

КАПИТЕЛ 2 / CHAPTER 2 ²

EXPERIENCE IN CREATING SORPTION THERMAL TRANSFORMERS

DOI: 10.30890/2709-2313.2025-39-02-005

Вступ

Раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів та енергозбереження є найважливішими завданнями сучасної енергетики. У зв'язку з зростаючим дефіцитом і подорожчанням традиційних енергоносіїв гостро постає питання створення нових і вдосконалення існуючих технологій, спрямованих на зниження споживання і підвищення ефективності виробництва енергії, впровадження енергозберігаючих процесів в енергетиці, промисловості та комунальному господарстві. Одним з перспективних напрямків у вирішенні проблем зниження витрат первинного палива і оптимізації енергетичного балансу технологічних процесів є залучення в енергообіг низькопотенційної теплоти, непридатної для безпосереднього використання.

Найбільш ефективна утилізація низькопотенційного тепла і перетворення його на більш високий температурний рівень здійснюється за допомогою сорбційних теплових конвертерів (термотрансформаторів). Сорбційні термотрансформатори здатні працювати практично від будь-якого джерела теплової енергії (відпрацьована пара, гаряча вода, вторинні теплові ресурси підприємств, сонячна, геотермальна енергія та ін.) і в порівнянні з парокомпресійними тепловими насосами є більш економічними за показником споживання первинного палива.

У 50-х роках минулого століття поряд з водно-аміачними холодильними установками в світі стали широко застосовуватися абсорбційні холодильні установки з робочою парою вода-водний розчин неорганічної солі. Машина цього типу використовувалися у системах централізованого кондиціонування

²**Authors:** Stepanova Olesya Evgeniivna, Posunko Dmytro Viktorovych, Chalaev Murshyd Dzhamalutdinovych, Danko Ivan Olehovych, Shavrin Yuriy Viktorovych, Kovalov Viktor Ivanovych

Number of characters: 18447

Author's sheets: 0,46



повітря та як джерело заохолодженої води для різних технологічних процесів. Головною перевагою водно-сольових установок була їх екологічність, пожежо- і вибухобезпека, менша металоємність і більш високий ККД в порівнянні з іншими типами термотрансформаторів. Основні зусилля дослідників в ті роки були спрямовані на зниження втрат термодинамічного циклу, інтенсифікацію процесів тепло- і масообміну, вирішення проблем захисту від корозії, а також створення основи для теорії розрахунку і проектування абсорбційних бромистолітєвих холодильних машин (АБХМ) промислового призначення [1].

Чергове зростання інтересу до вдосконалення технології сорбційного охолодження почалося після набуття чинності в 1989 році Монреальського протоколу про речовини, що руйнують озоновий шар, який передбачав поступову відмову від виробництва холодоагентів на основі хлорфторвуглецю (CFC) і гідрохлорфторвуглецю (HCFC). Дослідженням в цьому напрямку приділяється велика увага у всіх промислово розвинених країнах [2].

В останні роки існує активний інтерес до твердотільних сорбційних холодильників та теплових насосів малої потужності, які розраховані на використання в індивідуальних будинках, комунальному секторі, сільському господарстві тощо. Адсорбційні термотрансформатори, перші серійні зразки яких з'явилися нещодавно на ринку, можуть працювати від низькотемпературних джерел теплової енергії (сонячного, геотермального, промислового скидного тепла), починаючи від 50...60 °С. Вони здатні забезпечувати широкий діапазон регулювання продуктивності, тому адсорбційні агрегати дедалі ширше використовують у системах тригенерації [3, 4].

Для того щоб нове покоління сорбційних термотрансформаторів могло конкурувати з традиційними парокомпресійними тепловими насосами, необхідно провести фундаментальні дослідження для вирішення ряду наукових і технічних завдань. Це створення нових енергоефективних сорбційних матеріалів, теплофізичні властивості яких максимально адаптовані до параметрів зовнішніх джерел тепла, вивчення процесів тепломасообміну в термотрансформаторних пристроях і вирішення питань їх інтенсифікації,



удосконалення робочих циклів і схем компонування сорбційних установок, визначення корозійної стійкості конструкційних матеріалів і підбір інгібіторів корозії.

Вирішенням усіх цих проблем займається Інститут технічної теплофізики НАН України. В Інституті накопичено багаторічний досвід дослідження сорбційних процесів, термодинамічних циклів сорбційних холодильних машин, а також досвід розробки та практичного впровадження термотрансформаторів абсорбційного та адсорбційного типів.

