Delta T = (T - T_0)$ - різниця нагріву об'єкта від T_0 до T ;
 ΔQ - втрати тепла в навколишній простір в теплоізоляції, кришки теплоаккумуляційного нагрівача.

Кількість теплоти одержуваної теплоізоляцією, кришкою теплоаккумуляційного нагрівача та нагрівання повітря у всіх експериментах визначаємо в частках від потужності, що подається на нагрівання теплоаккумуляційного каменю з урахуванням кімнатної температури і тоді для визначення питомої теплоємності акумуляційного каменю використовуємо співвідношення:

$$I \times U \times \Delta \tau = m \times c \times \Delta T. \quad (10.10.)$$

10.2.2. Основні прилади для визначення температури теплоаккумуляційного каміння при їх нагріванні

Значення величини теплоємності теплоаккумуляційного каміння проводилося у внутрішньому просторі камери теплоаккумуляційного нагрівача.

Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА

Заміри температур усередині і на поверхні теплоаккумуляційного каміння здійснювалося перетворювачами термоелектричними ТХА-1489 (термопарами хромель-алюмель, з температурним діапазоном від -100°C до $+1350^{\circ}\text{C}$) з підключенням до потенціометра постійного струму ПП 63, контроль потужності роботи (рис 10.5).

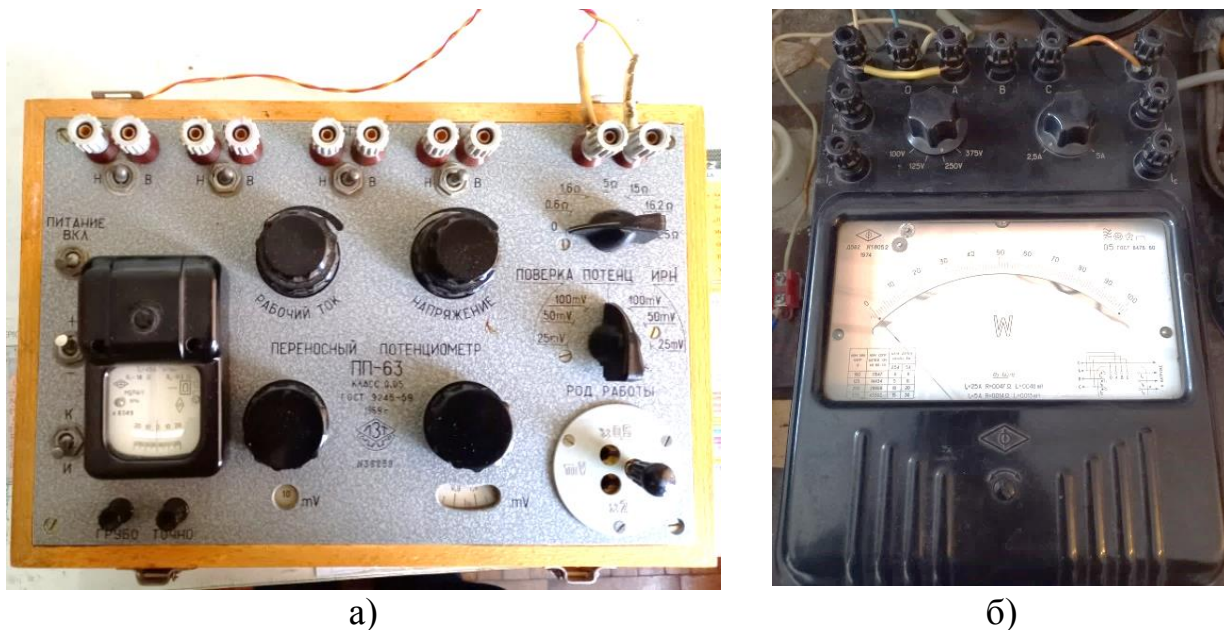


Рис. 10.5. Зовнішній вигляд: а) потенціометра постійного струму ПП-63; б) ватметра Д582

Технічні характеристики потенціометра постійного струму ПП-63.

ПП-63 потенціометр постійного струму призначений для безпосереднього виміру компенсаційним методом е. д. с. та напруг, повірки в цехових умовах технічних термопар та вторинних теплотехнічних приладів, що працюють з термопарами (пірометричних мілівольтметрів та автоматичних потенціометрів), отримання плавно регульованої напруги постійного струму.

Діапазон виміру - від 0 до 25 мВ; від 0 до 50 мВ; від 0 до 100 мВ. Клас точності - 0,05.

Найбільша основна похибка ПП-63 при температурі від $+15^{\circ}\text{C}$ до $+25^{\circ}\text{C}$, де U - це показання потенціометра, U_{min} - може приймати значення рівні $2,5 \times 10^{-5}$; $5,0 \times 10^{-5}$; $10,0 \times 10^{-5}$. Відповідно, цей показник буде для діапазонів вимірювання 0-25; 0-50 та 0-100 мВ.

Зміна показань потенціометра при зміні температури навколишнього повітря в межах від $+10^{\circ}\text{C}$ до $+35^{\circ}\text{C}$ на кожні 5°C зміни температури - не більше $1/4$ основної похибки, що допускається.

Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА

Межі зміни напруги джерела регульованої напруги при нарузі 1,2 і зовнішньому навантаженні не менше 25 Ом - не менше (-1,25)-0-(+25) мВ; не менше (-2,5)-0-(+50) мВ; не менше (-5)-0-(+100) мВ.

Найменший ступінь регулювання напруги ПП-63, від граничного значення напруги - не більше 0,03%. , які служать для імітації ліній з похибкою кожного трохи більше $\pm 0,1$ Ом - 0,6 Ом; 1,6 Ом; 5 Ом; 15 Ом; 16,2 Ом; 25 Ом. ЕДС кожної батареї ПП-63 - від 1,2 В до 1,65 В.

Ємність кожної батареї потенціометра - не менше 9 Агод.

Напруження зовнішньої батареї - від 1,2 В до 1,65 В. Споживання ІРН – не більше 8 В.

Технічні характеристики лабораторного ватметра Д582.

Ватметр Д582 - багатограничний трифазний триелементний переносний низькочастотний прилад, призначений для вимірювання активної потужності струму в трьох та чотирифазних ланцюгах.

Клас точності – 0,5.

Номінальна частота – 45Гц – 65Гц.

Габарити – 200×280×125мм.

Маса – 3,5кг.

По виконанню корпусу ватметри Д582 відносяться до пило- і бризкозахисних.

Технічні характеристики ватметра Д582.

Ватметр Д582 розрахований на 4 номінальні напруги - 100В - 125В - 250В - 375В і два номінальні струми - 0,25А - 0,5А; 0,5А – 1А; 1А - 2А та 2,5А - 5А. Струм паралельного ланцюга становить 5мА.

Ватметри Д582 розраховані на використання у таких умовах:

- температура повітря навколишнього середовища - від +10 ° С до +35 ° С;

- вологість повітря довкілля - до 80%.

Вимірювальні прилади і камера, що нагрівається, представлені на рис. 10.6.



Рис. 10.6. Прилади вимірювання температури каменю та камера з досліджуваним камінням та виведеними кінцями приєднання термопар

10.2.3. Експериментальне визначення теплоємності теплоаккумуляційного каміння

Значення величини теплоємності теплоакуючого каміння проводилося у внутрішньому просторі камери теплоакуючого нагрівача рис. 10.4.

Для експериментального дослідження було обрано чотири види теплоакуючих каменів:

- шамотний вогнетривкий камінь ША-5;
- експериментальний теплоаккумуляційний камінь (виробництво Україна),
- теплоаккумуляційний камінь, який використовується в теплоакуючому нагрівачі Elnur ADS 168 (виробництво Іспанія).
- теплоаккумуляційний камінь, який використовується в теплоакуючому нагрівнику Technotherm ТТВ 17 (виробництво Німеччина).

Габарити, об'єм, вага та щільність кожного з каменів представлені в таблиці 10.1.

На початковому етапі відпрацьовувалась методика вимірів температур усередині та на поверхні каменю, щоб визначити на яку температуру в цілому нагрівається камінь протягом певного часу. Цей етап був важливий, оскільки випробуваний теплоаккумуляційний камінь від тенів нагрівається не рівномірно, крім того, однорідність кожного каменю не дуже висока.

Випробування проводились усередині камери теплоаккумуляційного нагрівача з одним тенем. Тен лежав на двох однотипних каменях, а випробуваний камінь з термопарами лежав на тені.

Спочатку в кожному досліджуваному камені просвердлювалися на певну глибину отвору на зовнішній поверхні і поверхні, що лежить на тені (рис. 10.7, 10.8), схематичне зображення розміщення термопар на досліджуваному камені дивись рис. 10.9.

Результати вимірів температур каменю при приміщенні термоелектричного перетворювача в поглибленнях давали розкид за температурами в різних місцях каменю. Це було зумовлено тим, що поглиблення на верхній і нижній поверхні каменю були розташовані однієї лінії і глибини виїмок були різні. Було прийнято рішення робити поперечний розріз каменю в чотирьох місцях і поміщати кульку термопари на однаковій відстані від поверхонь каменю зверху та знизу. Перетворювачі термоелектричні фіксувалися жароміцним розчином (дивись рис. 10.10... 10.13). В результаті експериментів вдалося стабілізувати процес нагрівання та охолодження теплоаккумуляційного каміння. Це було досягнуто за рахунок

Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА

використання алюмінієвої пластини, яка клалася на електричний тен, а на нього клалися досліджувані камені, дивись рис. 10.14, 10.15.







