

## Теплові акумулятори енергії.

Для вирівнювання добового графіка навантаження використовуються акумулятори енергії: гідравлічні (ГАЕС), пневматичні, механічні, теплові.

У промисловості найбільше поширення знайшли теплові акумулятори (ТА): рідкі, тверді, фазовий акумулятори (ФА) (додаток А).

Теплоємність ФА в десятки разів більше теплоємності води. Крім того, вони зберігають протягом фазового переходу постійну температуру. У жарких країнах для акумулювання енергії використовуються солоні озера.

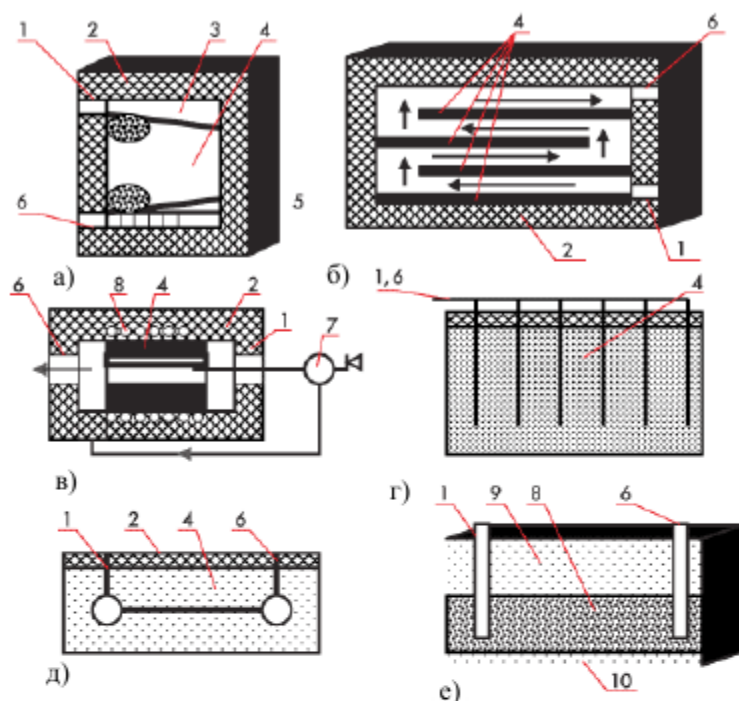
В якості ТАМ з фазовим переходом використовують гідрооксид барію  $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$  з температурою плавлення  $t_{\text{пл}} = 78^\circ\text{C}$ , глауберову сіль  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - t_{\text{пл}} = 32,2^\circ\text{C}$ ,  $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O} - t_{\text{пл}} = 58,2^\circ\text{C}$  та ін.

Маса або об'єм теплоакумулюючого матеріалу (ТАМ) залежить від відповідної щільності енергії, що запасається, і ККД процесу акумуляції тепла. У реальному процесі акумуляції теплоти щільність енергії, що запасається, на порядок нижче за теоретичне значення унаслідок теплових втрат, вирівнювання поля температур, втрат при заряді і розряді акумулятора. В даний час відоме велике різноманіття видів і конструкцій теплових акумуляторів із зернистим ТАМ, обумовлене широким спектром сфер застосування акумуляторів тепла. Безліч методів і способів акумуляції наводить до різних технічних і конструктивних рішень (рисунк 1):

- теплові акумулятори з твердим ТАМ;
- теплові акумулятори з плавким ТАМ;
- рідинні акумулятори тепла;
- парові акумулятори тепла;
- термохімічні акумулятори;
- теплові акумулятори з електронагрівальним елементом.

Традиційно розглядаються теплові акумулятори з нерухомою або рухливою матрицями. Використання нерухомої матриці забезпечує максимальну простоту конструкції, але вимагає великих мас ТАМ. Окрім цього, температура теплоносія на виході з акумулятора змінюється протягом

часу, що вимагає додаткової системи підтримки постійних параметрів шляхом перепускання.



