

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Автоматизації виробничих процесів»

«Допущено до захисту»

Зав. кафедри АВП

к.т.н., доцент

_____ Олександр Дідик

« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему

**«Автоматизована система технологічного кондиціонування повітря
на основі нетрадиційних джерел енергії»**

**«Automated air conditioning system based on non-conventional energy
sources»**

Виконав здобувач вищої освіти II курсу групи
АК-23 М-1

174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»

_____ Ілля Горелік

« ____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи

к.т.н, доцент

_____ Марія Мірошніченко

« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент

_____ 2024 р.

м. Кропивницький 2024

Анотація

В магістерській роботі розроблена автоматизована система технологічного кондиціонування повітря на основі нетрадиційних джерел енергії.

У першому розділі наведена загальна характеристика енергозберігаючих технологій.

У другому розділі проаналізовані пряме та непряме випарне охолодження, інтеграція методів випарного охолодження у системах АСКВ і АХС, системи з прямою та непрямою сонячною регенерацією абсорбенту.

У третьому розділі проведений аналіз альтернативних систем охолодження та кондиціонування повітря. Також наведений порівняльний аналіз сонячних систем теплопостачання та холодопостачання.

Розроблені також заходи з охорони праці та техніки безпеки.

Annotation

In the master's work, an automated technological air conditioning system based on non-traditional energy sources was developed.

The first section provides a general characteristic of energy-saving technologies.

The second section analyzes direct and indirect evaporative cooling, integration of evaporative cooling methods in ASKV and AHS systems, systems with direct and indirect solar regeneration of the absorbent.

The third section analyzes alternative cooling and air conditioning systems. A comparative analysis of solar heating and cooling systems is also provided.

Occupational health and safety measures are also developed.

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Загальна характеристика енергозберігаючих технологій	5
1.1 Зміна клімату Землі та проблема глобального потепління	5
1.2 Роль альтернативної енергетики у питаннях енергозабезпечення й екологічної безпеки	8
1.3 Вимоги до нового покоління холодильних та кондиціонуючих систем	10
1.4. Сонячні холодильні системи та системи кондиціонування повітря	11
2 Холодильні системи з використанням випарного охолодження	11
2.1 Випарні охолоджувачі	13
2.1.1 Сучасні вимоги до параметрів комфортного повітря у АСКВ	18
2.1.2 Пряме випарне охолодження	21
2.1.3 Непряме випарне охолодження	23
2.2 Випарювально-парокомпресійні охолоджувачі	25
2.2.1 Інтеграція методів випарного охолодження у системах АСКВ і АХС	27
2.2.2. Парокомпресійні випарювальні охолоджувачі	34
2.3 Осушно-випарні охолоджувачі	37
2.3.1 Сонячні холодильні системи	39
2.3.2 Системи з прямою сонячною регенерацією абсорбенту	41
2.3.3 Системи з непрямою сонячною регенерацією абсорбенту	46
2.4 Проблематика розвитку сонячних холодильних та кондиціонуючих систем	49
3. Аналіз альтернативних систем охолодження та кондиціонування повітря	54
3.1. Аналіз охолоджувачів традиційного типу та випарювально-парокомпресійоних охолоджувачів	54
3.2. Порівняльний аналіз сонячних систем тепло- та холодопостачання	63
Висновки	70
Література	71
Додатки	73

ВСТУП

Актуальність теми. Взаємопов'язані проблеми енергетики та екології, що підсилюються за останній час, висувають більші вимоги до холодильних систем й систем комфортного та технологічного кондиціонування повітря, у першу чергу, до зниження енерговитрат та антропогенної дії. До найбільш перспективного рішення у цьому напрямку відносять створення альтернативних систем на базі нетрадиційних джерел енергії та випарних методів охолодження середовищ. Достатньо широке практичне використання випарних методів у холодильній техніці та системах кондиціонування повітря (СКП) вимагає розв'язання принципових питань, а саме: значне розширення кліматичної області використання методів, підвищення компактності та зниження енергоспоживання тепломасообмінних апаратів (ТМА), які входять до таких систем. Найбільш перспективним вважається включення випарних охолоджувачів у склад випарувально-парокомпресійних систем (двоступінчаті охолоджувачі з використанням випарного охолоджувача в першому ступені та парокомпресійного у другому) й сонячних холодильних систем (осушно-випарних, що засновані на відкритому циклі абсорбції та сонячній регенерації абсорбентів).

Метою магістерської роботи є підвищення точності результатів, скорочення термінів виготовлення кондиціонуючих та охолоджувальних систем шляхом автоматизації технологічних процесів на основі вдосконалених методів та алгоритмів.

Об'єктом дослідження є автоматизовані технологічні системи кондиціонування та охолодження повітря.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ

1.1. Зміна клімату землі та проблема глобального потепління

Існуюча на сьогодні тенденція до виснаження паливно-енергетичних ресурсів, подальше зростання цін на виробництво енергії та глобальні екологічні проблеми посилюють необхідність упровадження енергозберігаючих технологій на базі поновлюваних та екологічно чистих джерел енергії. На це зорієнтовані різноманітні міжнародні програми, зокрема INTAS і TESIS, однак частка нетрадиційних видів енергії у них, що використовується для енергозберігаючих технологій, залишається незначною.

Досить багато деталей зміни клімату досі залишаються нез'ясованими. Однак більшість учених при цьому схильні до висновку, що парниковий ефект є визначальним чинником глобального потеплення, одночасно збільшення впливу якого пов'язане зі зростаючою концентрацією у атмосфері парникових газів. Концентрація CO₂ в атмосфері у даний час приблизно на 30% вище у порівнянні з доіндустріальним періодом розвитку цивілізації. Одночасно збільшилася концентрація у атмосфері і інших парникових газів: метану (близько 150%), аерозолей, окису азоту, хлорфторвуглеводородів, які утворюються за спалювання палива, яке містить сірку. Природа зараз не в змозі впоратися з антропогенним впливом викидів парникових газів, так як їх кількість набагато вища за її адаптаційні можливості та значно перевищує можливу розімкненість біотичного круговороту діоксиду вуглецю й інших парникових газів.

Прогноз IPCC (Міжурядовий комітет зі зміни клімату) на найближче майбутнє виглядає досить песимістично: очікуємо збільшення середньої глобальної температури повітря на поверхні Землі до 2100 г на 1–3.5 °C у порівнянні з 1990р. та підвищення рівня Світового океану приблизно на 15–95

дм. від сьогоденного рівня (за різними оцінками середня глобальна температура за період з 1990 по 2100 роки може збільшитися на 1.4–5.8 °C; за період 2000 – 2100 роки – на 2.5–4.7 °C). Слід відзначити, що коливання середньоглобальної температури останні 300 тис. років не перевищували 7 °C, а перехід від останнього льодовикового періоду, максимум якого спостерігався 20 тисяч років назад, супроводжувався підвищенням середньоглобальної температури всього на 5 °C [1].

На конференції ООН про навколишнє середовище у 1992 році у Ріо-де-Жанейро задекларував принцип екостійкого розвитку (Sustainable development), або така концепція розвитку, яка «самовідновлюється» або «стійка». У межах такого принципу, контроль за викидом парникових газів (й перш за все CO₂) являється пріоритетним напрямком. Задля скорочення викидів парникових газів на третій сесії конференції UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change – об'єднаній національній конвенції по зміні клімату) у грудні 1997 року у Кіото (Японія) прийнятий Кіотський протокол [2]. У ньому сформульована стратегія для різних країн по обмеженню антропогенних викидів основних парникових газів: CO₂ – вуглекислий газ, N₂O – закис азоту, CH₄ – метан, SF₆ – гексафторид сірки. Виконання положень Кіотського протоколу має призвести до стабілізації концентрації парникових газів у атмосфері на безпечному для клімату Землі рівні. Він з одного боку має бути достатнім задля забезпечення природної адаптації екосистеми до кліматичних змін, а з іншої - має гарантувати, що за його досягнення не буде загрози виробництву продуктів харчування. Одночасно має зберігатися можливість продовження економічного розвитку екостійким чином.

По оцінкам кліматологів [4], критична швидкість зміни середньоглобальної температури не може перевищувати 0.1 °C у десятиліття, середньоглобальна температура не може бути більш ніж на 1 °C вища за температуру у доіндустріальний період розвитку цивілізації. Рівень Світового океану має бути не більшим ніж на 20 см у порівнянні з рівнем у той же період.

У 1995 році об'єм емісії діоксиду вуглецю у нашій країні оцінювався приблизно 658 млн. тонн [1]. Така кількість відповідає 13 тоннам на одну людину, а це майже у два рази перевищує середні показники для країн Європейської співдружності (7.3 тонни на одну людину) та майже у 11.7 разів вища за норму, підтримка якої має бути задля екологічно стійкого розвитку енергетики (1.1 тонни на одну людину у рік) [2]). Така норма, яку слід досягти до 2050 року, називається екологічним простором для CO₂. Вона визначається швидкістю, за якої атмосфера може сприймати CO₂ без істотного збільшення парникового ефекту навіть у далекому майбутньому.

Й тому державам-членам Європейської співдружності постійно слід вводити нові законодавчі акти у області екології, наприклад: CO₂/енергетичний податок (вуглецевий податок), підсилювати норми допустимої емісії галоїдопохідних холодоагентів й оподаткування на випуск устаткування за низького класу енергетичної ефективності [2]. Вочевидь, прийнята на конвенції у Кіото програма обмеження викидів парникових газів повинна сприяти появі законодавчих актів, які направлені на розробку ефективних технологій, заощадження енергетичних ресурсів, вдосконалення нормативної бази енергоспоживання.

Слід підкреслити, що Кіотській протокол вступив у силу, тільки після його ратифікації у 55 країнах, які проводили у 1990 році 55% усіх викидів парникових газів. Саме тому загальних планів контролю викидів парникових газів поки немає. Однак очікуємо, що розвинені країни найближчим часом здійснюватимуть перші спроби по зниженню викидів парникових газів (на 5% від рівня емісії у 1990 році). Слід відзначити, що значна частина основного парникового газу (CO₂), й так само велика кількість SO₂, NOX та інших шкідливих речовин потрапляє у атмосферу за виробництва електричної енергії на теплових станціях. До атмосфери Землі щорічно потрапляє близько 50 т діоксиду вуглецю, 0,15 т двоокису сірки, 500 т оксидів азоту, 200 т твердих часток [2].

Зважаючи на все вищенаведене, вочевидь, питання енергозбереження й екології на сьогодні досить актуальні. Задля підтримки необхідного рівня енергоспоживання та створення екологічно стійкої енергетики у нашій державі слід вирішити декілька наступних взаємопов'язаних задач: 1) зменшити енергоспоживання країни на 20% (у порівнянні з рівнем 1990 року), до середини 21-го сторіччя – на 50%; 2) знизити емісію діоксиду вуглецю на душу населення на 30 – 40% (у порівнянні з рівнем 1990 року), а до 2060 року – на 90%; 3) значно зменшити енергоспоживання країни на грошову одиницю валового національного продукту.

Необхідно підкреслити, що ресурсо- та енергозбереження виступають двома сторонами одного процесу: тобто з одного боку ведуть до зниження викидів парникових газів та оздоровлення навколишнього середовища, а з іншого боку – досягнення екологічної збалансованості функціонування національної економіки. Радикальний механізм економічного впливу на реалізацію політики охорони навколишнього середовища - це жорстка еколого-енергетична експертиза виробництв та розробка механізму економічних санкцій у випадку перевищення квот на викиди парникових газів. А тому задля комплексної оцінки впливу виробництва на навколишнє середовище слід розробити відповідне нормативно-методичне забезпечення.

Реалізація такої програми визначення квот на викиди парникових газів для кожного виробництва більшою мірою сприяла б виконанню підписаних нашою державою міжнародних зобов'язань з довкілля охорони: «Конвенції про транскордонне забруднення повітря на великі відстані» (1980 р.); Протоколу про скорочення викидів сірки (1994 р., Осло); “Протоколу про скорочення викидів оксидів азоту або їх транскордонних потоків” (1988 р., Софія) тощон.

1.2. Роль альтернативної енергетики у питаннях енергозабезпечення й екологічної безпеки

Основні положення Кіотського протоколу [2] та сформульовані для Європейського союзу рекомендації за розвиток екологічно стійкої енергетики змушують по-новому поглянути на світовий досвід використання поновлюваних джерел енергії.

До поновлюваних джерел енергії (ПДЕ) входять вітрова енергетика, біоенергетика (енергія, яку отримують з відходів тваринництва та рослинництва, й також енергія з органічних відходів життєдіяльності людей), енергія Світового океану, гідроенергетика, енергія гарячих підземних вод, також сонячна енергетика.

Основу енергетики нашої країни складають атомні електростанції, гідроелектростанції та енергетика на основі викопних видів палив. Однак зростання промислового виробництва, яке спостерігається останнім часом, неминуче спричинить збільшення споживання енергоресурсів. З метою успішного вирішення задач енергопостачання у країні, разом з нетрадиційними джерелами, необхідно вивчити також можливості застосування сонячної енергії.