Рис. 10.7. Розміщення шамотного каменю, що досліджується, з термопарами на тені



Рис. 10.8. Розміщення шамотного каменю, що досліджується, з термопарами в камері нагріву

**Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА**

Таблиця 10.1. Габарити, об'єм, вага і щільність досліджуваного теплоаккумуляційного каміння

№, п/п	Найменування каменю	Фото каменю	Габарити каменю, см	Вага каменю, кг	Щільність каменю, кг/м ³
1	Цегла шамотна ША-5		23×11×6,5	3,5	2128,3
2	Камінь українського виробництва		19,5×21×4,8	6,6	3357,8
3	Камінь з теплоакumuлюючого нагрівача Elnur ADS 168		21×22,5×4,5	8,7	4091,7
4	Камінь з теплоакumuлюючого нагрівача Technotherm ТТВ 17		19,5×20,8×4,5	7,8	4273,5

Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА



Рис. 10.11. Розміщення теплоаккумуляційного каменю на тен в камері нагрівання



Рис. 10.12. Розміщення термоелектричного перетворювача в теплоаккумуляційному камені з теплоакumuлюючому нагрівачі Technotherm ТТВ 17

Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА



Рис. 10.13. Розміщення досліджуваного теплоаккумуляційного каменю з теплоакumuлюючого нагрівача Elnur ADS 168 на тенах в камері нагрівання



Рис. 10.14. Співвідношення розміру алюмінієвої пластини та досліджуваного каменю

Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА



Рис. 10.15. Розміщення досліджуваного каменю на алюмінієвій пластині камери нагріву



Рис. 10.16. Теплоізоляція камери нагрівання

Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА

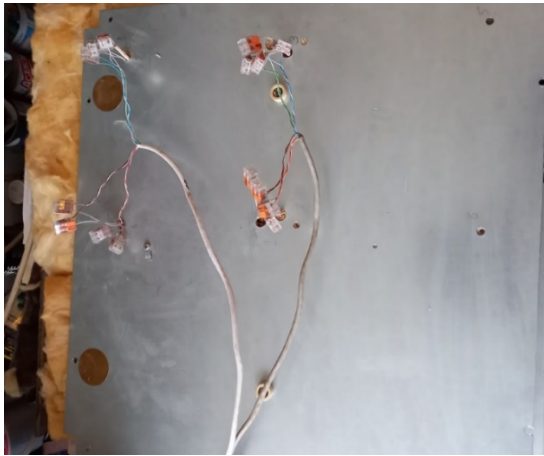


Рис. 10.17. Покриття теплоізоляції кришкою з металу



Рис. 10.18. Накриття теплоізоляції кришкою із фанери з вологою тканиною

10.2.4. Результати експериментального визначення температури нагрівання теплоаккумуляційного каміння, визначення питомої теплоємності теплоаккумуляуючого каміння

Результати всіх вимірювань температур зводилися в таблиці з реєстрацією часу нагріву та часу остигання, приблизно кожні 15 хв.

При цьому досліджувалося як поведуться температури при нагріванні та при остванні. Необхідно було домогтися, щоб показання температур кожної термопари змінювалися на одну й ту саму величину, а в ідеалі, щоб ще й збігалися. Але враховуючи, що матеріал каменю не однорідний, його утеплення могло бути недостатнім з однієї зі сторін, тому хороший результат буде за дуже близького розташування значень температур і однаковий характер їх змін.

Розглянемо приклади перших випробувань акумуляційного каменю українського виробництва. У таблиці 10.2 представлені результати вимірювання температур у таблиці 10.3 дана розшифровка як розташовані тени, на рис. 10.19 показаний характер зміни температур. Обчислення питомої теплоємності не проводилося. Термопара 3 непрацездатна, обрив контакту.

Результати проведення експериментів наведені в таблицях 10.4.- 10.13 та на рисунках 10.20.- 10.28.

Результати вимірювань температур каменю в таблицях 10.2...10.5 та рисунках 10.19, 10.20 проводилося без посиленого утеплення самого каменю та камери нагрівання.

**Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА**

Таблиця 10.2. Значення температур у вимірюваному камені
(20.10.2021)

Градуси, оС	Час вимірювань	Номер термопари, мВ *				
		1	2	4	5	6
5	10:05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
13	10:13	1,7	0,7	1,6	0,1	0,1
30	30	5,2	2,9	5,1	0,5	0,4
54	54	9,8	6,5	9,2	1,4	1,3
61	11:01	11,1	7,4	10,4	2,0	1,4
70	10	10,6	8,2	9,8	2,4	1,9
80	20	9,7	7,7	8,7	2,7	2,1
100	40	8,2	6,7	7,0	3,1	2,3
112	52	7,7	6,3	6,4	3,2	2,4
122	12:02	7,2	5,8	6,0	3,2	2,3
135	15	9,5	6,5	8,3	3,2	2,4
150	30	12,7	8,5	11,3	3,6	2,7
165	45	14,5	11,1	13,7	4,0	3,7
180	13:00	16,7	12,8	15,5	4,6	4,2
195	15	15,6	12,9	13,7	5,2	4,9
220	30	14,2	12,7	12,2	5,5	5,1
235	45	13,0	11,5	10,8	5,6	5,1
240	14:00	12,2	10,8	10,1	5,6	5,1
257	17	14,8	11,5	12,9	5,6	5,2
270	30	17,0	13,0	15,1	5,8	5,1
285	45	19,1	14,8	17,0	6,2	5,2
300	15:00	21,3	16,6	18,7	6,7	5,9

* мВ – мілівольт, 1мВ відповідає 14,3°С

Таблиця 10.3. Розшифровка номерів термопар

2	4	1 - загнута в торець, 2 - ліво-верх; 4 - право-верх; 5 - право-низ; 6 - ліво-низ
6	5	
	1	

**Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА**

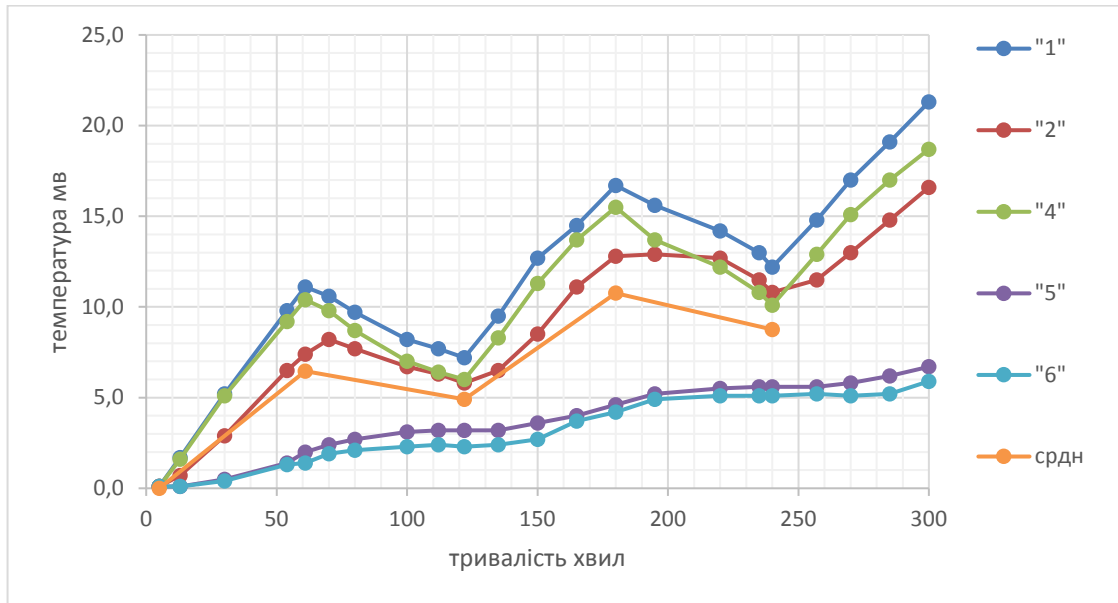


Рис. 10.19. Графік зміни мілівольт (температур) за кожною термопарою: "1"-Термопара 1; "2"-Термопара 2; "4"-Термопара 4; "5"-Термопара 5; "6"-Термопара 6; "СРДН" - Середнє значення

Таблиця 10.4. Значення температур у досліджуваному камені (21.10.2021)