а – з пористою матрицею; б, в – каналні; г, д – підземні з вертикальними і горизонтальними каналами; е – у водоносному горизонті; 1 – вхід теплоносія; 2 – теплоізоляція; 3 – розділові ґрати; 4 – ТАМ; 5 – опори; 6 – вихід теплоносія; 7 – розділення потоків; 8 – індуктор; 9 – водоносний шар; 10 – водонепроникний шар

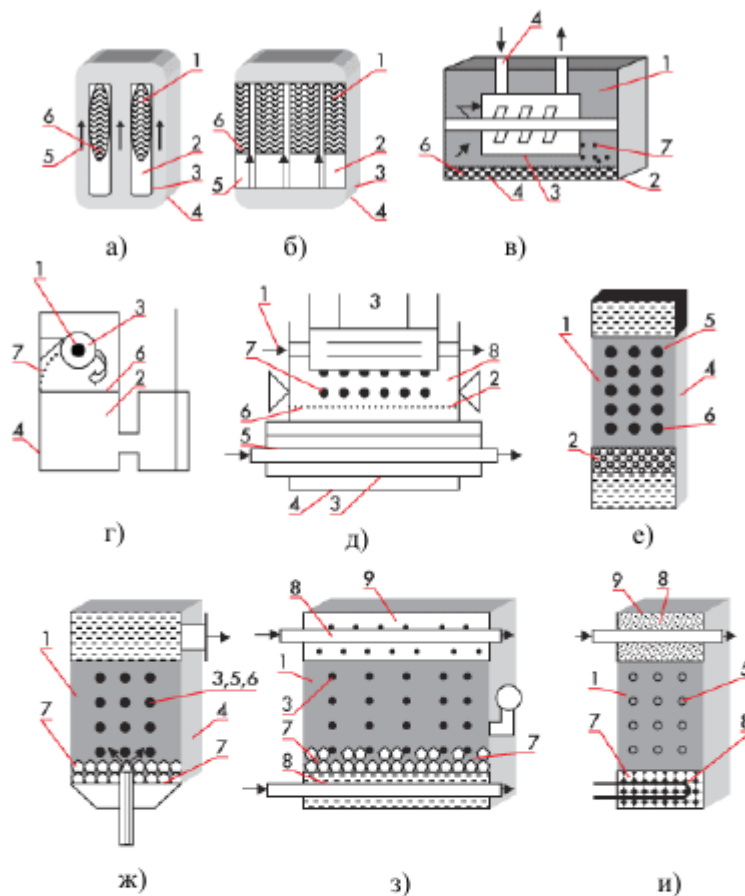
Рисунок 1 – Основні типи теплових акумуляторів з твердим теплоакумулюючим матеріалом

Канальні теплові акумулятори широко застосовуються в системах електро-, теплопостачання, що використовують позапікову енергію. Теплоакумулюючий матеріал (шамот, вогнетривка цеглина і т. п.) нагрівається в періоди мінімального вжитку електроенергії, що дозволяє вирівнювати графіки завантаження електростанцій. Пропускаючи холодне повітря через матрицю можна здійснювати обігрів приміщень. Акумулятори

даного типу виробляються за кордоном серійно для індивідуальних і малосімейних будинків. Особливим типом каналних теплових акумуляторів з твердим ТАМ є теплові графітові акумулятори, використовувані як джерело енергії в автономних енергоустановках. Температура їх нагріву може досягати 3 500 °С, що забезпечує прийнятні масогабаритні характеристики установки. Підземні акумулятори тепла з горизонтальними каналами застосовуються для акумуляції тепла і його використання протягом 2-4 місяців. Акумулятори тепла у водоносних горизонтах використовуються для акумуляції кількості тепла, достатнього для тепlopостачання невеликого селища протягом року. Тут в якості ТАМ використовується водонепроникний шар землі, в якій в режимі заряду через свердловину закачується гаряча вода, а в режимі розряду через іншу свердловину закачується холодна вода. Унаслідок відсутності поверхонь теплообміну даний тип теплових акумуляторів забезпечує найкращі економічні характеристики серед підземних акумуляторів тепла. Вочевидь, що недоліками таких видів акумуляторів є складність проектування для конкретного вигляду водоносного горизонту, великі енергетичні витрати на прокачування теплоносія. Використання рухливої матриці передбачає вживання теплових акумуляторів, як правило, у вигляді регенератора, що обертається, пристроїв з падаючими кулями і тому подібне. Такі акумулятори застосовуються в апаратах регенерації теплової енергії, і унаслідок малої тривалості робочого циклу вони мають невеликі конструктивні розміри. Для теплових акумуляторів з рухливою матрицею характерна постійна температура газу на виході. Основні показники акумуляторів тепла з твердим ТАМ визначаються залежно від їх конструктивних рішень і призначення. При цьому приймаються допущення про рівномірність розподілу потоків теплоносіїв за площею матриці, незалежності властивостей ТАМ і теплоносіїв від температури і ряд інших. При використанні теплоти плавлення деяких речовин для акумуляції теплоти забезпечується висока щільність енергії, що запасується, невеликі перепади температур і стабільна температура на виході з теплового акумулятора. Не дивлячись на це, більшість ТАМ в розплавленому стані є корозійно-активними речовинами, в більшості своїй мають низький коефіцієнт теплопровідності, змінюють об'єм при плавленні і