У 1960-х роках колектив Інституту спільно з колегами з КиївЗНПЕП вперше висунув і захистив Авторським свідоцтвом СРСР ідею створення тригенераційних комплексів, що працюють на тепловій енергії міських теплових електростанцій [5]. Йшлося про використання тепла ТЕЦ не тільки для опалення та гарячого водопостачання, а й для літнього кондиціонування повітря із застосуванням абсорбційних бромисто-літєвих холодильних машин. Це дало б можливість здійснити рівномірне завантаження ТЕЦ протягом усього року та сприяло б додатковому виробленню електроенергії в літній період, коли ТЕЦ зазвичай недовантажені. Поряд з цим, в зимовий період абсорбційні холодильні машини можуть працювати в теплонасосному режимі, використовуючи як низькопотенційне джерело теплоту стічних вод, що є в будь-якому житловому районі.

У КиївЗНПЕП були розроблені проекти холодильних центрів для Києва і Ташкента, що працюють за запропонованою схемою на тепловій енергії міських теплових електростанцій. Заплановане будівництво житлових масивів з централізованим тепло- та холодопостачанням не було реалізовано, оскільки технологічний та експлуатаційний рівень у комунальному господарстві того часу був недостатньо високим для цих перспективних проектів [6]. У наш час в Європі активно піднімається питання про перехід на теплоспоживаючі холодильні системи в літній період. Це пов'язано зі стрімким зростанням споживання електроенергії на кондиціонування, що в останні кілька років регулярно призводило до перевантажень та перебоїв з електроенергією.



2.1. Розробка енергозберігаючих термодинамічних циклів із двоступінчастою регенерацією розчину

У наступні роки зусилля працівників Інституту були спрямовані на вирішення задач удосконалення бромисто-літієвих агрегатів. Наступною стадією наукових досліджень ІТТФ щодо підвищення енергетичної ефективності абсорбційних термотрансформаторів була розробка енергозберігаючих термодинамічних циклів із двоступінчастою регенерацією розчину. В АБХМ зі ступеневою регенерацією упарювання розчину здійснюється у два етапи – у високотемпературному та низькотемпературному генераторах. Джерелом енергії для низькотемпературного генератора є вторинна пара холодоагенту, що надходить з високотемпературного генератора. Використання теплоти конденсації пари холодоагенту для регенерації розчину дозволило в 1,6 рази знизити споживання первинної теплової енергії та приблизно на 40 % зменшити витрату охолоджувальної води [7].

Для практичної реалізації даної схеми необхідно було вирішити ряд наукових та технічних питань, пов'язаних з визначенням величини гранично допустимих значень напруги парового об'єму дзеркала випаровування у високотемпературному генераторі, вирішенням питання корозійного впливу розчину на конструкційні матеріали при високотемпературній регенерації, розробкою методика теплового та конструкційного розрахунку двоступеневої АБХМ.

За результатами досліджень була створена і впроваджена в серійне виробництво перша в СРСР двоступенева абсорбційна бромисто-літієва холодильна машина потужністю 3000 кВт (рисунок 1). У машині використовується ефективне технічне рішення – паралельний розподіл розчину між високо- і низькотемпературними ступенями генератора, що дозволяє перевести серійні одноступінчасті агрегати АБХА-2500 на двоступеневий режим роботи шляхом дооснащення їх високотемпературною насадкою [8]. За цією схемою була створена бромисто-літієва установка АБХМВ-3000



холодопродуктивністю 3 МВт. Перші агрегати були встановлені і експлуатувалися за участю фахівців Інституту на заводі «Вулкан» (м. Київ) та підприємстві «Фармахім» в м. Разград, Болгарія. Пізніше Інститут впровадив близько 30 абсорбційних термотрансформаторів на хімічних, гумотехнічних, металургійних підприємствах. З метою досягнення максимального ефекту від застосування абсорбційних термотрансформаторів для цих підприємств розроблені оригінальні технічні рішення щодо включення АБХМ в технологічну схему виробництва, які були захищені патентами.