Час вимірювань	Градуси, оС	Номер термопар									
		"1"		"2"		"4"		"5"		"6"	
		мВ	°С	мВ	°С	мВ	°С	мВ	°С	мВ	°С
12:07	7	0,3	4,29	0,3	4,29	0,2	2,86	0,2	2,86	0,2	2,86
10	10	0,5	7,15	0,3	4,29	0,3	4,29	0,2	2,86	0,2	2,86
15	15	1,1	15,73	0,5	7,15	0,6	8,58	0,3	4,29	0,2	2,86
30	30	3,4	48,62	2,0	28,6	2,6	37,18	0,6	8,58	0,5	7,15
45	45	6,1	87,23	4,1	58,63	4,9	70,07	1,2	17,2	1,0	14,3
1:01	61	8,1	115,83	5,6	80,08	6,4	91,52	1,9	27,2	1,5	21,45
15	75	8,4	120,12	6,5	92,95	7,1	101,5	2,4	34,3	2,0	28,6
35	95	8,1	115,83	6,4	91,52	6,5	92,95	2,9	41,5	2,5	35,75
2:05	125	7,3	104,39	5,8	82,94	5,6	80,08	3,2	45,8	2,8	40,04
30	150	9,7	138,71	6,9	98,67	7,3	104,4	3,4	48,6	3,1	44,33
48	168	12,3	175,89	8,9	127,27	9,4	134,4	4,1	58,6	3,6	51,48
3:00	180	13,8	197,34	10	143	10,7	153	4,5	64,4	4,0	57,2
30	210	13,6	194,48	10,9	155,87	10,7	153	5,3	75,8	4,8	68,64
48	228	13,0	185,9	10,4	148,72	10,0	143	5,4	77,2	4,9	70,07
4:00	240	12,6	180,18	10,1	144,43	9,6	137,3	5,4	77,2	5,0	71,5

**Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА**

Таблиця 10.5. Розшифровка номерів термопар

2	4	1-загнута в торець, 2 ліво-верх; 4 – право-верх; 5 – право-низ; 6 - ліво-низ,
6	5	
	1	

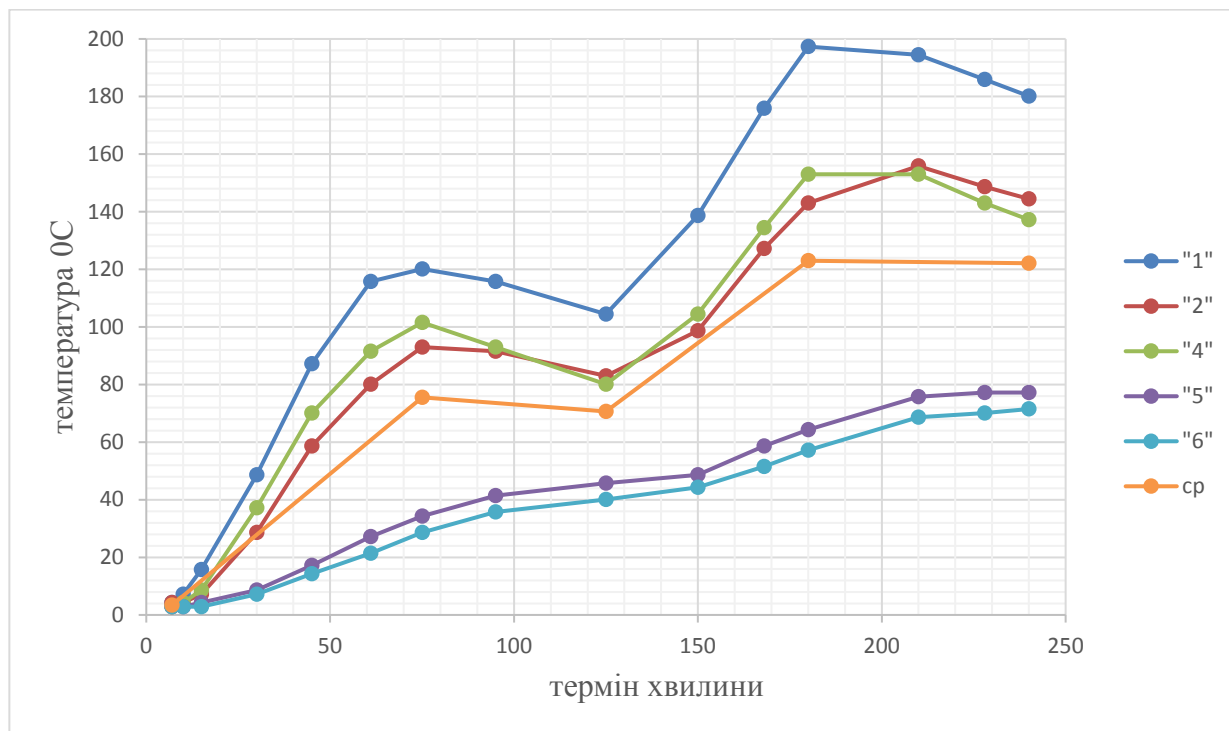


Рис. 10.20. Графік зміни мілівольт (температур) за кожною термопарою: "1"-термопара 1; "2"-термопара 2; "4"-термопара 4; "5"-термопара 5; "6"-термопара 6; "СР" -середнє значення

Для прискорення вимірювання температур 28.10.2021 було додано цифровий термометр, який перетворює мВ на градуси Цельсія. Досліджувався камінь з теплоакумлюючого нагрівача Technotherm ТТВ 17. Було посилено утеплення. Вимірювання при охолодженні проводилися кожні дві хвилини. Усі термопари остужуються одночасно, але розкид досить великий (дивись таблицю 10.6 та рисунок 10.21).

Перше значення питомої теплоємності для цього каменю було отримано виходячи з рівняння теплового балансу: було витрачено на нагрівання каменю та всієї камери нагрівання з теплоізоляцією та повітря $Q_{\Sigma} = 875 \text{Вт}$, частка одного каменю $Q_{\text{кам}} = 248 \text{Вт}$, $Q_{\text{втр}} = 70 \text{Вт}$. $C_{\text{сп}} = 7,57 \text{кДж/град}$.

**Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА**

Таблиця 10.6. Значення температур у досліджуваному камені (28.10.2021)

Час вимірювань	Продовж. вимірювань	"1"	"2"	"3"	"4"	"5"	Середня
12:20	0	8	8	9	9	9	8,6
30	10	21	19	19	28	24	22,2
45	25	65	40	42	69	88	60,8
13:00	40	96	62	64	98	125	89
15	55	128	87	79	135	170	119,8
18	58	136	91	84	140	174	125
13:20	60	139	95	87	144	172	127,4
22	62	141	97	90	148	168	128,8
24	64	144	100	93	151	166	130,8
26	66	146	102	95	153	165	132,2
28	68	147	103	97	154	164	133
13:30	70	148	105	99	155	163	134
32	72	148	106	99	155	162	134
34	74	148	107	100	154	161	134
36	76	148	108	100	154	161	134,2
38	78	148	109	100	154	160	134,2
13:40	80	148	109	100	153	159	133,8
42	82	147	110	101	153	159	134
44	84	147	110	101	152	158	133,6
46	86	146	110	101	151	156	132,8
48	88	146	111	102	151	155	133
13:50	90	145	111	101	149	154	132
52	92	144	111	101	148	154	131,6
54	94	144	111	102	148	153	131,6
56	96	143	111	101	147	152	130,8
58	98	142	111	102	147	151	130,6
14:00	100	142	111	103	145	151	130,4

Таблиця 10.7. Розшифровка номерів термопар

2	3	1 - ліво-низ, 2 ліво-верх;
1	4	3 – право-верх; 4 – право-низ;
	5	5 - загнута в торець;

Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА

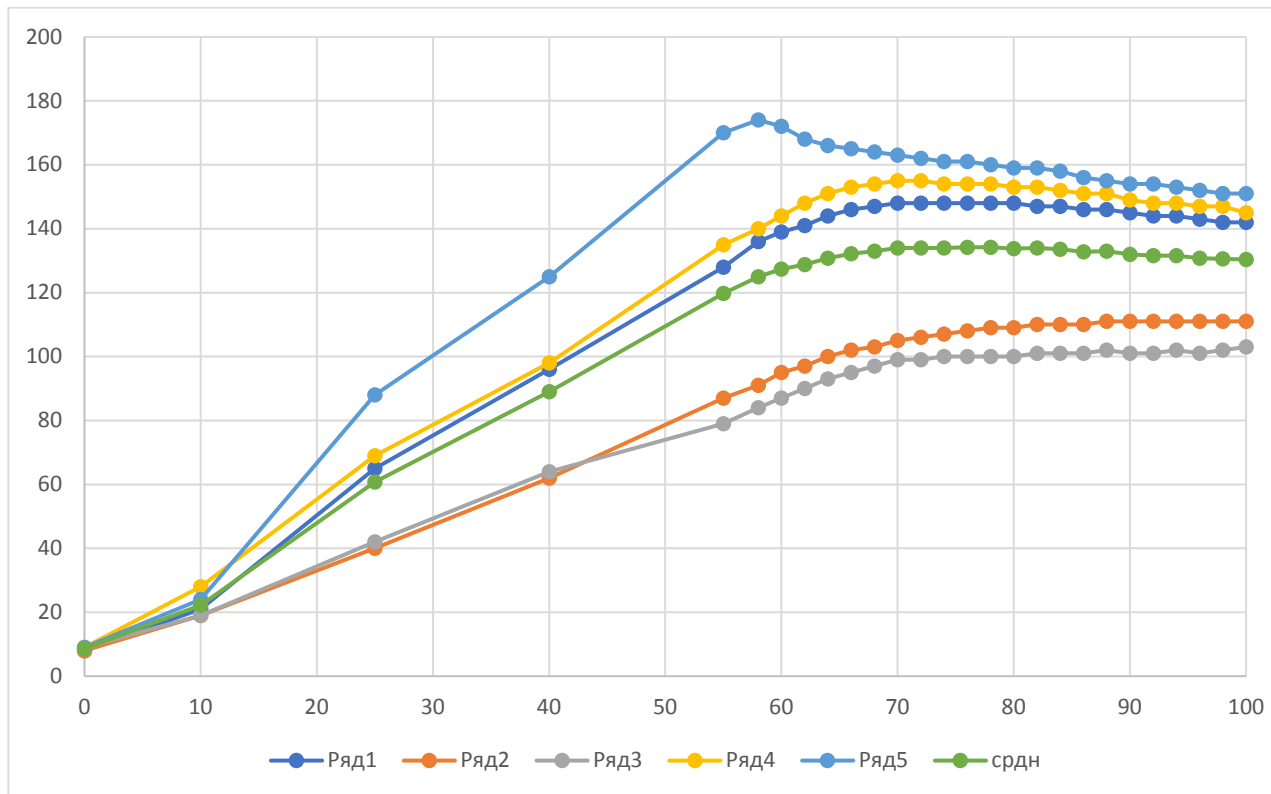


Рис. 10.21. Графік зміни температур за кожною термопарою:
"1"-Термопара 1; "2"-Термопара 2; "3"-Термопара 3; "4"-Термопара 4; "5"-
Термопара 5; "СР" - Середнє значення

В результаті вдосконалення розміщення термопар і ретельного утеплення нагрівальної камери разом з досліджуваним каменем були отримані наступні результати, дивись таблицю 6.8.

Для зручності заповнення таблиці каменям дано умовні позначення:

- КУпр - Камінь українського виробництва;
- КША-5 - Цегла шамотна ША-5;
- KADS - Камінь з теплоакumuлюючого нагрівача Elnur ADS 168
- КТТВ - Камінь з теплоакumuлюючого нагрівача Technotherm ТТВ 17

У таблиці та графіках представлені отримані результати за питомою теплоємністю каміння за відпрацьованою схемою проведення вимірювань температур. Питома теплоємність визначалася за рівнянням теплового балансу.

З графіка 10.21 видно, що розкид температур при нагріванні та охолодженні незначний, особливо при охолодженні каменю. Хоча за охолодження деякі криві зміни температур перетинають температурні лінії інших термопар. Це пояснюється неоднорідністю самого каменю та місцем положення термопари.

**Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА**

Таблиця 10.8. Підсумкові результати щодо вимірювання температур та визначення питомої теплоємності кожного з каменів.

Дата проведення експерименту	Умовне найменування каменю	Споживання та віддача, кДж за хвилину	Питома теплоємність, кДж/К
29 грудня 2021	КТВ	14,04 13,86	7,7 7,6
27 грудня 2021	КУпр	14,22 13,68	7,6, 7,4
22 грудня 2021	КАДС	13,56	8,30
21 грудня 2021	КАДС	13,2	8,43
20 грудня 2021	КАДС площиною вниз	14,73	7,3
16 грудня 2021	КУпр площиною вниз	9,54	6,91
14 грудня 2021	КТВ + пластина	11,4	6,75
13 грудня 2021	КТТВ з T>550 оС	9,07	7,56
7 грудня 2021	КТВ	9,6	5,05
7 грудня 2021	КША-5	8,07 ... 7,6 ... 7,14	3,09 ... 3,067 ... 3,45
30 листопада 2021	КША-5	7,25 7,36	3,14 3,12
25 листопада 2021	КША-5	7,51 5,56	2,73 2,93
23 листопада 2021	КША-5	454 411 370	2,7 3,4 3,7
19 листопада 2021	КША-5	436	3,89
17 листопада 2021	КША-5	438	3,87
15 листопада 2021	КША-5	530	404
5 листопада 2021	КУпр	136,4	5,1
4 листопада 2021	КУпр	793...725	6,1....5,09
1 листопада 2021	КУпр	575...664	6,43 8,26

**Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА**

Таблиця 10.9. Значення температур у камені КТВТ. 29.12.2021

Час вимірювань	Продовж Вимірювань, хвилини	Номер тону								середня	Потужність нагріву, Вт
		1	2	3	4	5	6	7	8		
9:00	0	28	28	29	28	29	30	28	30	31,6	890
5	5	41	29	49	28	29	41	30	53	43,8	880
21	21	86	52	103	57	56	86	61	103	77,8	880
30	30	103	68	121	73	75	105	79	121	104,0	880
10:10	70	190	144	207	147	155	191	155	208	179,6	880
30	90	229	182	246	185	193	232	195	248	221,5	880
11:00	120	289	233	310	237	247	295	252	310	278,5	880
30	150	345	280	367	285	299	351	300	365	331,3	870
12:00	180	400	324	426	329	345	408	348	423	369,4	870
37	217	364	344	371	344	363	377	358	375	360,4	0
13:00	240	354	340	357	335	355	366	348	362	350,9	0
28	268	346	333	348	328	348	357	340	352	339,4	0
14:50	350	313	306	311	302	315	321	307	315	310,1	0
15:15	375	305	298	304	292	307	311	299	306	301,8	0
30	390	298	291	297	285	298	302	292	298	295,1	0
16:00	420	285	280	284	274	285	290	280	285	282,9	0
30	450	275	269	272	264	275	278	269	274	272,0	0

Таблиця 10.10. Розшифровка номерів термопар

5	7	1 - ліво-низ, 2 ліво-верх; 3 – право-верх; 4 – право-низ; 5 - ліво-верх зі сторця; 6 - ліво-низ з торця, 7 - право - верх з торця; 8 - право-низ із торця
6	8	
2	4	
1	3	

**Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА**

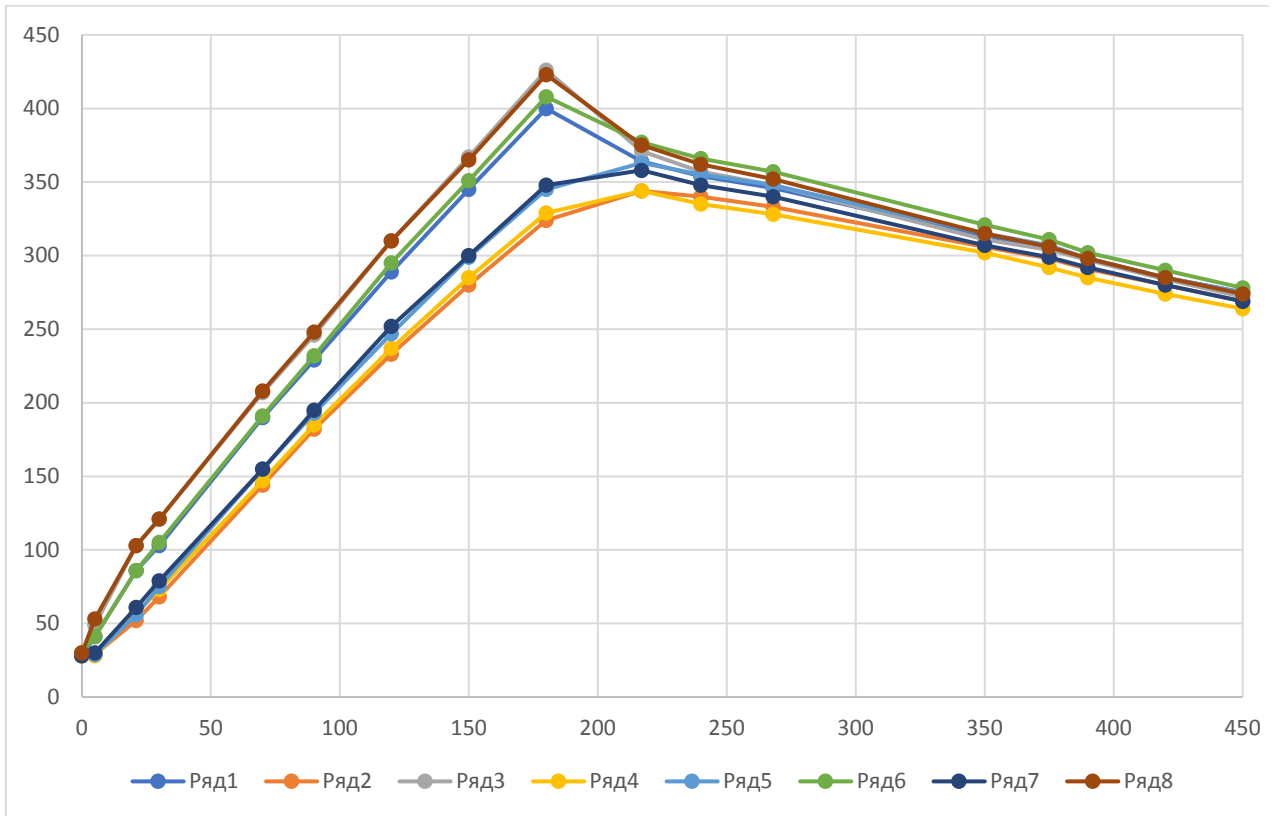


Рис. 10.22. Графік зміни температур по кожній термопарі у камені КТТ 29.12.2021: 1-Термопара 1; 2-Термопара 2; 3-Термопара 3; 4-Термопара 4; 5-Термопара 5; 6-Термопара 6; 7-Термопара 7; 8-Термопара 8