Увага до нетрадиційних поновлюваних джерел енергії (НПДЕ) викликана негативними тенденціями розвитку традиційної енергетики, яка обумовлена здебільшого двома чинниками – швидким виснаженням природних ресурсів та забрудненням навколишнього середовища. За даними ООН [1], вже у 2083 – 2500 роках передбачене виснаження основного виду викопного палива – покладів вугілля, а до середини 21 сторіччя й урану.

У найближчому майбутньому перевага при виробництві електроенергії буде віддана вітроенергетиці ВЕУ, а частка її виробництва зросте у енергобалансі до 50% в 2040 році і до 65% до 2050 року. Європейський сценарій виробництва електроенергії на базі парогазових електростанцій та теплоелектростанцій з використанням природного газу, біомаси та вугілля, й також установок на НПДЕ призведе до зниження викидів CO₂ до 276 млн. т/рік до 2030 р. Подальше зниження викидів CO₂ буде більш істотним і має складати у 2050 році більше 70 млн. т/рік, тобто близько 25%. Інтенсивність викидів CO₂ при

цьому має бути рівною 0.125 кг/(кВт ч). У галузі теплопостачання зараз 88% тепло проводиться з використанням газу, мазуту, біомаси та електроенергії, а 12% за рахунок теплоелектростанцій. До 2050 року споживання газу, мазуту та біомаси повинне скоротитися на 32%, а місцеве виробництво тепла за рахунок сонячних установок збільшитися на 23%.

1.3. Вимоги до нового покоління холодильних та кондиціонуючих систем

У європейських країнах на холодильну техніку та системи кондиціонування повітря у середньому припадає частка до 25-30% всього енергоспоживання, а це визначає сумарний внесок холодильної галузі до проблеми глобального потепління. Для нашої держави з урахуванням сонячного потенціалу, тобто рівня сонячної радіації та кількості сонячних днів протягом року, одним з пріоритетних напрямків розвитку альтернативної енергетики виступає сонячна енергетика. Розвиток сонячної енергетики на сьогодні відбувається за напрямками:

- перетворення сонячної енергії у теплову енергію у системах гарячого водопостачання та опалювання;
- перетворення сонячної енергії у електричну;
- створення на базі сонячної енергії комбінованих систем тепло-, холодо- та енергозабезпечення, раціонально використовуючих можливості традиційної й альтернативної енергетики;
- створення на базі сонячної енергії систем охолодження та кондиціонування повітря.

Взаємопов'язані проблеми енергетики й екології, які підсилюються останнім часом, висувають більші вимоги до апаратури холодильних систем та систем комфортного й технологічного кондиціонування повітря (СКП), у першу чергу - зниження енерговитрат та антропогенної дії. До найбільш перспективного та

довгострокового рішення у цьому напрямі слід віднести створення альтернативних систем на базі нетрадиційних джерел енергії, у першу чергу сонячної енергії та випарних методів охолодження середовищ.

Випарне охолодження ефективне в умовах сухого та жаркого клімату (за вологовмісту зовнішнього повітря $x_r < 12\text{--}14\text{г/кг}$). Особливий інтерес являє розробка випарних охолоджувачів непрямого типу НВО, у яких охолодження повітряного потоку відбувається без прямого контакту з водою; також перспективним є створення багатоступінчастих й комбінованих випарних охолоджувачів, вони дозволять істотно знизити рівень охолодження, який має бути досягнутий.

Практичне використання випарних методів у холодильній техніці та СКП, яке є інтеграцією методів природного та штучного охолодження середовищ, вимагає при цьому вирішення декількох принципових питань: розширення області використання методів випарного охолодження середовищ; підвищення компактності та зниження енергоспоживання тепломасообмінних апаратів, які входять до таких альтернативних систем.

Створення випарювально-компресійних систем на базі випарного охолоджувача непрямого типу НВО (перший ступінь) та ХМ (другий ступінь), дозволить «включити» випарний охолоджувач до холодильної системи на найвищому температурному рівні, де він досить ефективний, та використовувати холодний і зволожений допоміжні повітряні потоки для обдуву конденсатора ХМ, а повернення конденсату з випарника ХМ до контуру випарного охолодження НВО, забезпечує повністю замкнутий цикл за споживаною охолоджувачем водою. До головних проблем розвитку випарювально-парокомпресійних систем, які вимагають першочергового вирішення задля перспективного виходу на комерційний ринок, відносять - розробку нових схемних рішень, які забезпечують раціональне поєднання природних та штучних методів охолодження та зниження витрати води, що підживлює випарний контур НВО, шляхом повернення води, яка сконденсувалася на поверхні випарника ХМ.

1.4. Сонячні холодильні системи та системи кондиціонування повітря

З метою створення сонячних холодильних та кондиціонуючих систем перспективне використання циклу абсорбції, який полягає у попередньому осушенні повітря та подальшому його використанні задля випарного охолодження середовищ (осушно-випарний охолоджувач). Відкритий цикл абсорбції вважають найбільш перспективним, він використовує рідкі та тверді сорбенти та можливості використання сонячної енергії (або повністю, або як часткове теплове джерело) задля забезпечення регенерації сорбенту; переважною галуззю практичного використання подібних альтернативних систем, являє сонячне кондиціонування повітря, це обумовлено відомою кореляцією між інсоляцією та необхідним рівнем охолодження (комплексом термовологісних параметрів повітря для АСКВ) та відносно невисокими температурами регенерації абсорбенту. До головних проблем розвитку осушно-випарних систем, які вимагають вирішення задля перспективного виходу на комерційний ринок, відносять: підбір робочих тіл (композитів), які забезпечують досить високу поглинальну здатність за несприятливих діях на конструктивні матеріали; створення достатньо ефективного нагрівального контуру задля регенерації абсорбенту, а це пов'язане, у першу чергу, з розробкою ефективних сонячних колекторів, які здатні забезпечити потрібний температурний рівень регенерації абсорбенту; зменшення енерговитрат на транспорт теплоносіїв, цього можна досягти зменшенням загальної кількості тепломасообмінних апаратів у схемі шляхом поєднання у кожному з них декількох процесів. Також можливе створення автономних систем сонячного життєзабезпечення (тепло- та холодозабезпечення, кондиціонування повітря), які частково або повністю засновані на використанні сонячної енергії.

Розвиток випарювально-парокомпресійних та осушно-випарних систем дозволить зняти кліматичні обмеження відносно випарних методів

охолодження та істотно поліпшити енергетичні й екологічні показники альтернативних систем АСКВ та АХС у цілому.

2. ХОЛОДИЛЬНІ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВИПАРНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ

2.1. Випарні охолоджувачі

Апарати випарного охолодження базуються на прямому контакті повітряного та водяного потоків (ПВО) або на непрямому випарному охолодженні потоку повітря (НВО). Вони, як правило, використовуються в СКП задля термовологої обробки повітря.

2.1.1. Сучасні вимоги до параметрів комфортного повітря у АСКВ

Найголовнішим для систем кондиціонування повітря СКП виступає створення мікроклімату в приміщеннях, у якому знаходяться люди та працює виробниче устаткування. Основне джерело вологості у будівлях - це присутність людей. Вологість виступає слідством передачі тепла між людиною та повітрям приміщення та активно впливає на загальний мікроклімат у приміщенні. Перенесення тепла від людського тіла відбувається шляхом конвекції, радіації та випаровування вологи у навколишнє середовище. Різні

види теплообміну приймають різну участь у загальному тепловому навантаженні. При цьому рівень їхнього впливу залежить від безлічі параметрів: рівня активності людей, які знаходяться у приміщенні, кількості одягу на кожному з них, температури повітря та стін будівлі, відносної вологості та швидкості повітря всередині приміщення, тощо. При підвищенні температури повітря у приміщенні конвекція зменшується, у той же час приховане тепло випаровування більшає, а передача тепла радіацією при цьому змінюється незначно. Якщо розглянути втрати тепла за різними рівнями активності людини (120, 250, 350 W), то стає очевидною наступна основна тенденція: загальні втрати тепла у деякій мірі постійні у широкому діапазоні температур, але співвідношення між прихованим теплом й фізичним теплом вельми за різних температур повітря у приміщенні.

Унаслідок достатньо стабільних параметрів теплової конвекції та постійної температури тіла й незмінної кількості одягу, механізм контролю температури тіла шляхом зміни втрат тепла досягається шляхом зміни кількості прихованого тепла. При цьому підвищення температури поверхні тіла може бути лише трохи змінена, а температура та швидкість повітря не корегується індивідуально. Зміна радіації також неможлива за фіксованої температури стін та даній температурі приміщення. Задля досягнення теплового балансу людське тіло випаровує воду, забезпечуючи при цьому випарне охолодження. Співвіднесена кількість води при цьому може бути за 20°C між 45 г/година і 220 г/година, а за 26°C між 90 г/година і 300 г/година в залежності від активності людини. Ця кількість води має бути перенесена у повітря. Цього можливо досягти за великого коефіцієнту перенесення маси або за великої різниці між абсолютною вологістю на рівні температури шкіри та на рівні температури у приміщенні. Збільшення коефіцієнту перенесення маси також збільшує коефіцієнт перенесення тепла. Такий кореляційний зв'язок наведений у відомому емпіричному співвідношенні Л'юїса. З метою створення комфортних умов для всіх груп людей з різною активністю, які знаходяться у приміщенні, слід дотримуватися певної температури (для прикладу, 20°C) та низької абсолютної

вологості повітря усередині приміщення. Невелика температурна різниця та коефіцієнт перенесення тепла не призведуть до протягу людей з низькою активністю та забезпечать достатній потенціал випаровування людям за високої активності. Однак при цьому відносна вологість не може бути меншою 30 %, адже нижче цього рівня може пересихати ніс та горло. При цьому варто відзначити, що у багатьох матеріалах, що використовуються у будівництві, низька вологість призводить до високого електростатичного навантаження, а це також викликає дискомфорт.

Внаслідок всього вищенаведеного доречно говорити про комфортну зону у діапазоні меж якої людина відчувала б себе комфортно та безпечно. Комфортна зона визначена на основі тестування певної групи людей у кондиціонуючих тестованих приміщеннях. Для прикладу, всі члени групи встановили, що у кімнаті за температури 26°C та 30% вологістю безумовно холодніше, ніж у кімнаті за температури 24°C та вологістю 60%.

2.1.2. Пряме випарне охолодження

Найбільше розповсюдження у холодильній техніці та СКП знайшли методи прямого випарного охолодження. Такі процеси реалізуються у випарних охолоджувачах різного типу: вентиляторів градирень, випарних охолоджувачах й конденсаторах. У них повітря безпосередньо контактує з водою у апаратах плівкового, краплинно-плівкового та бризкаючого типів. Іноді використовують також барботажні апарати [3], та апарати з псевдозрідженим шаром насадки [4]. Для апаратів ПВО найбільш перспективним виявляється використання плівкового типу контакту між водою та повітрям [3]. У цьому випадку насадки ТМА є еквідистантно розташовані: листи плівконосія створюють систему роздільних вертикальних каналів, по їх стінках стікає рідинна плівка, у середині протито- або поперечноточно їй рухається повітряний потік. Роздільний перебіг таких потоків забезпечує мінімізацію енерговитрат на прокачування теплоносіїв та високу компактність ТМА. Задля підвищення компактності та забезпечення розвиненої поверхні масопереносу у плівкових

ТМА використовують як плоскі листи, так й різним чином профільовані листи. Задля зростання інтенсивності перенесення використовують регулярну шорсткість (РШ) поверхні насадочних листів. Це [3] дозволяє створити оптимальний режим хвилеутворення на поверхні стікаючої водяної плівки, при цьому сама хвилеподібна поверхня стікаючої плівки виступає своєрідною регулярною шорсткістю (РШ) задля повітряного потоку.

Процес прямого випарного охолодження відбувається при рециркулюванні крізь насадку апарату ПВО води, температура якої стає рівною температурі мокрого термометра вхідного у ПВО повітря (зовнішнього), а зміна стану повітряного потоку відбувається за ізоентальпійною лінією. Прямі випарні охолоджувачі тільки обмежено використовуються у СКП. Це пов'язано з тим, що у процесі адіабатичного охолодження повітряного потоку у ПВО повітря не тільки охолоджується, але й сильно зволожується, це у деяких випадках не дозволяє включати ПВО до складу СКП.

2.1.3. Непряме випарне охолодження

Явище непрямого випарного охолодження полягає у наступному: частина повітряного потоку (допоміжний) використовується для бесконтактного охолодження основного повітряного потоку. Повний повітряний потік (рис. 2.2) поділяється на вході до НВО на два потоки – основний та допоміжний. Сенса НВО саме у бесконтактному випарному охолодженні, за якого вологовміст основного повітряного потоку залишається незмінним. Галузь застосування НВО повітря та рідини безперервно розширюється: повітроохолоджувачі у комфортному та технологічному кондиціонуванні, зрошувальні теплообмінники, двоконтурні градирні, випарні конденсатори. Це пояснюється їх високими економічними показниками та екологічною чистотою. Випарні охолоджувачі здатні забезпечувати двократне зниження енерговитрат, у порівнянні з традиційними методами обробки середовищ у СКП (парокомпресійні охолоджувачі) та істотно поліпшувати екологічні показники.