відносно дороги. В даний час відомий досить широкий спектр речовин, що забезпечують температуру акумуляції від 0 до 1400°C. Необхідно відзначити, що широке вживання теплових акумуляторів з плавким ТАМ стримується, перш за все, міркуваннями економічності створюваних установок. При невеликих робочих температурах (до 120 °С) рекомендується вживання кристалогідратів неорганічних солей, що пов'язане в першу чергу з використанням як ТАМ природних речовин. Для реального вживання розглядаються лише речовини, що не розкладаються при плавленні або розчиняються в надлишковій воді, що входить в склад ТАМ. Використання органічних речовин повністю знімає питання корозійного руйнування корпусу, забезпечує високу щільність енергії, що запасується, досить хороші техніко-економічні показники. Проте в процесі роботи теплового акумулятора з органічними ТАМ відбувається зниження теплоти плавлення унаслідок руйнування протяжних ланцюжків молекул полімерів. Із-за низького коефіцієнта теплопровідності органічних ТАМ потрібне створення і вживання розвинених поверхонь теплообміну, що, у свою чергу, накладає конструктивні обмеження на використання теплового акумулятора. При робочих температурах від 500 до 1600 °С застосовуються, як правило, з'єднання і сплави лужних і лужноземельних металів [1, 4]. Істотним недоліком вживання з'єднань металів прийнято вважати низький коефіцієнт теплопровідності, корозійну активність, зміну об'єму при плавленні. Для захисту від хімічної корозії вочевидь необхідно підібрати конструкційні матеріали або інгібітори корозії, що забезпечують заданий термін служби теплового акумулятора. Перспективно використовувати суміші і сплави органічних і неорганічних речовин, що дозволяють забезпечувати необхідні значення температур плавлення і великі терміни служби. Вживання всіляких теплоакумулюючих матеріалів вимагає розробки надійних конструктивних рішень, направлених на максимальне використання позитивних якостей ТАМ і виключення їх недоліків (рисунок 2).

Розміщення ТАМ в капсулах (рисунок 2а) забезпечує високу надійність конструкції, дозволяє створювати розвинену поверхню теплообміну, компенсувати (при використанні гнучких капсул) зміну об'єму в процесі фазових переходів.



а – капсульний; б – кожухотрубний; в, г – із скребковим видаленням ТАМ; д – з ультразвуковим видаленням ТАМ; е, ж – з прямим контактом і прокачуванням ТАМ; з, і – з випарно-конвективним перенесенням тепла; 1 – рідкий ТАМ; 2 – твердий ТАМ; 3 – поверхня теплообміну; 4 – корпус теплового акумулятора; 5 – теплоносій; 6 – границя розділу фаз; 7 – частки твердого ТАМ; 8 – проміжний теплообмінник; 9 – паровий і рідинний простори для теплоносія.

Рисунок 2 – Основні типи теплових акумуляторів фазового переходу

Проте унаслідок низької теплопровідності ТАМ необхідне велике число капсул малого розміру, що наводить до великої трудомісткості виготовлення теплового акумулятора. Тому доцільним є вживання

капсульних теплових акумуляторів у випадках малих теплових потоків, що відводяться теплообмінною поверхнею. Розташування ТАМ в міжтрубному просторі кожухотрубного теплообмінника (рисунок 2б) забезпечує раціональне використання внутрішнього об'єму теплового акумулятора і вживання традиційних технологій виготовлення теплообмінних апаратів. Проте при такій конструкції утруднено забезпечення вільного розширення ТАМ, унаслідок чого знижена надійність акумулятора в цілому. Найбільш технологічно складним і дорогим елементом теплового акумулятора традиційної конструкції є теплообмінна поверхня. Унаслідок низьких коефіцієнтів теплопровідності більшості плавких ТАМ, в даний час запропоновані різні способи зменшення поверхні теплообміну шляхом відскрібання ТАМ (рисунок 2в, 2г), шляхом ультразвукового або електрогідролічного руйнування затверділого ТАМ (рисунок 2д). Вказані вище способи дозволяють істотно понизити величину термічного опору теплообмінній поверхні, але в той же час вони у декілька разів збільшують навантаження на конструктивні елементи акумулятора. Відомо, що кращим варіантом теплообмінної поверхні є її повна відсутність, тобто безпосередній контакт теплоакумулюючого матеріалу і теплоносія. Вочевидь, що в цьому випадку необхідно підбирати як теплоакумулюючі матеріали, так і теплоносії по ознаках, що забезпечують працездатність конструкцій. Теплоакумулюючі матеріали в цьому випадку повинні відповідати наступним вимогам:

- кристалізуватися окремими кристалами;
- мати велику різницю щільності твердої і рідкої фаз;
- бути хімічно стабільними;
- не утворювати емульсій з теплоносієм.

Теплоносії підбираються по наступних ознаках:

- хімічна стабільність в суміші з ТАМ;
- велика різниця щільності по відношенню до ТАМ;
- мала здібність до спінування;
- і ряд інших вимог, витікаючих з особливостей конструкції.

При використанні щільнішого теплоносія, ніж твердий ТАМ, реалізується схема, представлена на рисунку 2е. В процесі роботи акумулятор заповнений сумішшю теплоакумулюючого матеріалу і

теплоносія. У верхню частину теплового акумулятора подається рідкий теплоносії, який потрапляє на поверхню ТАМ, охолоджує (нагріває) його і відводиться з нижньої частини акумулятора. За рахунок меншої щільності рідкої фази ТАМ, в порівнянні з твердою, його частки, що закристалізувалися, опускаються в нижню частину акумулятора. Надалі відбувається поступове заповнення всього об'єму частками ТАМ, що закристалізувалися. При використанні теплоносія з щільністю, меншою за щільність ТАМ, реалізується схема, представлена на рисунку 2ж. Розпил теплоносія відбувається в нижній частині акумулятора. В процесі спливання крапель теплоносія ТАМ нагрівається або охолоджується і одночасно інтенсивно перемішується. Вочевидь, основними недоліками приведених способів контакту ТАМ і теплоносія є потреби в сторонньому джерелі енергії для прокачування і необхідність ретельної фільтрації теплоносія з метою перешкоди віднесенню часток ТАМ. Вказані недоліки відсутні в конструкції, що використовує принцип випарно-конвективного перенесення тепла при безпосередньому контакті ТАМ і теплоносія (рисунок 2з). Для забезпечення працездатності теплового акумулятора необхідно, аби температура кипіння теплоносія при атмосферному тиску була декілька нижче за температуру плавлення ТАМ. Для заряду акумулятора тиск і, відповідно, температура кипіння теплоносія в ньому встановлюються вище за температуру плавлення ТАМ. У зарядному теплообміннику здійснюється підведення тепла. Теплоносії закипає, і бульбашки пари при температурі вище за температуру плавлення ТАМ піднімаються вгору і підігрівають ТАМ. При цьому відбувається плавлення ТАМ і конденсація теплоносія. Розплавлений ТАМ піднімається вгору, а конденсат теплоносія опускається вниз. Під час плавлення ТАМ бульбашки теплоносія виходять в паровий простір теплового акумулятора, і в кінці процесу зарядки весь теплоносії в паровій фазі знаходиться в паровому просторі. На етапі відведення тепла від теплового акумулятора тиск в ньому знижується так, що температура конденсації теплоносія стає нижчою за температуру плавлення ТАМ. При відведенні тепла на поверхні розрядного теплообмінника відбувається конденсація теплоносія, який стікає на розплавлений ТАМ. В результаті відбувається випарювання крапель теплоносія і кристалізація часток ТАМ. Затверділий

ТАМ опускається в нижню частину теплового акумулятора, а пара теплоносія піднімається вгору. У міру охолодження ТАМ краплі теплоносія опускаються все нижче і нижче, і в кінці розрядки весь теплоносій опиняється в нижній частині теплового акумулятора. Найбільшого поширення набули рідинні теплові акумулятори.