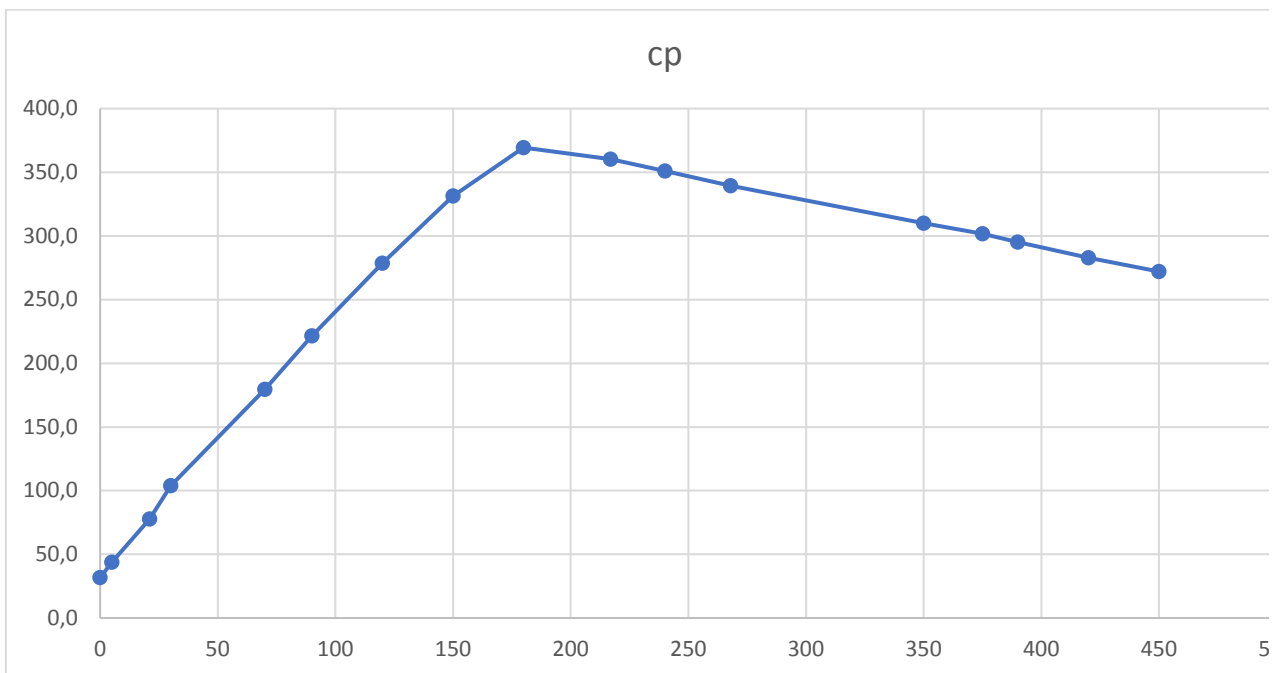


Рис. 10.23. Графік зміни середньої температури у камені КТТВ 29.12.2021

**Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА**

Таблиця 10.11. Значення температур у камені КУПР. 27.12.2021

Час вимір ювань	Продовж Вимірювань , ХВИЛИНИ	Номер тону								Середнє °С	Потужність нагріву, Вт
		1	2	3	4	5	6	7	8		
10:20	0	38	39	38	36	38	37	38	35	38,6	880
30	10	45	95	98	44	98	45	98	45	76,3	860
45	25	86	161	163	87	155	84	155	87	126,4	860
11:00	40	118	193	197	118	190	114	190	120	163,1	860
30	70	179	260	263	178	255	176	255	185	226,1	870
12:00	100	230	317	322	228	315	233	315	243	281,9	870
30	130	276	370	375	275	370	285	370	295	328,0	870
35	135	287	380	383	283	375	294	375	303	335,9	0
40	140	297	363	363	289	360	301	360	310	330,9	0
46	145	300	345	344	292	344	306	344	314	323,1	0
13:00	160	298	324	322	288	326	307	326	310	310,0	0
35	195	283	300	295	269	308	295	304	289	291,6	0
14:00	220	277	290	286	262	297	286	293	279	281,6	
30	250	264	275	269	249	279	273	279	262	267,3	
15:00	280	254	263	256	238	266	261	266	250	256,8	

Таблиця 10.12. Розшифровка номерів термопар

6	8	1 ліво-верх; 2 – ліво-низ; 3 – право-верх; 4 – право-низ; 5 - ліво-низ з торця; 6 - ліво-верх зі сторця; 7 - право-низ із торця; 8- право-верх з торця.
5	7	
2	4	
1	3	

**Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА**

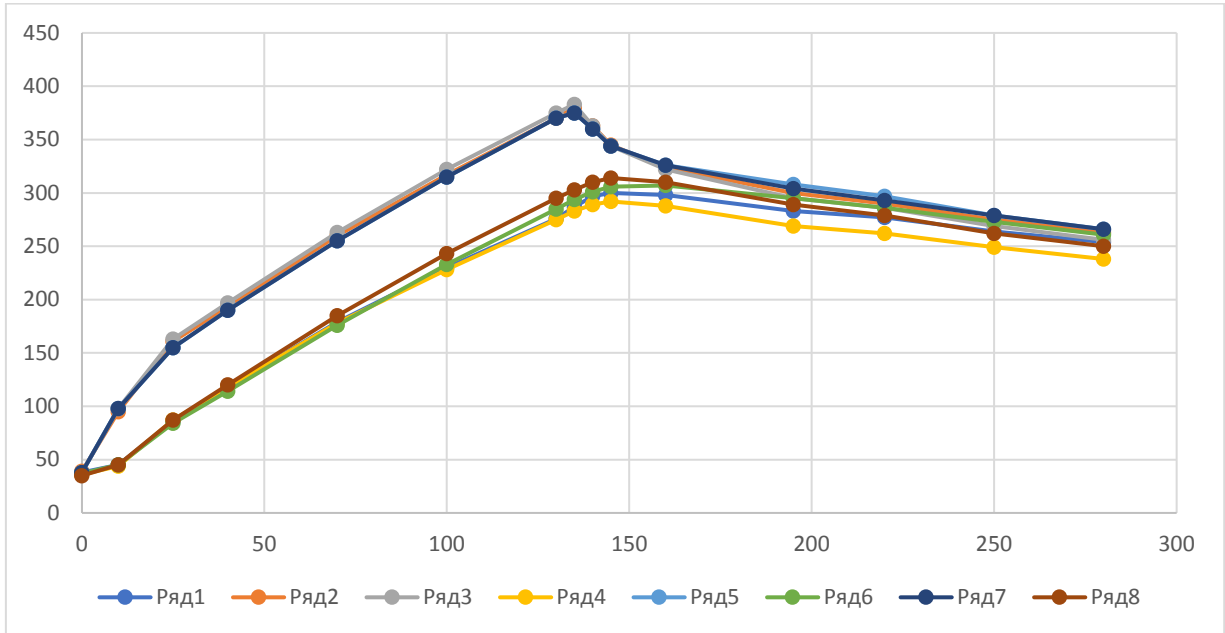


Рис. 10.24. Графік зміни температур по кожній термопарі у камені КУПР 27.12.2021: "1"-Термопара 1; "2"-Термопара 2; "3"-Термопара 3; "4"-Термопара 4; "5"-Термопара 5; "6"-Термопара 6; "7"-Термопара 7; "8"-Термопара 8