З метою комфортного кондиціонування повітря використовують НВО одно- й багатоступінчатого типів, часто за додаткових ступенів випарного охолодження. Застосування НВО доцільно для лікарень, приміщень зі шкідливими виділеннями. НВО при цьому здатний забезпечувати комфортні параметри, які знижують небезпеку простудних захворювань за короткочасного перебування у приміщеннях. У технологічному кондиціонуванні, за урахування високих температур, запиленості та загазованості повітря, вібрацій, необхідністю інтенсивного повітрообміну НВО є також перспективним. У таких умовах НВО перевершує традиційні способи за рядом параметрів. За їх допомоги здійснюється термовологісна обробка повітря та знижується інтенсивність випромінювання, що проникає до приміщення, кабіну і т.д. Кондиціонери на базі НВО чутливі до вібрацій, прості у обслуговуванні, можуть використовуватися на транспортних об'єктах (наприклад, у кабінах мостових кранів), у різних галузях промисловості, які характеризуються високими тепловиділеннями за низької відносної вологості (скляна, металургійна та інші галузі промисловості) – задля створення зон відпочинку з необхідним мікрокліматом.

Широкий діапазон застосування НВО розкривається у вирішенні різноманітних задач технологічного кондиціонування повітря, для прикладу, при обслуговуванні радіоелектронної апаратури (РЕА), яка розташована у герметичних шафах.

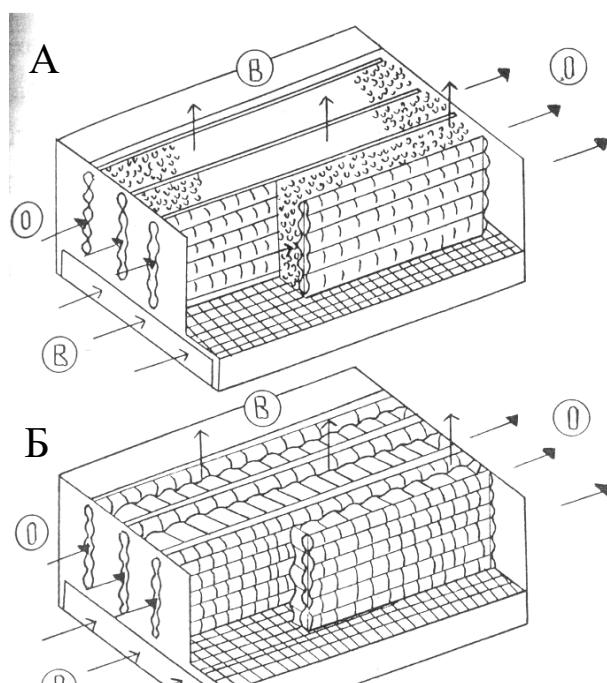


Рис. 2.1. Принципові схеми НВО . Позначення: О, В – основний та допоміжний повітряні потоки, відповідно

А. НВО в галетно-сорбентному варіанті

Б. НВО в галетно-пластинчатому варіанті с поперечним точним рухом основного і допоміжного повітряних потоків (протиток по допоміжному потоку і воді)

В. НВО галетно-пластинчатого типу з прямоточним рухом основного і

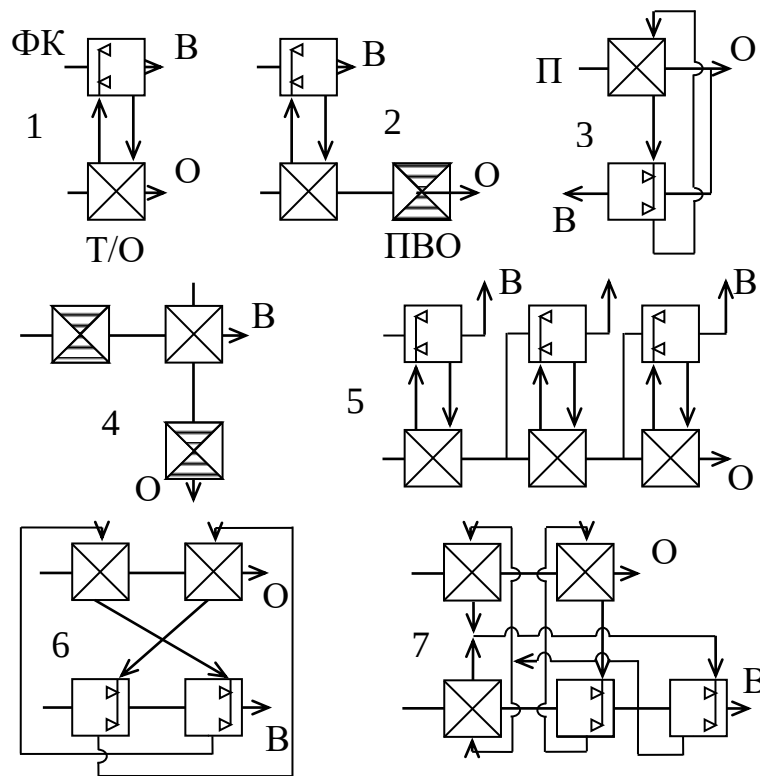


Рисунок 2.2 а. Непрямі випарювальні охолоджувачі НВО роздільного типу. Позначення: 1 – 4 одноступінчаті НВО; 5 – 7 багаступінчаті НВО; 3, 6 и 7 – регенеративні охолоджувачі; П, О, В – повний, основний та допоміжний повітряні потоки, відповідно; ФК – форсуночна камера; Т/О – теплообмінник; ПВО – випарювальний охолоджувач прямого типу.

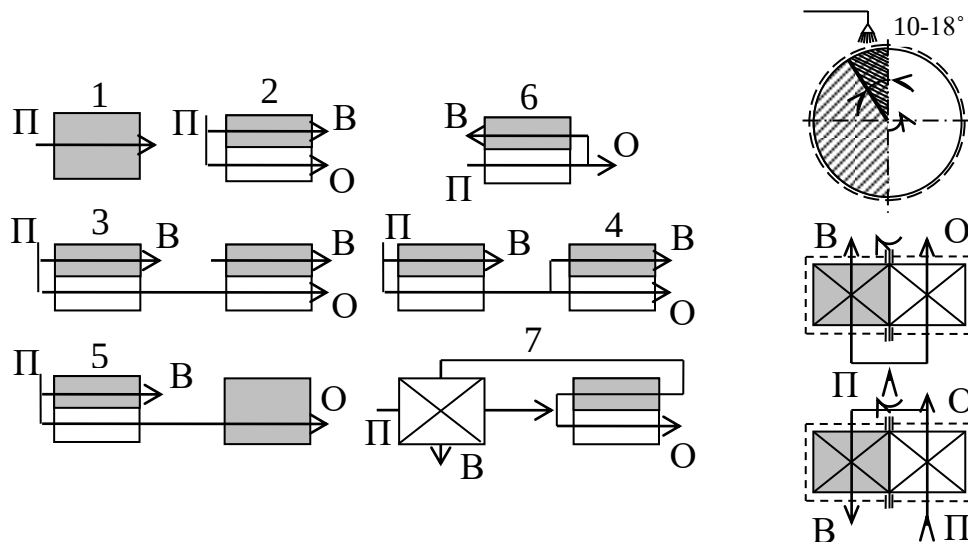


Рисунок 2.2 б. Непрямі випарювальні охолоджувачі НВО сумісного типу. Позначення: 1 – пряме випарювальне охолодження; 2 – одноступінчаті НВО; 6 регенеративна схема; 3-5, 7 – двоступінчаті НВО; 8 – НВО з насадкою обертового типу

Висока затребуваність НВО у агропромисловому комплексі обумовлена доцільністю використання НВО за термовологісної обробці повітря, яке поступає до теплиці. Принцип НВО реалізується за створення двоконтурних градиєнтів та випарних конденсаторів водоохолоджуючих машин для агропромислового комплексу [3]. У таких тепломасообмінних апаратах, не дивлячись на відмінність вирішуваних завдань, використовують загальний принцип відведення тепла та схожі конструктивні рішення, це дозволяє розглядати їх з єдиних позицій у теоретичних та інженерних відносинах.

Принципові схеми НВО поділяють на роздільні та суміщені. Роздільні НВО наведені на рис. 2.2 а. При цьому схема НВО складається з двох окремих апаратів, випарного охолоджувача та теплообмінника. Роздільні НВО зазвичай більш габаритні та мають більшу вагу. Вони найчастіше використовуються за великих продуктивностях СКП (понад 5000–10000). Вода охолоджується зазвичай у камерах форсунок; теплообмінники, як правило, трубчасті, обрешечені; при цьому використовують багатоступінчасте оформлення охолоджувачів.

Суміщені схеми НВО наведені на рис. 2.2 б. Подібні охолоджувачі виконуються у вигляді єдиного апарату, його робоча частина при цьому розділена на «сухі» та «мокрі» канали. У останніх відбувається випарний процес взаємодії води та допоміжного повітряного потоку. Охолодження основного потоку відбувається крізь розділову стінку між «мокрими» та «сухими» каналами. При цьому не вимагається додаткових трубопроводів задля перекачування води між апаратами; рішення компактне, менш матеріало- та енергоємне. Внаслідок конструктивного ускладнення, та виникаючих труднощів у розділенні трьох потоків, за суміщеною схемою зазвичай оформляється НВО продуктивністю за потоком (до 5000 м³/ч).

Знизити межу охолодження дозволяє багатоступінчаста схема (рис. 2.2 а, позиції 5-7; 2.2 б, позиції 3-4). При цьому теоретичною межею охолодження виступає температура крапки роси атмосферного повітря. Спільно з НВО додатково також використовують зволожувальний ступінь ППО, що

«включається» після НВО на головному повітряному потоці (рис. 2.2 б, позиція 5). За невисокої вологості потоку вона забезпечить зниження рівня охолодження та регулювання вологості основного потоку. До регенеративної схеми НВО/Р, входить НВО та додатковий теплообмінник (рис. 2.2Б, позиція 7), а це дозволить досягти температури точки роси у межах одноступінчастого апарату. Однак, це призводить до ускладнення конструкції та збільшує енерговитрати; для практичного наближення до температури точки роси необхідна значна теплообмінна поверхня. У випадку кінцевих поверхонь теплообміну досягти температури точки роси неможливо. Інтерес представляє рішення НВО за схемою рис. 2.2Б-8, де робота НВО будується на базі роторного насадочного апарату, який обертається, а частини його послідовно використовуються у якості «сухої» та «мокрої» областей НВО. Апарати, які обертаються, останнім часом знайшли широке застосування у різних АСКВ.

У суміщених НВО трубчасті конструкції не застосовуються, так як вони призводять до зростання маси та габаритів ТМА, мають також низьку пропускну спроможність. Останніми роками широко поширені також ТМА пластинчастого типу, за виглядом багатоканальних насадочних структур (питома поверхня насадки у одиниці її об'єму $a = 100\text{--}200 \text{ м}^2/\text{м}^3$). Використовують сталеві, алюмінієві, мідьпластові листи, вкриті шаром непроникної емалі, різні пластмаси. Вимоги, які висувають до розділяючої стінки – висока теплопровідність, механічна міцність за незначної товщини. Особливо важливі при цьому технологічність виготовлення елементів та забезпечення надійного розподілення потоків. Мідьпласт крихкий, нетехнологічний, допускає попадання вологи у «сухі» канали НВО, деформується за температур вище 45–50 С.

Досить широко використовують також профільовані листи з алюмінієвої фольги [3]. Для НВО дуже важлива організація процесу у «мокрих» каналах. При цьому застосовують капілярно-пористі матеріали (КПМ) за виглядом пористих заповнювачів чи гігроскопічних покриттів. Основний недолік КПМ – втрата капілярних властивостей внаслідок забруднень. Однак, використання

ефекту капілярного підйому води у ребристих листах мідьпласта за цієї причини розглядатися, як надійне рішення, не може. Хімічна промивка мідьпласта, окрім дорожнечі та складності в умовах багатоканального пакету, призводить до вимивання компонентів, які забезпечують зв'язок порошкоподібного наповнювача та руйнуванню матеріалу. Можливе також застосування гігроскопічних покриттів. Використовується при цьому плетений нейлон, який наклеюється на полівінілхлоридні пластини, це збільшує ефективність процесу на 10 %. Рекомендують використовувати також склоткань, яка наноситься на алюмінієву поверхню термічним способом; поліамідне полотно, бавовняну тканину. Слід врахувати зростання термічного опору теплопередаючої стінки. На гофрованих поверхнях алюмінієвої фольги пористі гігроскопічні покриття одержують обробкою водними розчинами металів або іншими, як правило, дорогими способами. Суміщені НВО забезпечують компактність рішень, високу інтенсивність охолодження та базуються на використанні багатоканальних структур регулярної насадки (РН) з застосуванням КПМ у вигляді покриттів листів з боку «мокрих» каналів. У якості методу інтенсифікації тепломасообміну можна застосувати регулярну шорсткість поверхні чи викривлення ліній струму (конфузорно-дифузорна система каналів).