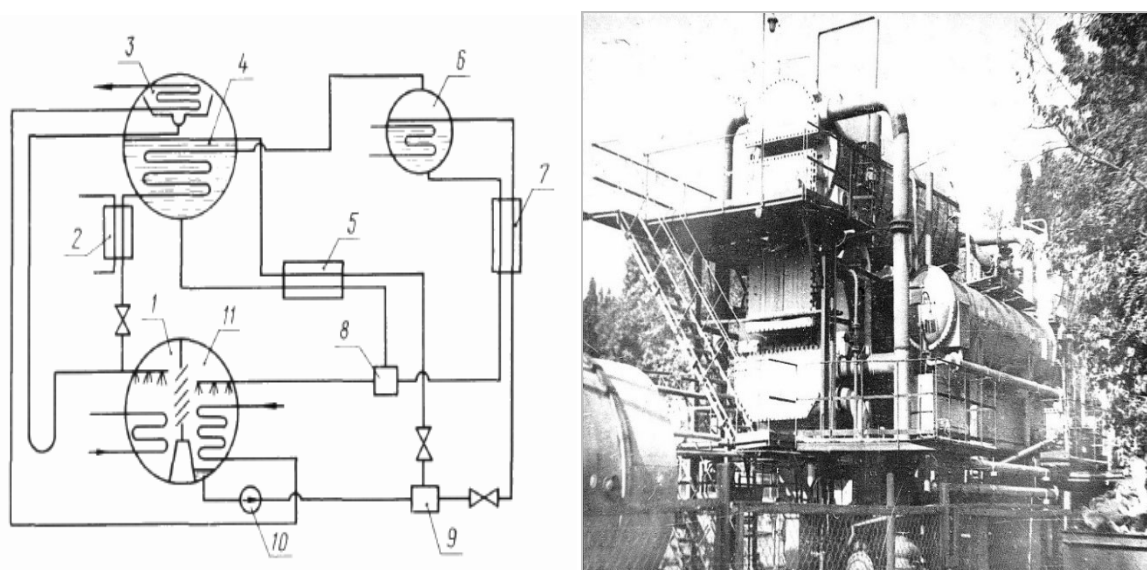


Рисунок 1 – Принципова схема і загальний вигляд абсорбційної бромисто-літієвої холодильної машини з ступеневою регенерацією розчину АБХА-2500-

2В: 1 – випарник; 2 – охолоджувач; 3 – конденсатор;

4 – генератор низького тиску; 5 – розчинний теплообмінник; 6 – генератор високого тиску; 7 – теплообмінник розчинів високого тиску;

8 – змішувач; 9 – розподільний пристрій; 10 – циркуляційний насос; 11 – абсорбер.

2.2. Створення сорбційних холодильних і теплонасосних установок, що працюють з використанням сонячної теплової енергії

З 1970-х років в Інституті, поряд з розробкою бромисто-літієвих установок



промислового призначення, проводяться дослідження по створенню сорбційних холодильних і теплонасосних установок, що працюють з використанням сонячної теплової енергії. Штучне охолодження є одним з найбільш ефективних способів перетворення сонячної енергії, оскільки максимальна потреба в охолодженні збігається з періодом максимального надходження сонячної радіації. Геліосорбційні термотрансформатори можуть експлуатуватися в районах, віддалених від джерел централізованого енергопостачання та призначені для теплохолодопостачання індивідуальних житлових будинків, охолодження та зберігання сільськогосподарської продукції у фермерських господарствах (овочів, фруктів, молока перед транспортуванням) та ін.

До геліоустановок, розрахованих на індивідуальних споживачів, висувається ряд специфічних вимог: максимальна автономність, простота в обслуговуванні і доступність для широкого споживача. Отримання теплової енергії від Сонця є найбільш доступним за допомогою плоских сонячних водонагрівачів. Оскільки ККД сонячного колектора знижується із зростанням температури теплоносія, то для створення ефективних геліохолодильних систем необхідна розробка сорбційних холодильних установок із невисокою температурою регенерації розчину абсорбенту.

Зниження температури регенерації розчину досягалося за рахунок використання в якості робочої рідини пари хлорид літій-вода і застосування схеми з відкритим термодинамічним циклом, в якому концентрація розчину абсорбенту відновлюється шляхом випаровування вологи в навколишнє середовище (рисунк 2). Втрата холодоагенту в системі компенсується за рахунок підживлення свіжої води у випарник. В умовах сухого жаркого клімату повітряна десорбція, поряд зі зниженням температури регенерації на 15-17 °С, забезпечує спрощення і, отже, здешевлення як геліонагрівальної частини, так і всієї установки в цілому [9, 10].