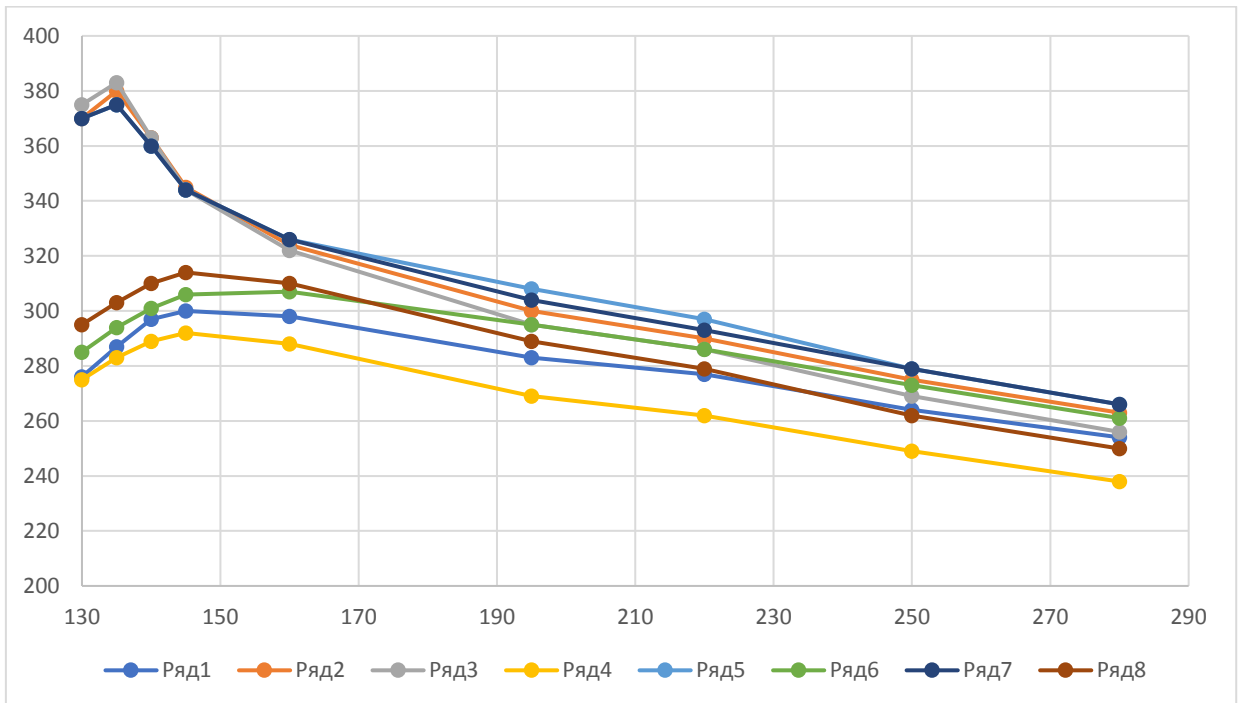


Рис. 10.25. Графік зміни температур по кожній термопарі в камені КУПР при остиганні. 27.12.2021. "1"-Термопара 1; "2"-Термопара 2; "3"-Термопара 3; "4"-Термопара 4; "5"-Термопара 5; "6"-Термопара 6; "7"-Термопара 7; "8"-Термопара 8

**Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА**

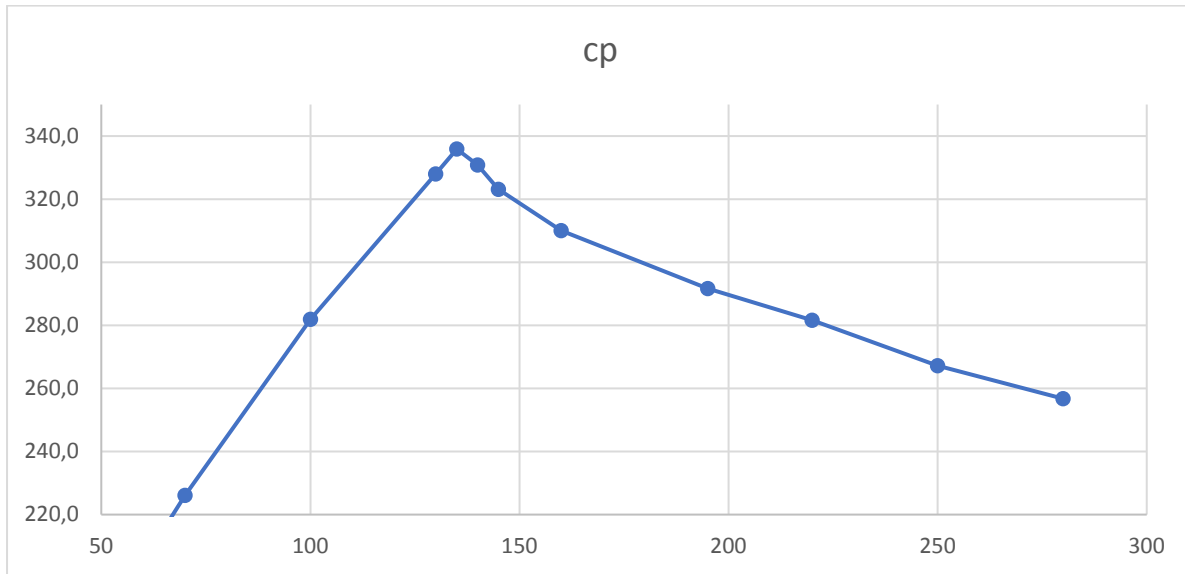


Рис. 10.26. Графік зміни середньої температур у камені КУПР 27.12.2021

Таблиця 10.13. Значення температур у камені KADS. 22.12.2021

Час вимірів	Тривалість вимірювань, хв	Номер тону								Середня	Потужність нагріву, Вт
		"1"	"2"	"3"	"4"	"5"	"6"	"7"	"8"		
10:00	0	25	28	28	26	26	28	26	30	27,1	840
10	10	29	59	58	29	28	50	30	55	42,3	840
20	20	47	98	99	47	45	80	50	87	69,1	840
30	30	66	122	125	69	64	103	73	111	91,6	840
11:00	60	125	186	187	132	119	160	131	173	151,6	850
30	90	178	243	248	184	168	215	180	230	205,8	870
12:00	120	224	295	300	232	215	271	230	285	256,5	860
30	150	266	344	350	275	260	322	275	340	304,0	860
13:00	180	279	303	308	286	277	305	287	310	294,4	0
30	210	269	281	290	274	272	289	279	293	280,9	0
14:35	275	246	258	261	250	254	265	257	266	257,1	0
15:20	320	232	242	244	235	239	248	241	249	241,3	0

**Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА**

Таблиця 10.12. Розшифровка номерів термопар

5	7	1 - ліво-низ, 2 ліво-верх; 3 – право-верх; 4 – право-низ; 5 - ліво-верх зі сторця; 6 - ліво-низ з торця, 7 - право - верх з торця; 8 - право-низ із торця
6	8	
2	4	
1	3	

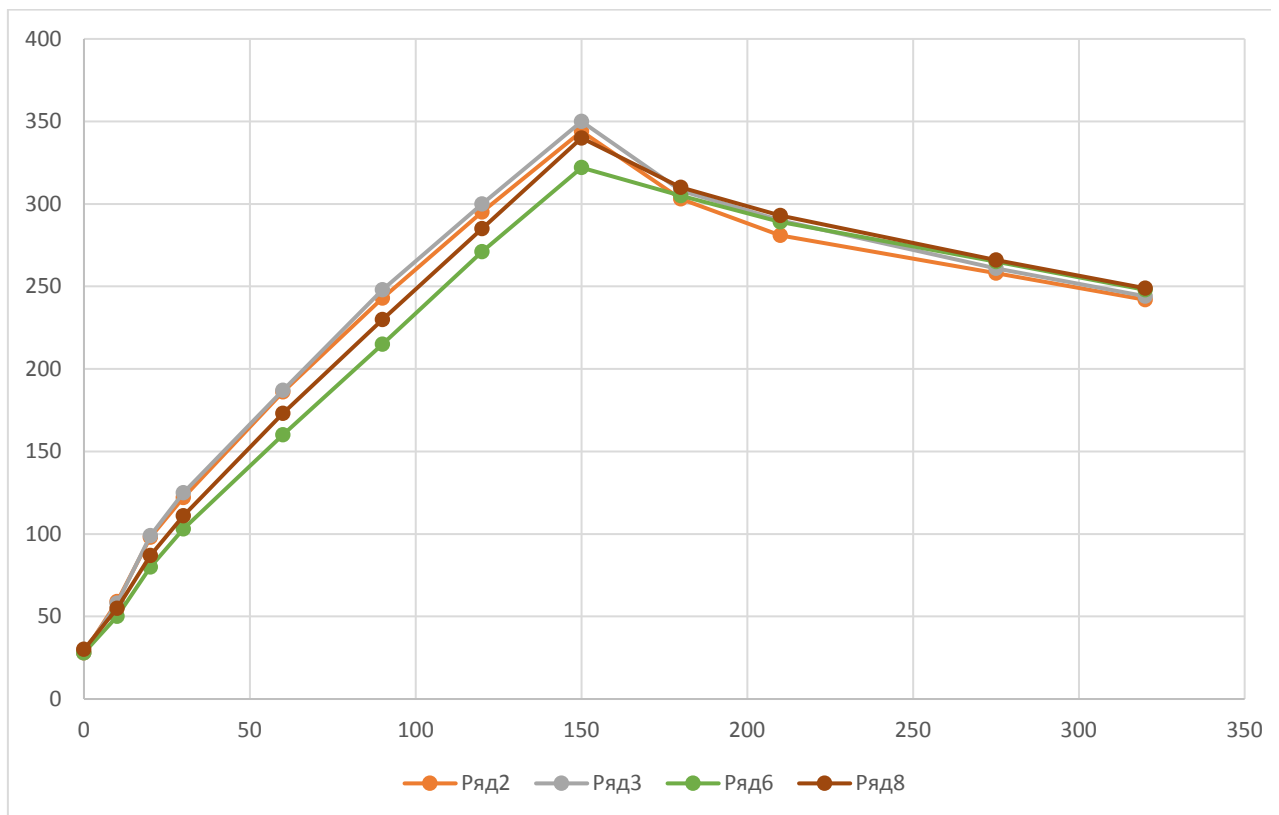


Рис. 10.27. Графік зміни температур кожної термопару в камені KADS.
22.12.2021: "2"-Термопара 2; "3"-Термопара 3; "6"-Термопара 6;
"8"-Термопара 8

Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА

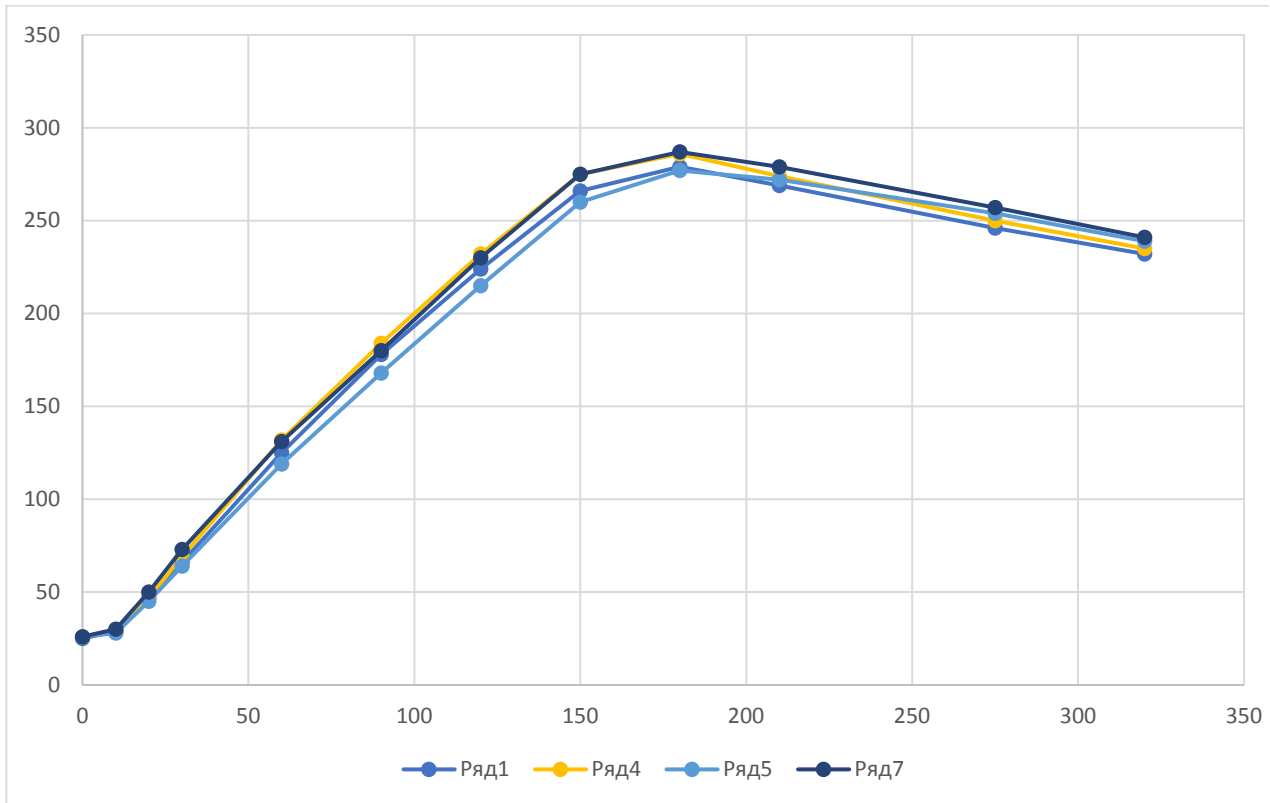


Рис. 10.28. Графік зміни температур кожної термопари в камені KADS.
22.12.2021: "1"-Термопара 1; "4"-Термопара 4; "5"-Термопара 5;
"7"-Термопара 7

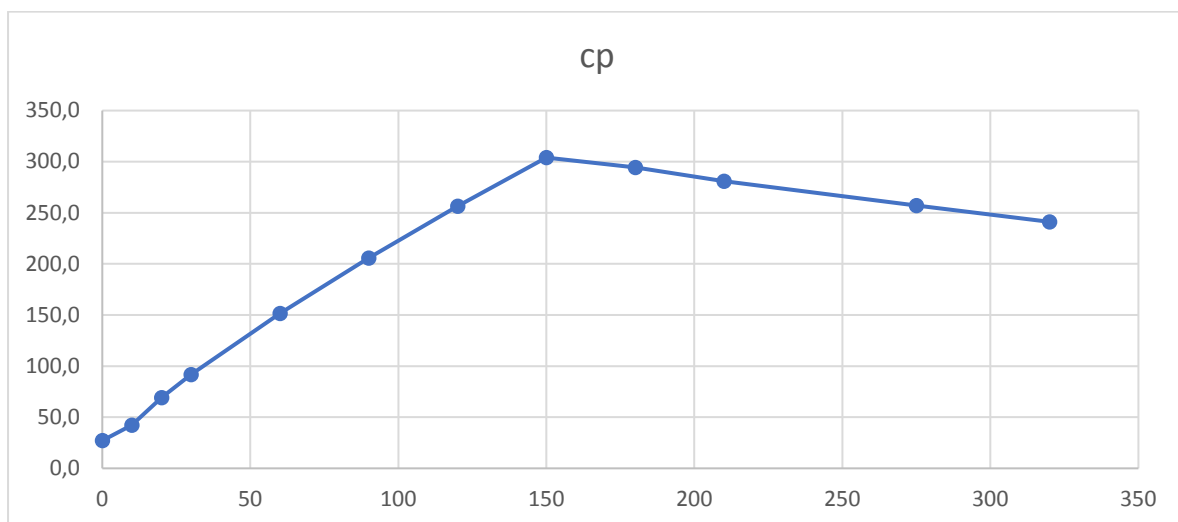


Рис. 10.29. Графік зміни середньої температури в камені в камені КАДС.
22.12.2021

Нижче представлені графіки для КША-5 дані від 01.12.2021р.

**Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА**

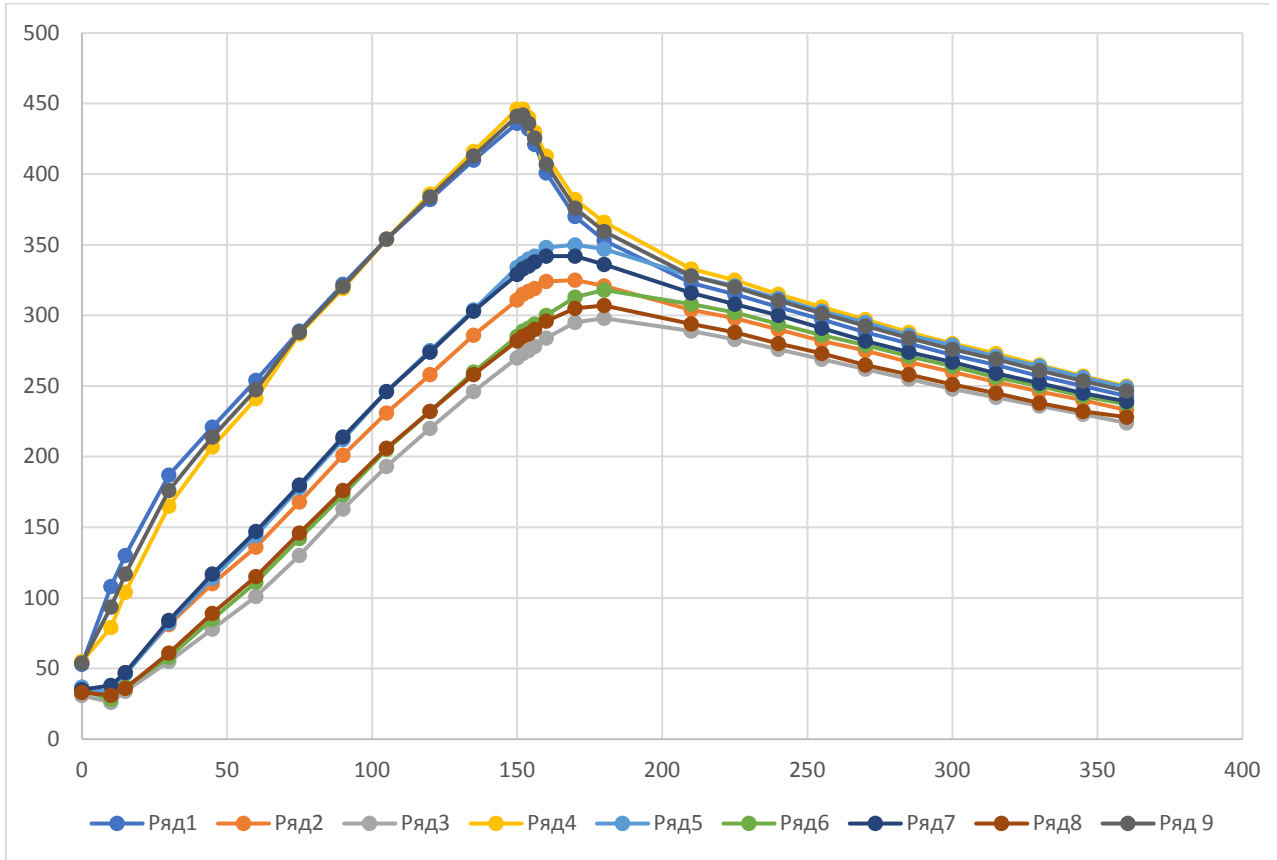


Рис. 10.30. Графік зміни температур по кожній термопарі у камені КША-5, 01.12.2021. "1"-Термопара 1; "2"-Термопара 2; "3"-Термопара 3; "4"-Термопара 4; "5"-Термопара 5; "6"-Термопара 6; "7"-Термопара 7; "8"-Термопара 8, "9"-Термопара 9

Таблиця 10.13. Розшифровка номерів термопар

3	6	8	1 – ліво-низ; 2 – ліво-верх; 3 - ліво-верх зі сторця
2	5	7	4 - середина-низ із торця; 5 – середина верх з торця
1	4	9	6 – середина верх; 7 - право-низ із торця; 8 – право-верх з торця; 9 – право-низ;

Після аналізу графіка видно, що в шамотному камені нагрівання і остигання в різних частинах каменю йде по-різному. Показання температур практично збігаються у 5 і 7 термопарі, близькі показники у 3, 8, 6 термопарах, і в 9, 4, 1 термопар значення дуже близькі. Від усіх відрізняються дані термопарі 2.