На рис.2.1. наведені особливості процесів тепломасопереносу, також співвідношення поверхонь тепло- та масообміну на складнопрофільованих поверхнях, також питання постійності температури рециркулюючої рідини крізь насадку НВО, співвідношення повітряних потоків. У суміщених НВО використовують прямо- чи поперечноточну схему контакту повітряних потоків. Перша (рис. 2.1 в) виявляється зручною при установці одного вентилятора замість двох при протитечії; друга (рис.2.1 а,б) забезпечить раціональне використання теплообмінної поверхні. Зазвичай використовують складні або змішані схеми, які забезпечують компактність та зручність розводки потоків (рис.2.1 г). У «мокрих» каналах НВО схеми контактів допоміжного повітряного

потоків та рідини протито- чи поперечноточна та порівняно рідко прямоточна, у основному, в цілях зниження каплеутворення.

Розроблені також НВО галетно-сорбентного (рис. 2.1а) та галетно-пластинчастого типів. У якості основних теплообмінних елементів – «галет», використовували складнорифлені листи алюмінієвої фольги за регулярної шорсткості поверхні. У «мокрій» частині апарату використали гранульований сорбент – цеоліт, який заповнював весь межгалетний простір НВО. При цьому основний повітряний потік рухався у середині теплообмінних елементів, а допоміжний – у межгалетному просторі крізь шар гранульованого сорбенту. Все це дозволило експлуатувати апарат за періодичної подачі води: гранули сорбенту поглинали воду та забезпечили випарний процес у «мокрих» каналах протягом певного часу (до 1.5 годин, у залежності від режимних параметрів). Перевагами подібного рішення були: практична відсутність капле утворення та висока ефективність процесу випарного охолодження. Однак, досягти хорошого контакту між гранулами сорбенту та теплообмінними поверхнями не вдалося. Головний недолік подібного рішення – високий аеродинамічний опір руху повітряного потоку крізь «мокрі» канали апарату.

Охолоджувачі галетно-пластинчастого типів (рис.2.1, А, Б і В) базуються на використанні суміщеної схеми НВО з теплообмінними елементами у вигляді галет, які рівномірно розосереджені в об'ємах модуля, при цьому застосовувалися проставочні елементи між галетами (рис.2.1Б і Г), задля поліпшення розподілу допоміжного повітряного потоку чи гігроскопічних покриттів поверхні «мокрих» каналів ТМА.

Можливість застосування полімерних матеріалів у конструкції НВО з поперечноточною схемою руху основного (primary air) та допоміжного (secondary air) повітряних потоків, за протиточної схеми руху допоміжного потоку та води. При цьому основний термічний опір зосереджений у рідинній плівці (воно, при цьому, цілком зіставно з термічним опором розділяючої стінки між «сухими» та «мокрими» каналами НВО), використовується полімерна стінка.

Використали також й пористі керамічні структури (рис. 2.5) у якості основних елементів конструкції НВО. У якості допоміжного повітряного потоку використали повітря, яке покидає приміщення.

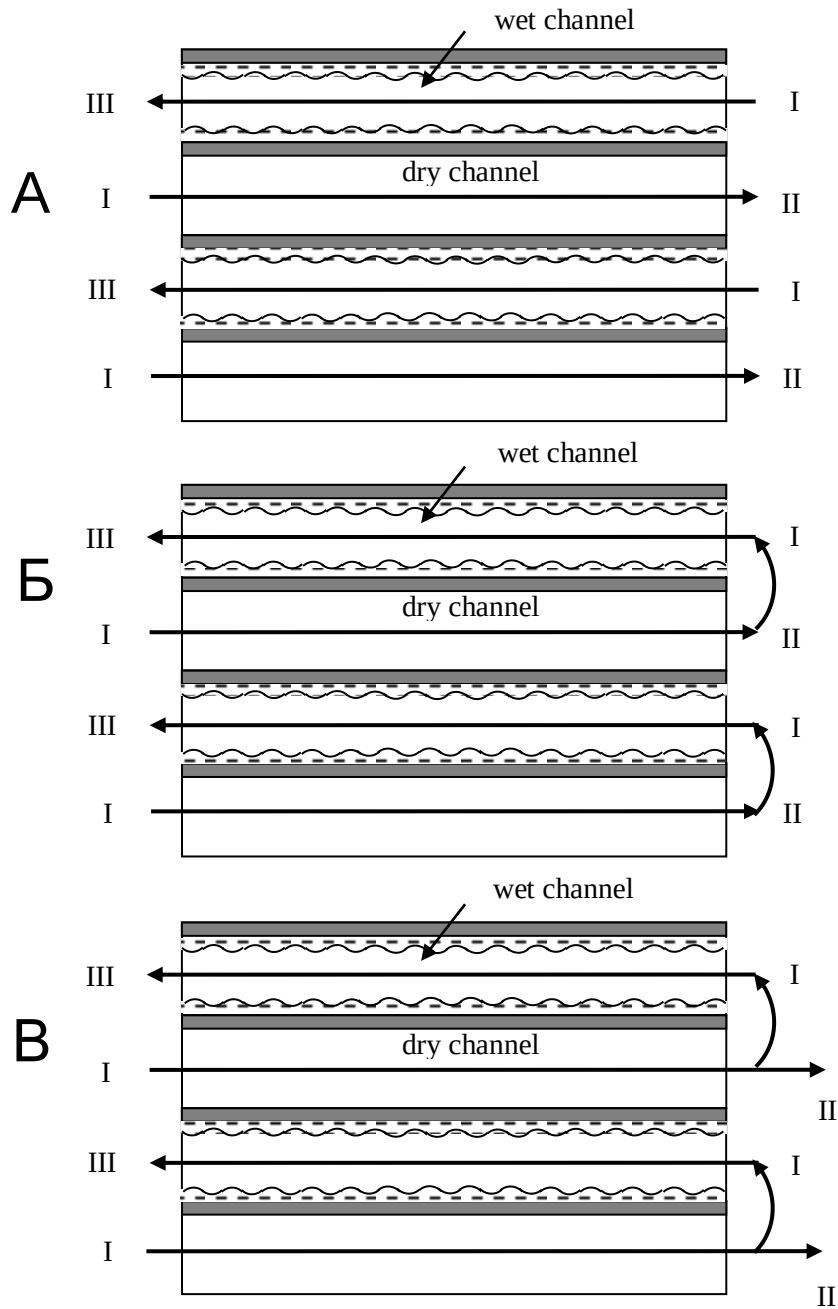


Рисунок 2.3. Принципова схема випарного охолоджувача непрямого типу НВО з протитечійним перебігом основного потоку по «сухим» каналах (dry channel) і допоміжного потоку по «мокрим» (wet channel). Показані варіанти НВО (А) і НВО з внутрішньої регенерацією (Б і В), остання схема дана з «продуктовим» потоком на виході з НВО

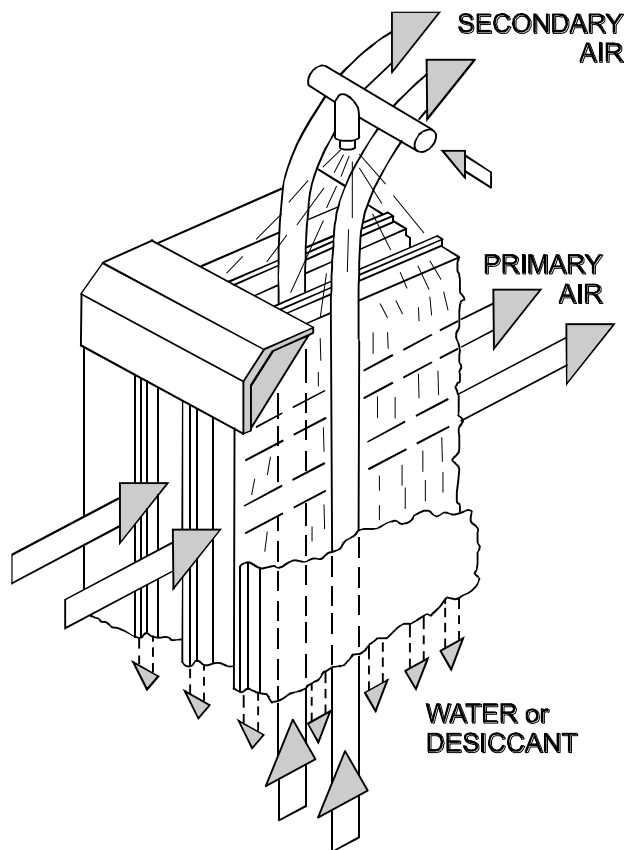


Рисунок 2.4. Приклад компоновки НВО на основі полімерних матеріалів з поперечною схемою руху основного (primary air) і допоміжного (secondary air) повітряних потоків, при протівооточній схемою руху допоміжного потоку і води. Це ж і принципово схема абсорбера: в НВО циркулює вода; в абсорбері АБР - розчин абсорбенту (desiccant).

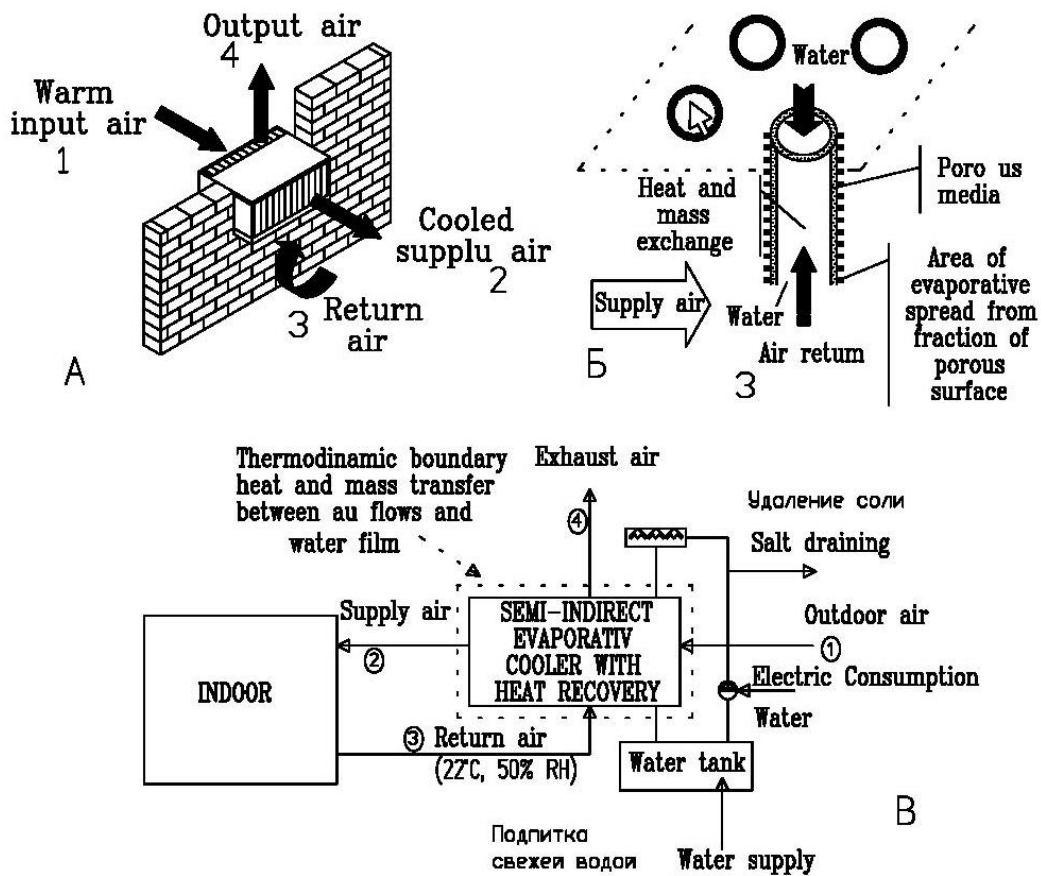


Рисунок. 2.5. Випарний охолоджувач непрямого типу з використанням в якості допоміжного потоку повітря, що залишає приміщення (А, В) і насадки з пучка керамічних труб з пористими стінками (Б).