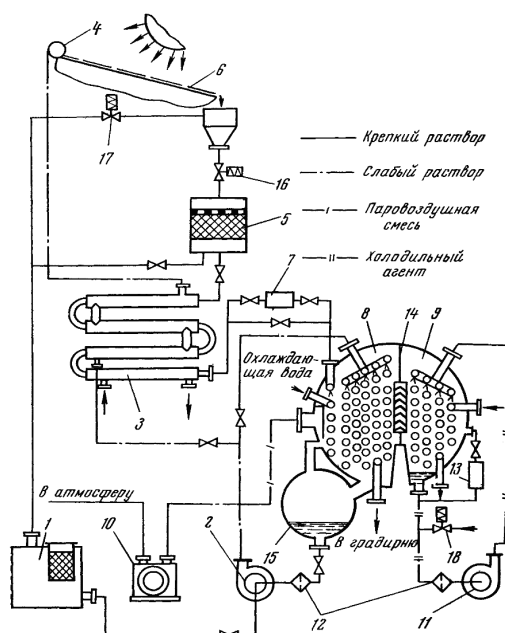


Рисунок 2 – Принципова схема геліохолодильної абсорбційної установки з розімкненим термодинамічним циклом: 1 – дренажний бак; 2 – насос абсорбенту; 3 – розчинний теплообмінник; 4 – зрошувач; 5 – забірна воронка для розчину; 6 – сонячний регенератор; 7, 13 – поплавкові регулятори рівня; 8 – абсорбер; 9 – випарник; 10 – вакуумний насос; 11 – насос холодоагенту; 12 – фільтри; 14 – сепаратор; 15 – ресивер; 16, 17, 18 – електромагнітні клапани.

У 1984-85 роках у Центрі з використання сонячної енергії у м. Сантьяго де Куба пройшли випробування сонячної абсорбційної холодильної установки з удосконаленим десорбером. Установка АХСУ-40А, поставлена Інститутом, була обладнана зрошувальним геліонагрівачем-десорбером з подвійним склінням та примусовим рухом повітря. Удосконалена конструкція сонячного десорбера забезпечувала стабільну роботу установки незалежно від зміни погодних умов.

Безсумнівним досягненням Інституту в цій області стало створення в 90-х роках абсорбційного термотрансформатора ТТА-30 принципово нової конструкції – без рециркуляційних насосів і з розміщенням всіх основних пристроїв в єдиному корпусі (рисунок 3). Агрегат розрахований на роботу від джерела нагріву з температурою 70-80 °С і в порівнянні з аналогами має значно нижче споживання електроенергії на власні потреби.

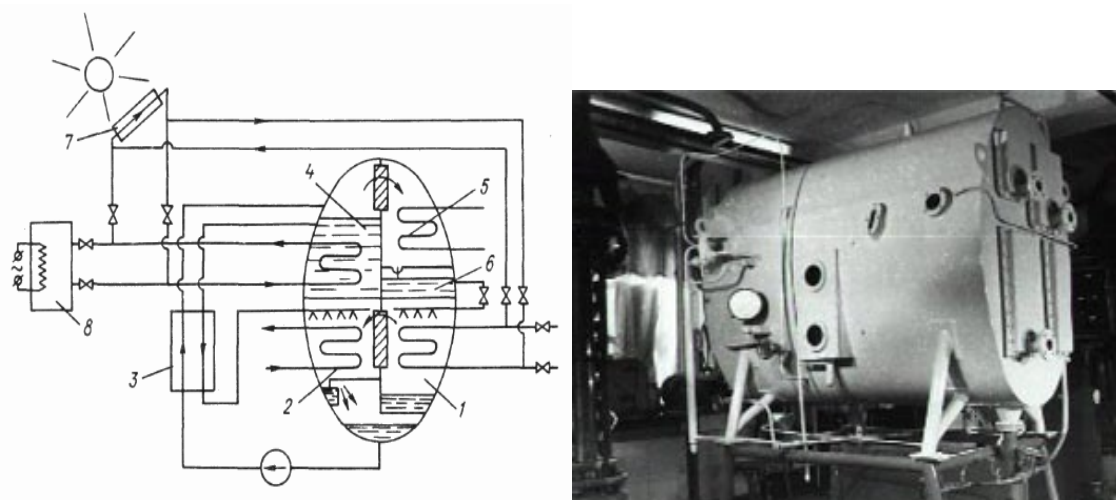


Рисунок 3 – Принципова схема і загальний вигляд термотрансформатора ТТА-30: 1 – випарник; 2 – абсорбер; 3 – теплообмінник; 4 – генератор; 5 – конденсатор; 6 – ресивер; 7 – сонячний нагрівач; 8 – дублююче джерело енергії.