Розділ 10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТА
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО НАКОПИЧУВАЧА

Висновки до розділу 10.

1. Розроблена методика проведення експериментальних вимірювань акумулюючих каменів у нагрівальній камері;

2. В результаті експериментальних досліджень визначено питомі теплоємності для різних варіантів каменів-вкладишів теплоакумулюючого нагрівача. В експериментів використано камені закордонного виробництва з теплоакумулюючого нагрівача Elnur ADS 168, цегла шамотна ША-5 та камені із запропонованих сумішей жаростійких бетонів. Найнижчі показники були отримані для цегли шамотної ША-5, які коливаються в межах 2,7...4,04 кДж/К. Показники питомої теплоємності у каменю закордонного виробництва складають 6,7...7,3 кДж/К. Для каменю українського виробництва значення коливаються 6,4...8,3 кДж/К, що відповідає або перевищує на 13,7% характеристики закордонних аналогів. При цьому економічна ефективність запропонованих рішень досягається за рахунок заміни каменів – вкладишів з магнетиту, які застосовуються в теплоакумулюючих нагрівачах імпортного виробництва і характеристики яких не повідомляє виробник, на матеріали із сировини вітчизняного походження та відходів виробництва.

РОЗДІЛ 11

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРІВ



11.1. Переваги теплоаккумуляційного опалення на електричній енергії у порівнянні з іншими системами опалення

Основні переваги відмови від котлів на газі, мазуті, пелетах, вугіллі, торфі, трісках, тирсі, дровах, лушпинні, сіні та соломі складаються в економії трудовитрат і часу обслуговування опалювального обладнання [1].

1. Котли на газі, рідкому або твердому паливі вимагають спеціального обслуговування, періодичного чищення, заміни форсунок.

2. Експлуатаційні витрати на доставку, зберігання та перевалку палива неминучі та вимагають контролю, місця зберігання.

3. Існує небезпека пожежі, вибуху газу з повітрям як у топочній, так і на місці зберігання палива.

4. Існує небезпека потрапляння продуктів горіння, чадного газу, шкідливих викидів у приміщення будинку

5. "Економні котли" вимагають димову трубу і, звичайно, її треба регулярно обслуговувати, чистити забезпечувати тягу.

6. Максимальна ефективність таких систем потребує вкрай якісної електроніки, двигунів, насосів, автоматики.

7. ККД таких систем дуже залежно від теплового навантаження та якості палива, що дуже важко контролювати.

8. Потрібне окреме приміщення для розміщення котла та палива для забезпечення безпеки та збереження здоров'я.

9. Необхідно боротися з накипом у водяній опалювальній системі.

10. Завжди необхідно мати на сезон резерв коштів на паливо, щоб купити його дешевше до початку опалювального періоду.

11. Перебої з електропостачанням спричинять проблеми у роботі складних систем, якщо немає резервного джерела.

12. Максимальний ККД таких "економних котлів" можливий при незмінному, але рідкісному та оптимальному тепловому навантаженні.

11.2. Техніко-економічний розрахунок для оцінки економії від застосування теплонакопичувача

Дія «нічного тарифу» з 23:00 до 07:00. У цьому проміжку вартості електроенергії враховується з понижувальним коефіцієнтом 0,5 для двох зонного тарифу. Чинний тариф на електроенергію для побутових споживачів складає 1,68грн/кВт·год з ПДВ.

Ціна 1 кВт·год теплової енергії від теплового накопичувача для фізичних осіб складе 0,84 грн/кВт·год з ПДВ. Тоді витрати на електроенергію

**Розділ 11. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ З
ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРІВ**

з врахуванням двухзонного тарифу складають: $0,5 \times 1,68 \text{ грн/кВт}\cdot\text{год} = 0,84 \text{ грн/кВт}\cdot\text{год}$ із ПДВ.

Теплота згоряння 1 м^3 природного газу $0,0082 \text{ Гкал/м}^3$, що становитиме 8000 кКал.

Ціна 1 м^3 природного газу складається із суми тарифу $5,868492 \text{ грн/м}^3$ та ціни доставки $0,936 \text{ грн/м}^3$. Тобто ціна 1 м^3 становитиме $6,804492 \approx 6,80 \text{ грн/м}^3$ з ПДВ від ПАТ "Київоблгаз".

Ціна 1 Гкал теплової енергії центрального опалення для фізичних осіб $1654,41 \text{ грн/Гкал}$ із ПДВ.

У розрахунках не враховано витрати на технічне обслуговування казанів, батарей, споживання електроенергії циркуляційними насосами, експлуатаційні витрати на доставку, зберігання, перевалку палива, витрати на персонал, безпеку, інспекції.

Результати порівняльного аналізу систем опалення для приватного будинку приведені в табл. 11.1.

Таблиця 11.1. Порівняльний аналіз систем опалення для приватного будинку

Опис	Газовий котел	Централізована опалення	Електричний котел або конвектори	Тепло-накопичувач
Ціна енергоресурсу	6,8 грн/м ³	1 654 грн/Гкал	1,68 грн/кВт·год	0,84 грн/кВт·год 2-х зон
Теплове навантаження на 100 м ² в місяць	375 м ³	3 Гкал	3489 кВт·год	3489 кВт·год
Витрати на 100 м ² в місяць	468 м ³	3 Гкал	3524 кВт·год	324 кВт·год
ККД джерела тепла (котла і т.п.)	0,92	1	0,99	0,99
ККД всієї системи опалення	0,80	1	0,99	0,99
Розрахунок витрат в гривнях	468 x 6,8	3 x 1654	1,68 x 3524	1,68 x 0,5 x 3524
Витрати на опалення в місяць	3182	4962	5920	2960
Відносна вартість, %	54	84	100	50

Результати розрахунку засвідчують, що система опалення з використанням електричних котлів або конвекторів є найбільш затратна. Система опалення з використанням електроенергії і теплонакопичувачів або акумуляторів тепла є найбільш економічною. Порівняно з системами опалення з використанням електричних котлів або конвекторів вона в 2 рази економічніша.

Висновки до розділу 11

1. Досліджено економічну ефективність системи опалення з використанням теплоакумуляторів і централізованого джерела електричної енергії. Економія грошових коштів досягається за рахунок двухзонного тарифу для побутових споживачів електричної енергії.

2. Система опалення з використанням електричних котлів або конвекторів є найбільш затратна. Система опалення з використанням електроенергії і теплонакопичувачів або акумуляторів тепла є найбільш економічною. Порівняно з системами опалення з використанням електричних котлів або конвекторів вона в 2 рази економічніша.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 11

1. Электрокабельные системы обогрева антиобледенения, снеготаяния, зданий и сооружений. Теплоаккумуляционное отопление тепловыми накопителями с использованием ночного тарифа. URL: <http://www.obogreem.com.ua/>

Наукове видання

Савицький Микола
Шехоркіна Світлана
Бордун Марина
Данішевський Владислав
Адегов Олександр
Конопляник Олександр
Юрченко Євген
Ляховецька-Токарєва Марина
Козенко Олександр
Спиридоненков Віталій

СИСТЕМИ ГЕНЕРАЦІЇ, НАКОПИЧЕННЯ ТА ТРАНСФОРМАЦІЇ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Колективна монографія

*За загальною редакцією доктора технічних наук, професора
Миколи Савицького*

Редактори: Савицький М., Бордун М., Шехоркіна С.

Підп. до друку 28.12.2021, відп. до рішення Вченої ради ДВНЗ ПДАБА (Протокол № 7 від 28 грудня 2021 р.). Формат А4. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 14,9. Наклад 300 прим.
Зам. № 4876

Віддруковано ФОП Удовиченко О.М.
49080, м. Дніпро, вул. Донецьке Шосе, 15 кв.531. Тел.785-22-31
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру ДК №3660 від 28.12.2009