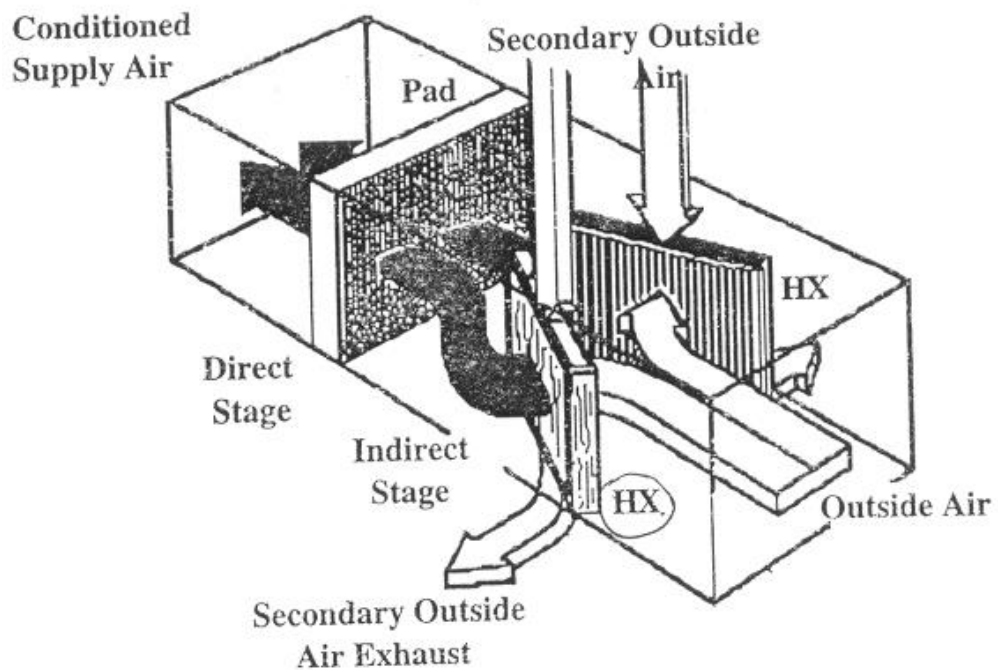


Рисунок 2.6. Приклад компоновки двоступеневого комбінованого охолоджувача КВО (НВО / ПВО) на основі НВО (indirect stage) і ПВО (direct stage) з поперечною схемою руху основного (outside air) і допоміжного (secondary outside air) повітряних потоків.

На базі подібного НВО створюється комфортний кондиціонер побутового призначення (А, В). Так як пористі структури схильні до забруднення, використовують системи промивки стінок та видалення солей.

Перспективними представляються комбіновані рішення для випарних охолоджувачів. На рис. 2.6 наведений приклад подібного рішення на базі НВО/ППО, тут прямий випарний охолоджувач є іншим, «доводочним» ступенем. Таке рішення відповідає схемі на рис. 2.2Б-5.

2.2. Випарювально-парокомпресійні охолоджувачі

2.2.1. Інтеграція методів випарного охолодження у системах АСКВ і АХС

Методи випарного охолодження достатньо ефективні та ресурсоенергоспоживаючі, проте мають серйозний недолік – кліматичні обмеження застосування, так як їх ефективність різко знижується за зростання вологовмісту зовнішнього повітря. Найбільш перспективною вважається інтеграція випарних методів охолодження й, у першу чергу НВО, у традиційних холодильних системах та СКП. Характерні приклади подібної інтеграції наведені на рис. 2.7Б і В:

На рис. 2.7Б наведений спосіб спільної роботи НВО (1) та холодильної машини ХМ (3), він полягає у тому, що зволожений допоміжний повітряний потік після НВО прямує до конденсатора ХМ (4), цим підвищує ефективність роботи ХМ та покращує характеристики систем машинного охолодження, за незначних витрат рідини на підживлення випарного контуру НВО;

На схемі рис. 2.7В використали попереднє осушення зовнішнього повітря у абсорбері-осушувачі (6), це знижує межі подальшого випарного охолодження у НВО та робить можливим створення АСКВ чи АХС на базі НВО.

Обидва рішення, випарювально-парокомпресійний та осушувально-випарний охолоджувачі, базуються на використанні НВО як основної ланки

системи. На рис. 2.6А наведена класифікаційна схема випарних охолоджувачів та можливостей їх використання в складі альтернативних систем.

2.2.2. Парокомпресійні випарювальні охолоджувачі

Використання випарного охолодження на верхньому температурному рівні вважають найперспективнішим та термодинамічно виправданим.

На рис. 2.8А наведена схема ПВО/ХМ. Тут ПВО використали задля попереднього охолодження повітря, яке поступає до конденсатора ХМ. Він виступає у якості автономного апарату з насадкою регулярної структури, він встановлюється перед ВК ХМ (4), він має місткість для води у нижній частині, водяний насос та розподільник рідини. За причини високої ефективності процесу прямого випарного охолодження, ширина листів (глибина апарату) не перевищувала 100-150 мм, а аеродинамічний опір знаходився на рівні 15–20 Па. Це дозволило використати штатний вентилятор, яким був укомплектований ВК. Ефективність ПВО при цьому складала $E_A = 0.75$, це забезпечило значне зниження температури повітря перед ВК. Таке рішення використовується при створенні водоохолоджуючих машин для районів Середньої Азії.

На рис. 2.8Б наведена схема НВО/ХМ. Він являє собою двоступінчатий охолоджувач, першим ступенем якого виступає «суха» частина НВО, а другий - випарник ХМ. Так як у НВО завжди присутній допоміжний повітряний потік, що викидається у середовище за достатньо низької температури, та внаслідок зволоженості не може бути використаний у СКП, він при цьому може бути використаний задля охолодження конденсатора ХМ (4). Повітряний потік заздалегідь (на високому температурному рівні) охолоджується у НВО й потім вже потрапляє до випарника ХМ. Конденсат з випарника (3) повертають до контуру випарного охолодження НВО та за певних значень відносної вологості зовнішнього повітря втрати води у НВО можуть бути повністю компенсовані поверненням конденсату.

До безперечних переваг комбінованих випарувально-парокомпресійних охолоджувачів відносять зниження енергоспоживання та зростання екологічної чистоти рішень у цілому.

2.3. Осушно-випарні охолоджувачі

2.3.1. Сонячні холодильні системи

Ідея сонячного охолодження та кондиціонування повітря відома у практичному використанні починаючи з 90-х років XIX століття. Різноманітні варіанти таких систем створювалися у 60-і роки на основі розчину хлористого літію. Сонячний охолоджувач, який використовує розчин LiBr був реалізований у Брісбене (Brisbane), Австралія (Australia), у 1958 році. Пізніше (1966) там же, у Куїнсланде (Queensland), був реалізований сонячний дім за сонячного охолоджувача. У США у 1976 році було встановлено приблизно п'ятьсот сонячних кондиціонерів повітря, при цьому, близько 75 – 80% всього часу протягом року вони працювали саме на сонячній енергії, а решту часу - на електроенергії чи рідкому паливі.

У подальшому наголошувалося неухильне зростання інтересу до можливостей сонячних систем.

При чому, інтерес викликали принципові можливості як відкритих, так й закритих систем, які реалізовувалися у одно- двух- та триступінчатих варіантах, а також будь-яких комбінаціях подібних систем. Відкриті системи абсорбції, які працюють при виключних градієнтах температур та вологовмісті й за атмосферного тиску, володіють значно більшою гнучкістю у роботі, меншим енергоспоживанням та працездатні за температур гріючого джерела всього 60–120С [5], а це й відкриває можливість використання сонячної енергії. Ідея сонячного кондиціонування повітря, як побутового, так й технологічного призначення, являється достатньо перспективною, зокрема й тому, що існує відома кореляція між інсоляцією та необхідним рівнем охолодження

(комплексом термовологісних параметрів повітря для АСКВ), це доводиться на пік денного споживання електроенергії й тому може бути особливо виграшним. Слід зазначити також значний перспективний ринок у експлуатації, енергоспоживаючі та не породжуючі шкідливих екологічних наслідків сонячні системи кондиціонування повітря [6].

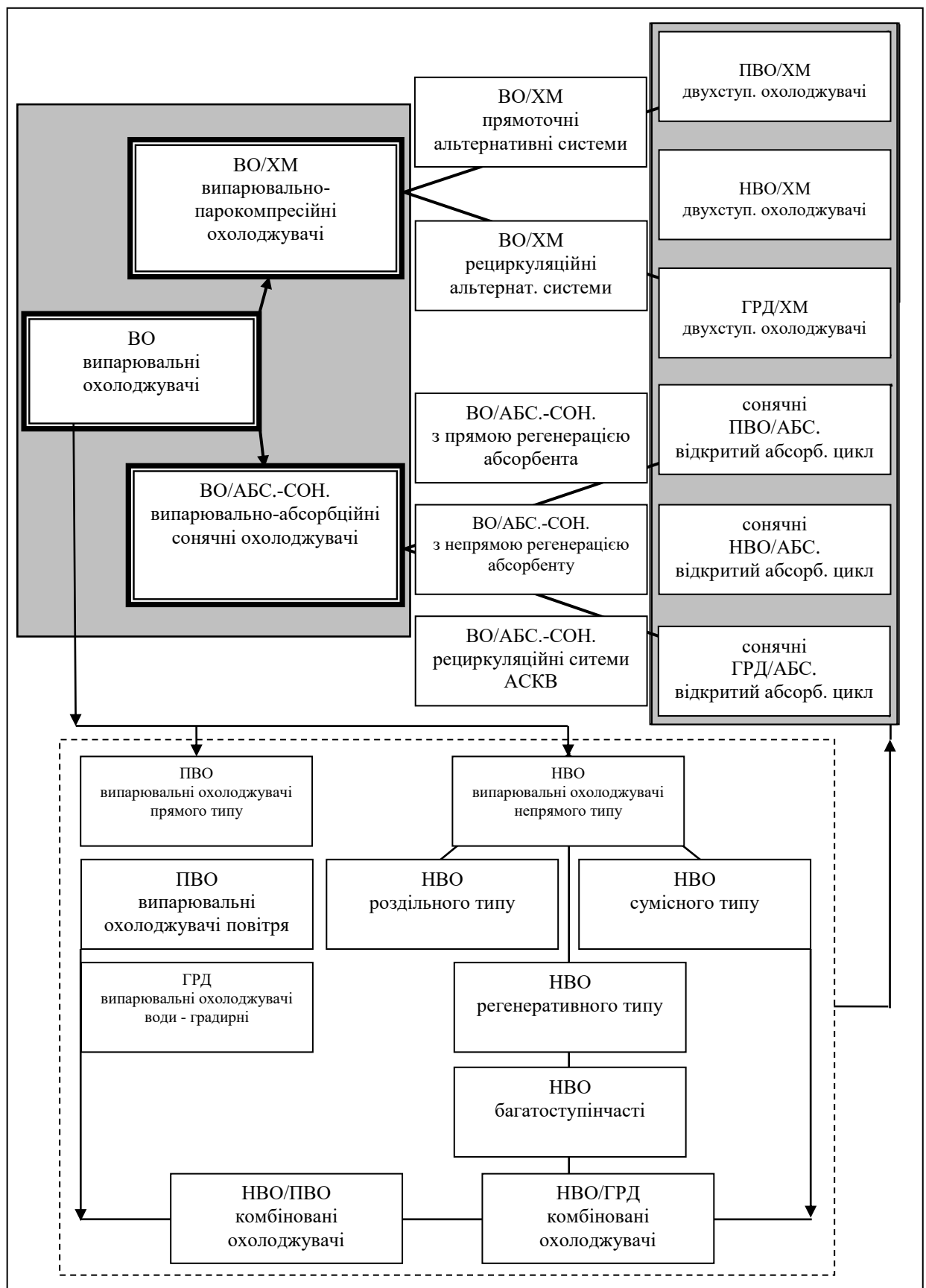


Рисунок. 2.6А. Основні напрямки розвитку випарних охолоджувачів та їх раціональної інтеграції в холодильних системах і СКП (раціональна інтеграція альтернативної та традиційної енергетики)