За 1980-90-і роки в ІТТФ створено низку геліоабсорбційних термотрансформаторів різного призначення, експериментальні зразки яких пройшли випробування в кліматичних умовах Криму, Середньої Азії, Куби, Індії, Болгарії та показали високу ефективність запропонованих технічних рішень. Усі зазначені установки виготовлені в Дослідному виробництві ІТТФ та після запуску в експлуатацію досліджувалися за участю наукових співробітників ІТТФ. За енергетичними показниками ці установки відповідали найкращим світовим зразкам свого часу, а за низкою параметрів перевершили їх [11].

2.3. Створення твердотільних термотрансформаторів

У 1980-ті роки в Інституті було розпочато дослідження зі створення твердотільних термотрансформаторів. У першому етапі робіт планувалося створення адсорбційного агрегату для побутового сонячного холодильника. Основними вимогами до розробки були: повна автономність і здатність виробляти мінусовий холод при температурі навколишнього середовища до $+40^{\circ}\text{C}$, що зумовило необхідність пошуку нових робочих тіл, що відповідають цим умовам.



Дослідження сорбційних властивостей відомих промислових марок адсорбентів (цеолітів і силікагелів) показало, що дані матеріали не забезпечують необхідну ефективність адсорбційного агрегату, тому що вони мають малу сорбційну ємність і високу температуру регенерації.

У зв'язку з цим було поставлено завдання створення нового вискоємного адсорбенту, що має невисоку температуру регенерації. Було запропоновано використовувати як сорбуючу речовину солі лужних і лужноземельних металів з добавкою наповнювача для підвищення механічної міцності гранул адсорбенту. В результаті дослідження сорбційних властивостей різних солей було розроблено вискоєфективний сольовий сорбент, гранули якого мають жорсткий пористий каркас із інертного матеріалу з впровадженими в пори каркасу частинками солі. Поряд з підвищенням міцності гранул, це дозволило добитися значного збільшення сорбційної ємності адсорбенту, тому що завдяки пористому каркасу сіль утримується в гранулі навіть після її розчинення, забезпечуючи працездатність адсорбенту як в області твердої, так і рідкої фази сольового розчину [12].

На підставі лабораторних досліджень нового адсорбенту та моделювання адсорбційного холодильного циклу отримано базові величини, необхідні для проектування агрегату – ізостери адсорбції, теплоти адсорбції, коефіцієнти тепломасоперенесення в апаратах та розроблена методика оптимізації параметрів адсорбційного шару з урахуванням кліматичних умов району експлуатації геліоадсорбційного холодильника [13].

Натурні випробування експериментальних зразків сонячних холодильників (рисунок 4), проведені за кліматичних умов України, Узбекистану, Болгарії, підтвердили високу ефективність запропонованого адсорбенту. Велика вологоємність адсорбенту дозволила значно зменшити матеріаломісткість (теплову інерційність) сонячного генератора-адсорбера та підвищити холодопродуктивність адсорбційного агрегату [14].

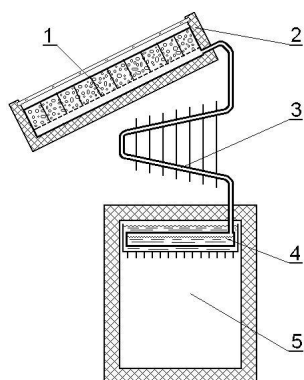


Рисунок 4 – Принципова схема і загальний вигляд сонячного адсорбційного холодильника: *1 – генератор-адсорбер; 2 – сонячний колектор; 3 – повітряний конденсатор; 4 – випарник; 5 – холодильна камера.*

Висновки

З результатів дослідження сольових адсорбентів можна зробити висновок, що адсорбенти запропонованого типу мають великі перспективи для застосування в процесах трансформації теплової енергії, оскільки, варіюючи склад та концентрацію активного компонента, можна цілеспрямовано синтезувати сорбційні матеріали з властивостями, що відповідають вимогам конкретного практичного застосування.