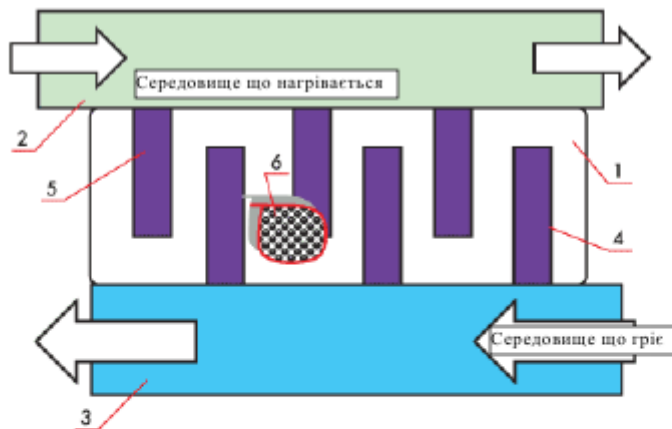
Парові теплові акумулятори конструктивно можуть бути виконані у вигляді:

- сталевого суцільнозварного корпусу;
- судини із задалегідь напруженого залізобетону або чавуну;
- підземного резервуару високого тиску.

Великі габарити, значна трудомісткість і складність у виготовленні, утруднений контроль і огляд (при підземному розміщенні) теплових акумуляторів такого типу перешкоджає їх широкому поширенню. Використання термохімічних циклів в теплових акумуляторах ґрунтується на принципі виникнення хімічного потенціалу в результаті оборотної хімічної реакції в нерівноважному стані. Важливою перевагою хімічних способів акумуляції теплової енергії, в порівнянні із звичайними, є те, що запасена енергія може зберігатися досить тривалий час без вживання теплової ізоляції, полегшені проблеми транспорту енергії на значні відстані.

Конструкція теплового акумулятора з тепловими трубами до теплогенерующої установки приведена на рисунок 3. Тепловий акумулятор встановлюється в хвостовій частині казана: у газохід поміщаються випарні частини теплових труб, а конденсатори розміщені в зернистій масі. Між тепловими трубами, що підводять теплоту, встановлені також теплові труби, що відводять теплоту від зернистої маси. До переваг використання як теплообмінні поверхні теплових акумуляторів теплових труб слід віднести простоту компоновки, надійність і стабільність роботи, менші гідравлічні втрати в газовому тракті. Таким чином, вживання акумуляторів теплоти в системах тепlopостачання дозволить підвищити ефективність використання палива, ширше застосовувати вторинні енергоресурси, нетрадиційні і поновлювані джерела енергії.





1 – тепловий акумулятор із зернистою матрицею; 2 – колектор з середовищем, що нагрівається; 3 – колектор-газохід з гріючим середовищем; 4, 5 – теплові труби, що підводять і відводять теплоту, відповідно; 6 – зерниста маса.

Рисунок 3 – Конструкція теплового акумулятора з тепловими трубами

Додаток А  
(довідковий)

Серійно освоєні теплові акумулятори (промислові і побутові)



а) JASPI-GTV 270



б) Jaspi-Sahkoovali

Рисунок Б.1 – Теплові акумулятори

Jaspi-Sahkoovali - новий електроакумулятор енергії з поліуретановою ізоляцією і сталеву обшивкою. Відмінно застосовується як джерело тепла як на нових, так і об'єктах реконструкції. За об'ємом Jaspi-Sahkoovali виготовляється трьох розмірів 1,2; 1,8 і 2,4 м/куб. Регулююча автоматика високого рівня в Jaspi-Sahkoovali управляє повністю автоматично роботою акумулятора. Струмкові трансформатори, що поставляються разом з автоматикою, забезпечують ефективну експлуатацію головного запобіжника об'єкту, враховуючи інше електронавантаження в будинку. Управління можна легко підключити також до контурів електроуправління електростанції. Стандартна потужність нічної зарядки - 16,25 кВт або 21,75 кВт і денна потужність - 9,75 кВт. Зазвичай в Jaspi-Sahkoovali не використовують змішувачі ГВС, гарячу побутову воду виробляють окремим водонагрівачем Jaspi. Система відмінно личить для радіаторів або низькотемпературної теплої підлоги, навіть найменший за розміром Jaspi-Sahkoovali досить для опалювання невеликого приватного будинку (прим. 120 кв.м.) майже повністю на нічній електроенергії.

JASPI-GTV 270 відмінно личить для збільшення водяного об'єму комбінованого казана. Акумулятор ефективно експлуатує комбінований казан на твердому паливі і покращує його ККД при експлуатації на дизельному / газовому паливі. GTV 270 личить також для підключення до казана як водонагрівач.