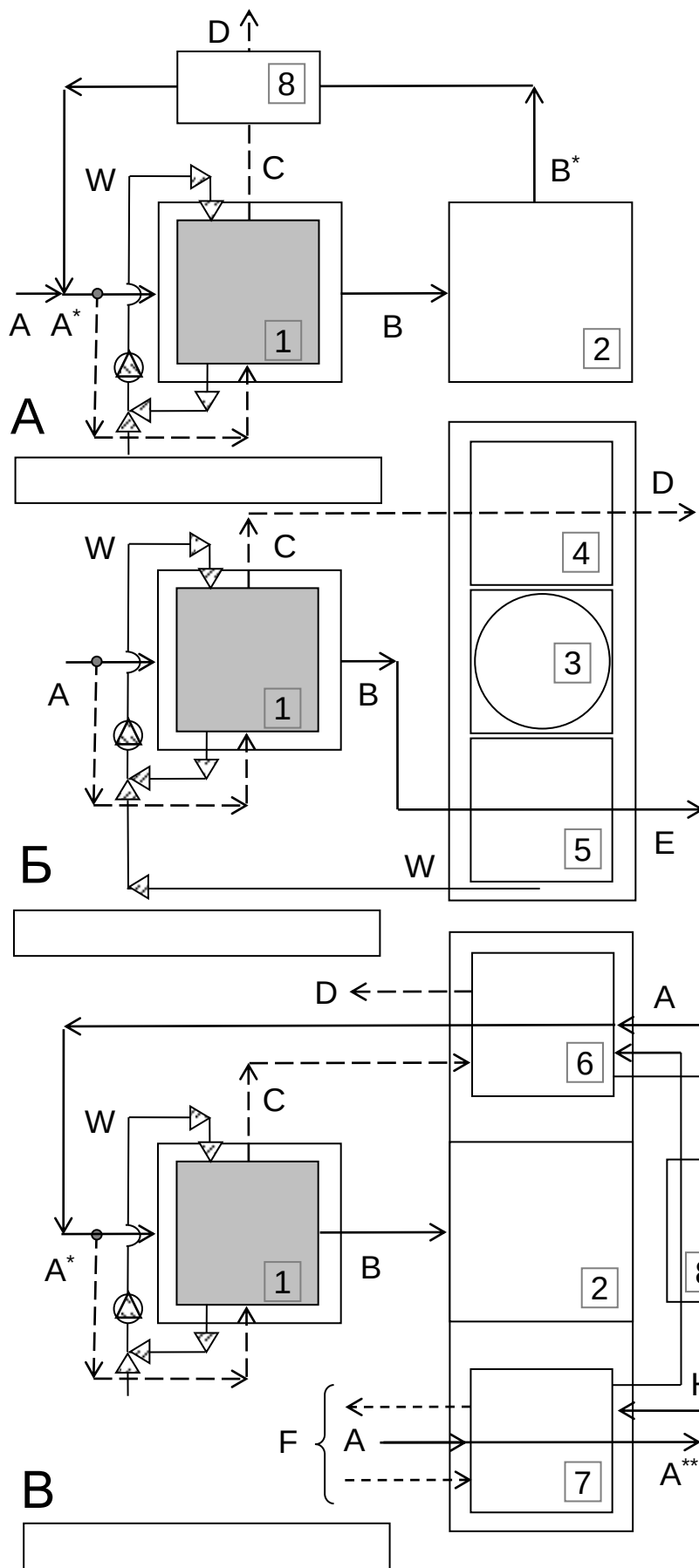


Рисунок 2.7. Приклади використання НВО у складі альтернативних систем.

А. Непрямий випарювальний охолоджувач НВО.

Позначення : 1 – НВО; 2 – приміщення; 3 – ХМ; 4 – конденсатор; 5 – випарювач; 6 – абсорбер-осушувач; 7 – десорбер-регенератор; 8 – теплообмінник; А – зовнішнє повітря; В, С – основний і допоміжний повітряні потоки; D – допоміжний потік після теплообмінника; Е – основний повітряний потік після випарювача ХМ; Н – абсорбент; F – зігріваючий потік в десорбере (регенераторе); W – вода.

Б. Випарювально-парокомпресійний охолоджувач (компаунд) в складі НВО/ХМ

В. Осушувально-випарювальний охолоджувач на основі відкритого абсорбційного циклу

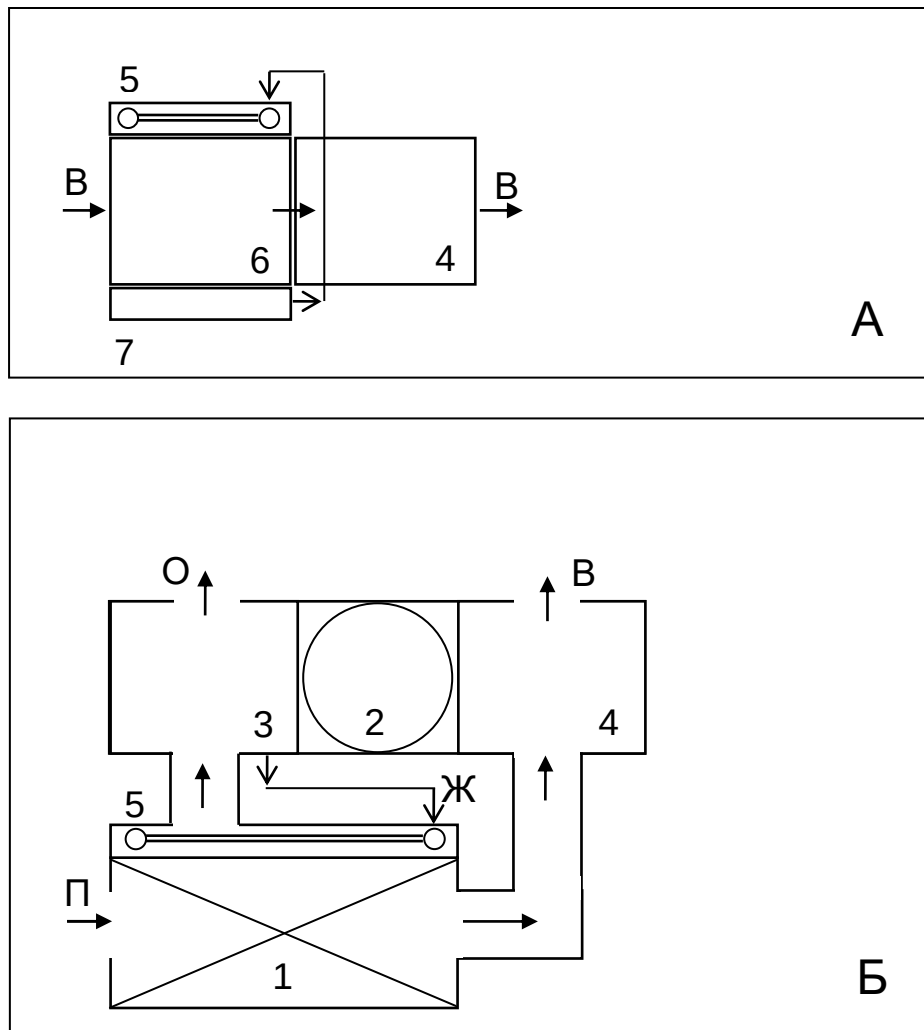


Рисунок 2.8. Комбіновані охолоджувачі на основі випарного охолоджувача прямого (ПВО / ХМ, А) і непрямого типів (НВО / ХМ, Б).

Позначення: 1 – випарювальний охолоджувач непрямого типу НВО; 2 – ХМ; 3 -випарювач; 4 – конденсатор; 5 – розподільувач рідини; 6 – випарювальний охолоджувач прямого типу ПВО; 7 – ємність для води; П – повний повітряний потік; О, В – основний та допоміжний повітряні потоки; Ж – рідина (вода).

Загальноприйнятою для відкритих систем схемою виступає так званий Пенінгтон-цикл (Pennington cycle), за якого (рис. 2.9, 2.10) свіже, поступаюче до системи повітря, осушується у абсорбері, далі охолоджується холодним та

вологим повітряним потоком, яке покидає приміщення, й потім охолоджується у процесі безпосереднього (прямого) випаровування та поступає до приміщення. Повітря з приміщення при цьому випарно охолоджується, таким чином забезпечуючи у теплообміннику охолодження свіжого повітря й потім, після додаткового нагріву, забезпечує процес регенерації у десорбері. Існує багато варіантів такої досить простої та добре відомої схеми. У якості основних елементів подібні схеми, зазвичай, включають – рис. 2.9 – абсорбер (1), де осушується повітряний потік, випарний охолоджувач прямого чи непрямого випарного типу (3) та десорбер (регенератор –1, процеси осушення та регенерації адсорбенту при цьому протікають у одному апараті) прямого чи непрямого типів, й також системи теплообмінників, необхідність у яких обумовлена температурними градієнтами. Під час осушення повітря знижується його вологовміст, й отже, й величини температур мокрого термометра та точки роси, це забезпечує можливість подальшого глибокого охолодження у випарному охолоджувачі. З точки зору систем кондиціонування повітря СКП це означатиме принципову можливість забезпечення комфортних термовологісних параметрів за використання тільки методів випарного охолодження, не включаючи парокомпресійні охолоджувачі. Відносно сонячних кондиціонуючих систем, основні схеми можуть бути вентиляційними або рециркуляційними (ventilation mode, VM; recirculation mode, RM), приклад неведений на рис. 2.9, коли частина повітряного потоку, яке покидає приміщення, використовується у тому або іншому ступені задля організації основного процесу кондиціонування повітря чи просто змішується зі свіжим повітряним потоком, яке потрапляє до приміщення. Зазвичай кількість повітря, що рециркулює у такій системі, складає приблизно 10–20%.

Використовуються також тверді (селикагель – silica gel, цеоліти – zeolites, гідриди – hydrides) і рідкі сорбенти на основі розчинів LiBr- H₂O, LiCl-H₂O, при цьому кількість та різноманітність робочих середовищ безперервно зростає.

A

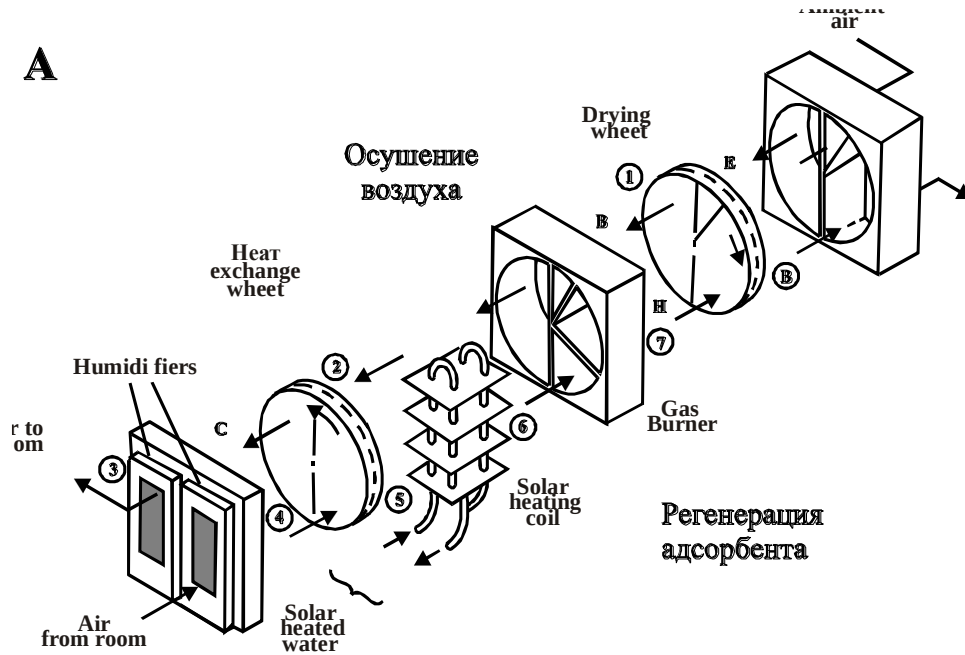


Fig. 9. Desiccant solar air conditioning.

Б

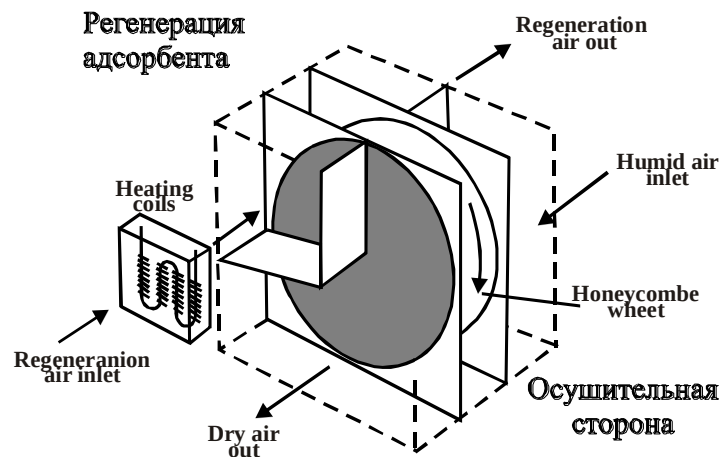


Рисунок 2.9. Принципова схема адсорбційної сонячної системи кондиціонування повітря (А) з використанням осушувача у вигляді барабана з насадкою з гранульованого адсорбента (desiccant-wheel - осушуваче колесо, Б) і сонячної енергії, у якості часткового джерела тепла для регенерації адсорбента

Позначення: 1 – осушуваче колесо; 2 – обертаючий теплообмінник; 3, 4 – зволожувач; 5, 6 – сонячний нагрівач; 7 – газовий бойлер; 8 – теплообмінник.

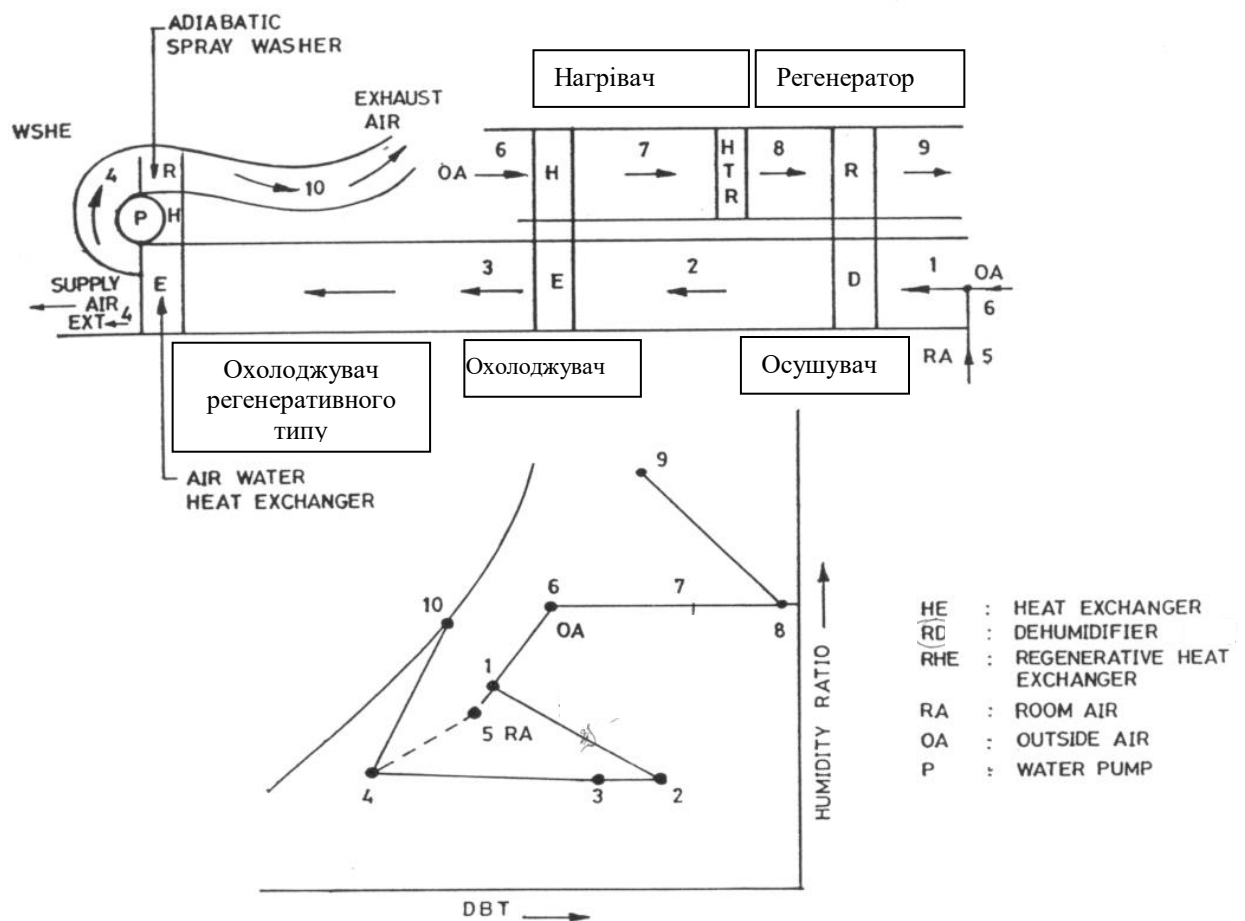


Рисунок 2.10. Принципова схема адсорбційної сонячної системи кондиціонування повітря по роботі (А) та зображення робочих процесів на Н-Т діаграмі вологово повітря (Б).

Позначення: процеси 5-1 та 6-1 – суміш зовнішнього (6) і кімнатного повітря (5); 1-2 – процес осушення повітря; 2-3 і 3-4 – охолодження повітря після осушувача (адсорбера); 6-8 – нагрів зовнішнього повітря; 8-9 – процес регенерації адсорбента.

З метою організації безперервного процесу в разі застосування твердих сорбентів (solid sorption systems) використовуються адсорбери, які перемикаються, або барабани, які обертаються з певною швидкістю, секції яких при цьому заповнені адсорбентом, за безперервного та одночасного прокачування крізь різні сектори барабана осушеного та регенеруючого (нагрітого) потоків повітря (рис. 2.9Б), отже, обидва процеси проходять одночасно у одному й тому ж апараті. Адсорбер характеризується при цьому габаритами та високими характеристиками процесу, але володіє достатньо великим опором руху теплоносіїв та вимагає при цьому значно вищих температур регенерації. У такому разі використання рідких сорбентів (liquid sorption systems) переважніше, але при цьому важливим постає питання про вплив робочих речовин на основні мікрокліматичні характеристики та про стійкість конструктивних матеріалів.

У відкритих системах сонячна регенерація абсорбенту може бути:

прямою та протікати за безпосереднього контакту повітряного потоку та плівки абсорбенту у повітряному сонячному колекторі, отже регенерація абсорбенту при цьому протікає за безпосередньої дії сонячної радіації та повітряного потоку;

непрямою, яка вимагає наявності окремого регенератора-десорбера та сонячної нагрівальної системи (геліосистеми), яке забезпечує роботу регенератора.

2.3.2. Системи з прямою сонячною регенерацією абсорбенту

У відкритих системах пряма сонячна регенерація абсорбенту протікає за безпосереднього контакту повітряного потоку та плівки абсорбенту у повітряному сонячному колекторі, отже регенерація абсорбенту протікає за безпосередньої дії сонячної радіації та повітряного потоку

Один із варіантів АСКВ з прямою регенерацією абсорбенту наведений на рис. 2.11. Тут після осушувача повітря 3 встановлюється випарний

охолоджувач прямого типу 2 (ПВО), він забезпечує його ефективне охолодження, так як після осушення потенціал випарного охолодження повітряного потоку досить високий. Інтерес представляє при цьому сонячний колектор-регенератор прямого типу 4 (СК-Р), у якому гравітаційний перебіг плівки абсорбенту за нахиленому під певним кутом до горизонту СК-Р при цьому супроводжується протиточним рухом повітряного потоку, який забезпечується сонячною енергією. Тобто сонце у такій схемі забезпечує як надходження потрібного для регенерації абсорбенту тепла, так й рух повітря, яке виносить вологу з регенератора. Вочевидь, що подібна система виявляє особливу чутливість до рівня сонячної радіації та достатньо важливу роль тут грає бак-акумулятор 6. Решта елементів системи та її загальна побудова у цілому аналогічно рішенням для АСКВ з непрямою регенерацією абсорбенту.

За зростання температури зовнішнього повітря ефективність АСКВ знижується; при цьому збільшення концентрації абсорбенту (розчин хлористого літію) призводить до очікуваного зростання ефективності самого процесу осушення.

Найбільший вплив на процес осушення повітря оказує температурний рівень охолодження води у градирні, що обслуговує абсорбер (осушувач повітря). Подібний висновок характерний й для АСКВ з непрямою регенерацією абсорбенту.

На рис.2.12 наведено АСКВ за прямої регенерації абсорбенту. Схемні рішення відрізняються від наведених вище наявністю випарного охолоджувача непрямого типу НВО, це дозволило використати допоміжний повітряний потік, який виходить з випарного охолоджувача, задля попереднього охолодження повітря після абсорбера та перед випарним охолоджувачем та для попереднього охолодження розчину сорбенту перед абсорбером. Обидва подібні рішення сприятимуть підвищенню ізотермічності процесу абсорбції, але водночас призводять до додаткових енерговитрат на забезпечення руху повітряних потоків. У такому сенсі проаналізований ряд можливих рішень, ефективність

Включення до схеми НВО призвело до осушення тільки частини повітряного потоку, який проходить крізь «мокру» частину НВО, це забезпечує випарне охолодження водяної плівки й, таким чином, крізь теплопровідну стінку, безконтактне охолодження основного повітряного потоку. Попереднє осушення головного потоку та його подальше охолодження у НВО за незмінного вологовмісту, забезпечить зниження загального рівня вологовмісту повітря у обслуговуваному приміщенні й, не дивлячись на додаткові енерговитрати, воно виявляється цілком виправданим, особливо якщо взяти до уваги вимоги, які безперервно посилюються, до відносної вологості повітря у приміщеннях.

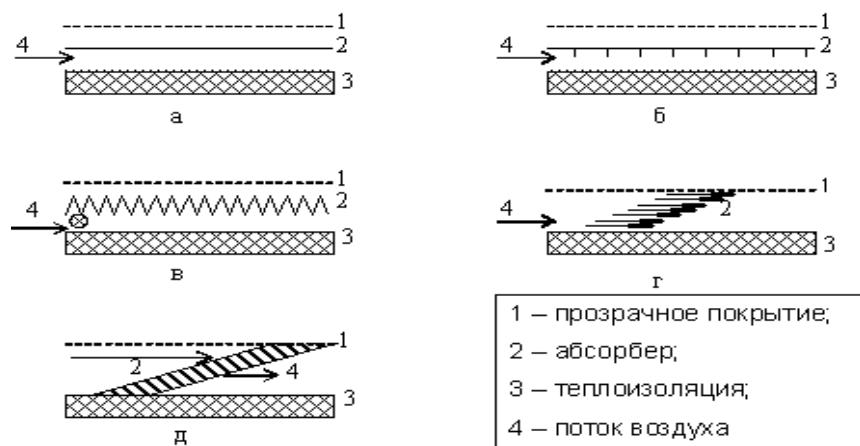
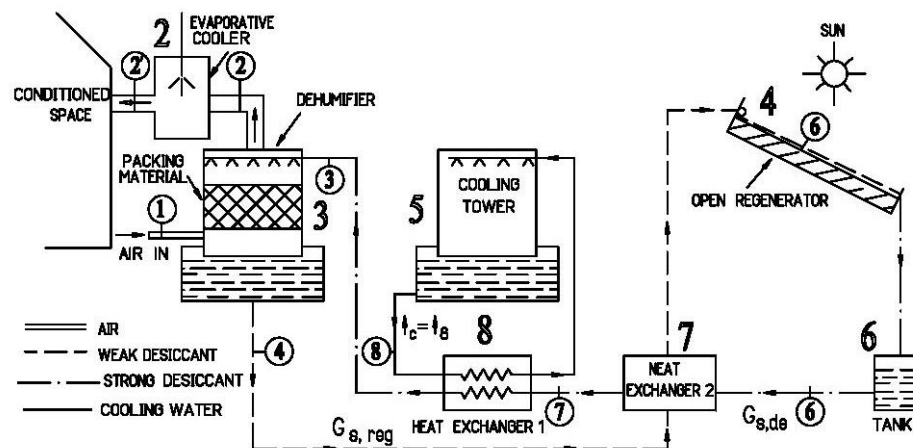


Рисунок 2.11. А – принципова схема АСКВ з прямою сонячною регенерацією абсорбента на основі відкритого абсорбційного циклу; Б - схеми плоских повітряних сонячних колекторів з рухом повітря під плоским (а), оребреним (б) і гофрованим (в) абсорбером, через ряд скляних пластин (г) і пористу насадку (д).

Позначення: 1 – приміщення; 2 – випарний охолоджувач повітря прямого типу ПІО; 3 – осушувач повітря – абсорбер; 4 – сонячний регенератор прямого типу; 5 – градирня; 6 – ємкість для абсорбента; 7, 8 – теплообмінники

Проведений аналіз показав ряд переваг систем з відкритою регенерацією абсорбенту, а саме:

суттєве зниження енерговитрат на рух повітряного потоку крізь регенератор;

загальне зниження габаритів, а, отже, й ваги та вартості АСКВ, завдяки поєднанню процесів нагріву теплоносія та регенерації абсорбенту у єдиному апараті – сонячному регенераторі типа СК-Р;

суттєве зниження енерговитрат, завдяки відсутності вентилятора на потоці повітря, яке надходить до регенератора.

Але, у той же час, подібні АСКВ схильні до небезпеки забруднення поверхонь СК-Р та виявляються вельми чутливими до рівня сонячній радіації та його природним коливанням. А отже, подальший розвиток подібних АСКВ істотним чином залежить від простих та дешевих рішень у області сонячного забезпечення регенерації абсорбенту.

2.3.3. Системи з непрямою сонячною регенерацією абсорбенту

У відкритих системах непряма сонячна регенерація абсорбенту передбачає наявність десорбера з винесеним, зовнішнім теплообмінником, або вбудованим теплообмінником, куди подається вода, нагріта у геліосистемі. Зворотне завдання відбувається у абсорбері, де потрібне охолодження. Найчастіше з цією метою до схеми вводять градирню. Дуже перспективним виявляється абсорбер з

внутрішнім випарним охолодженням, створення якого пов'язане з відомими конструктивними складнощами. Приклад такої системи наведений на рис. 2.4.

На рис. 2.13 наведена схема установки абсорбції за використання газового бойлера або сонячної енергії задля забезпечення процесу регенерації абсорбенту. Охолодження абсорбенту на вході до абсорбера забезпечує повітряний охолоджувач 5. Крізь абсорбер проходить тільки та частина розчину, що циркулює по осушно-відновному контуру, у зв'язку з цим наголошується зростання ефективності процесу абсорбції, а це можливо пов'язане з підвищенням реальної поверхні масообміну насадки абсорбера за рахунок зростання щільності її зрошування розчином.

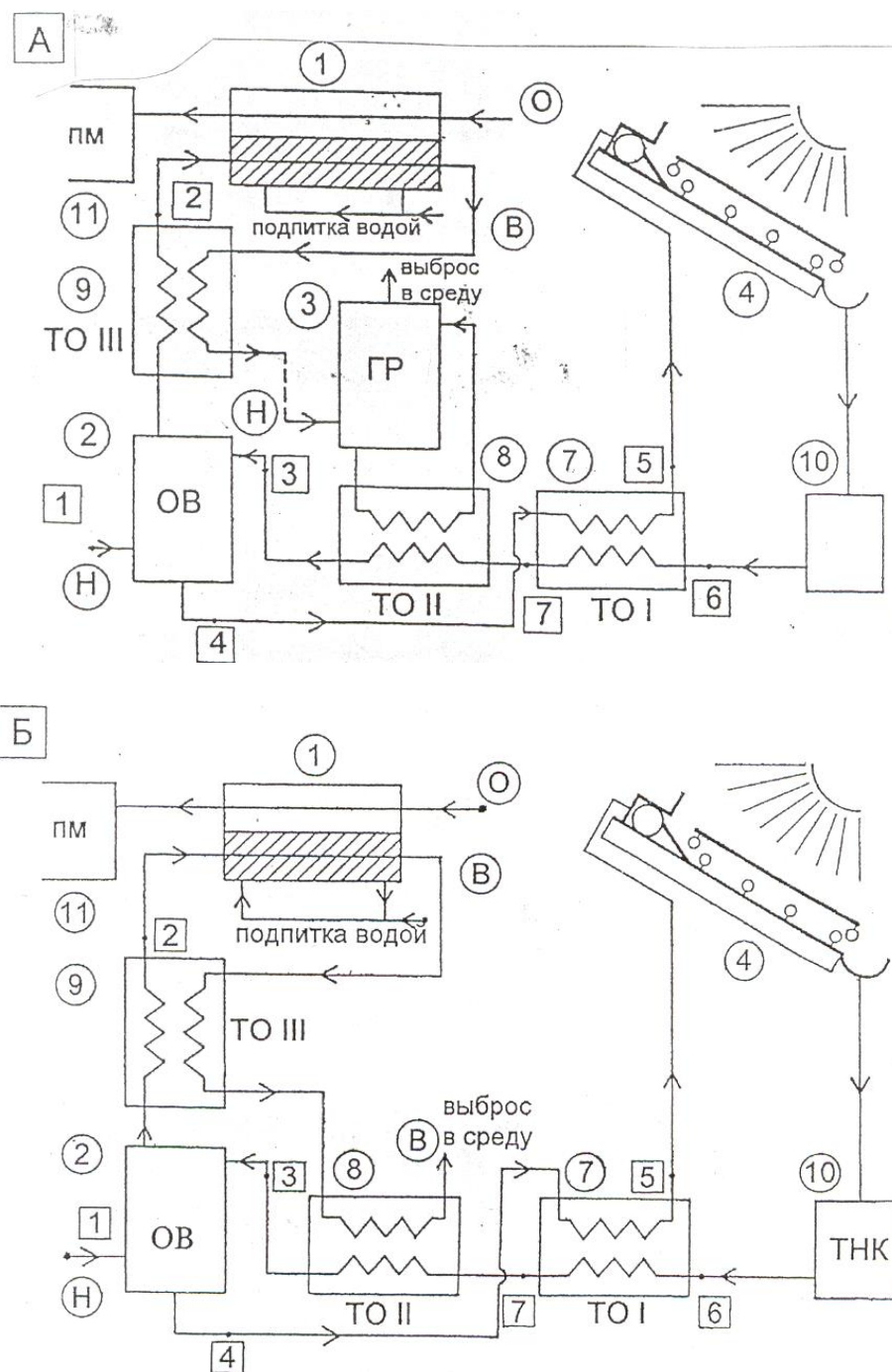


Рисунок 2.12. Принципові схеми АСКВ з прямою регенерацією абсорбента. А – АСКВ з градирнею в схемі охолодження абсорбера. Б – АСКВ з використанням допоміжного повітряного потоку з НВО для охолодження абсорбера.

Позначення: 1 – випарний охолоджувач непрямого типу; 2 – абсорбер-осушувач; 3 – градирня; 4 – сонячний регенератор абсорбента; 7, 8, 9 – теплообмінники; 10 – ємкість для відновленого розчину абсорбента.

На рис. 2.14 наведена принципова схема сонячної холодильної системи на водному розчині LiBr. Сонячна система у такій схемі нагріву води двоконтурна з догрівом від електробойлера в разі високих необхідних значень температур гріючого джерела задля регенерації абсорбенту. Розрахункова продуктивність системи до 10 кВт може забезпечуватися тільки сонячною системою з плоскими сонячними колекторами (при діапазоні температур гріючого джерела 75/65 °C), а зростання продуктивності системи забезпечують підключенням електробойлера. Останній також необхідний у якості дублюючого джерела нагріву при коливаннях сонячної активності. Джерелом охолодження абсорбера служить градирня, яка включена до загальної схеми. Блок охолодження виконаний у вигляді єдиного блоку, він включає всі основні тепломасообмінні апарати – абсорбер, генератор, градирню і, саме, охолоджувач. Основні характеристики сонячної холодильної системи наступні:

- Холодильна продуктивність сонячної системи 10 кВт (охолоджувана вода у діапазоні 18/15 °C з витратою 2.9 куб.м/ч);
- Величина COP = 0.76;
- Обігріваче джерело сумарною потужністю 13.2 кВт (регенерацію абсорбенту та підтримку безперервності холодильного циклу забезпечують водою від сонячної системи плюс електричний підігрів до температури 75/65 °C, витрата води при цьому крізь сонячну нагрівальну систему складає у розрахунковому режимі 1.2 куб.м/ч);
- Охолоджуюче джерело потужністю 23.2 кВт (вода від градирні у діапазоні температур 27/35 °C за витрати 2.6 куб.м/ч);
- Основні габарити блоку охолодження, який включає всі тепломасообмінні устаткування сонячної системи, крім геліосистеми з сонячними колекторами, 1800x450x850см.

Найуявніше виражена залежність величини COP від температури охолоджуючої води, тобто від роботи градирні. Зниження величини $t_{\text{охл}}$ на 7 °C (у трьох порівнюваних точках зі значеннями температур води, яка покидає градирню, 37, 30.5 і 23 °C, відповідно) дозволяє (рис. 2.14) підвищити COP від

0.22 до 0.44 і 0.8, відповідно температурам охолоджуючого джерела (при урахуванні відповідного зростання енерговитрат на роботу градирні). А це пов'язано як з наближенням процесу абсорбції до ізотермічності, так і зі зниженням температури осушеного повітряного потоку, який покидає абсорбер. Цілком природньо, що зниження необхідного рівня охолодження продуктової води призводить до зниження її величини COP (за двох порівнюваних дослідів за температурними рівнями охолодженого продуктового потоку 13/10 °C і 8.4/6 °C, значення COP склали 0.45 і 0.3, відповідно), однак таке зниження досить невелике й крива залежності $COP = f(t_{хол})$, у діапазоні температур охолодження від 6 до 16 °C, практично горизонтальна (зміна величини COP складає усього 0.7 – 0.8). У певній мірі це характеризує й вигляд залежності $COP = f(t_{гр})$, яке представляється доволі несподіваним, однак слід враховувати, що аналіз проводили за умови постійності необхідного рівня охолодження. Зростання холодопродуктивності системи у діапазоні 10 – 16.8 кВт призведе до зростання температури регенерації абсорбенту від 75/65 °C до 107/87 °C, а це цілком зрозуміло.

На рис. 2.15 наведена принципова схема сонячної альтернативної холодильної системи АХС, яка забезпечує охолодження води. Конденсатор (С) блоку охолодження (7) та абсорбер (А) обслуговують вентилятором градирні (5); у випарному охолоджувачі непрямого типу (Е) охолоджується «продуктова» вода, яка потім потрапляє до системи вентиляованих теплообмінників-охолоджувачів (4), вони розташовані безпосередньо у обслуговуваних приміщеннях.

Принципові рішення для АСКВ з непрямою регенерацією абсорбенту представлені на рис. 2.16. Основна відмінність таких рішень полягає у використанні у охолоджувальній частині установки випарного охолоджувача непрямого типу 1. Такий НВО у роботі був поєднаний з теплообмінником 12, а це, завдяки наявності потоку допоміжного повітря з НВО, дозволяє підвищити ефективність випарного охолоджувача у цілому. Певну увагу слід звернути на наявність у схемі чотирьох теплообмінників, це істотно позначається на зростанні енерговитрат у цілому.

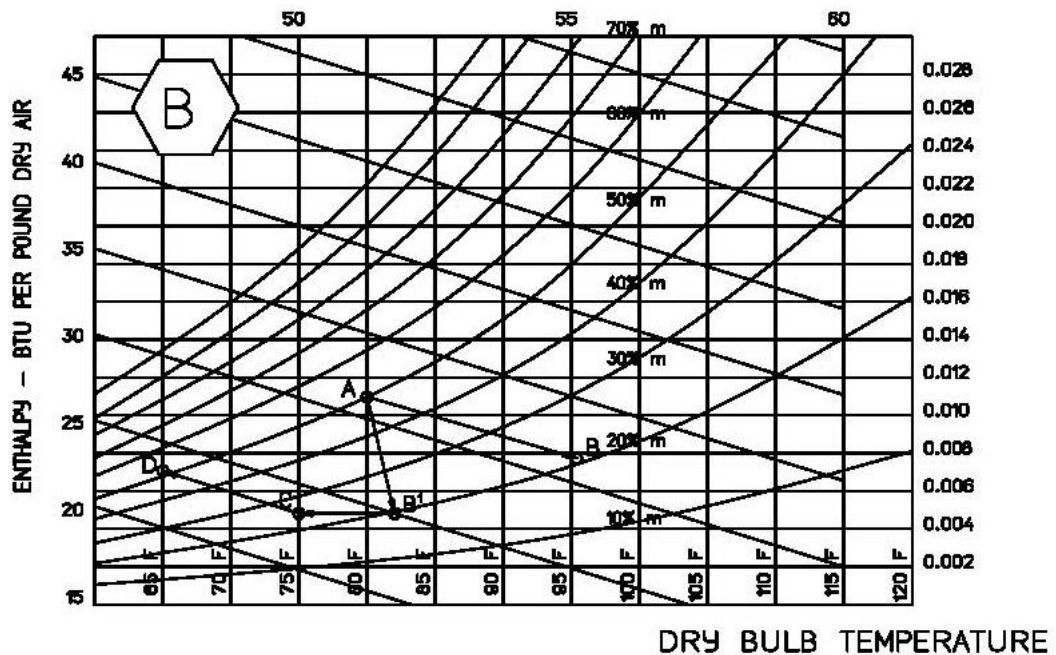
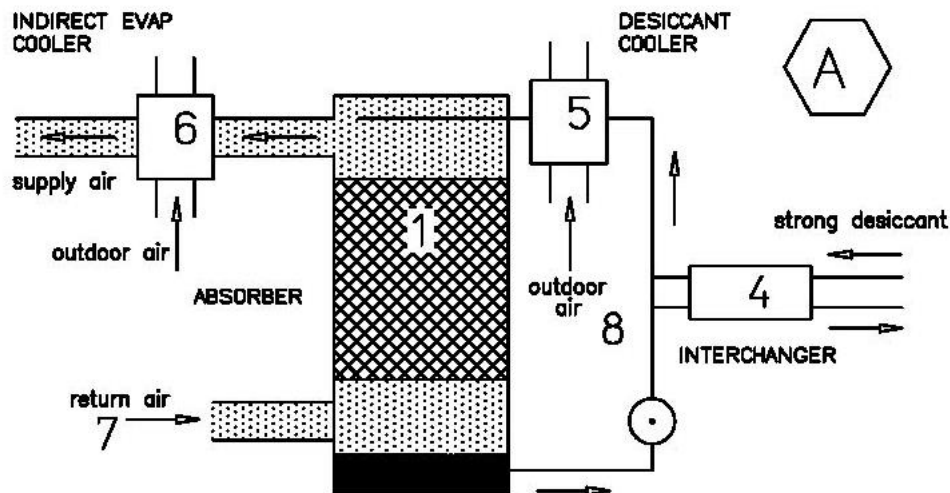


Рисунок 2.13. А. Принципова схема альтернативної системи АСКВ на основі відкритого абсорбційного циклу. Схема побудована з частковою рециркуляцією абсорбента. В. Зображення робочих процесів на психрометричній діаграмі.

Позначення: 1 – абсорбер; 4, 5 – теплообмінники; 6 – непрямий випарник охолоджувач; 7 – осушений повітряний потік (повітря з приміщення); 8 – зовнішнє повітря.

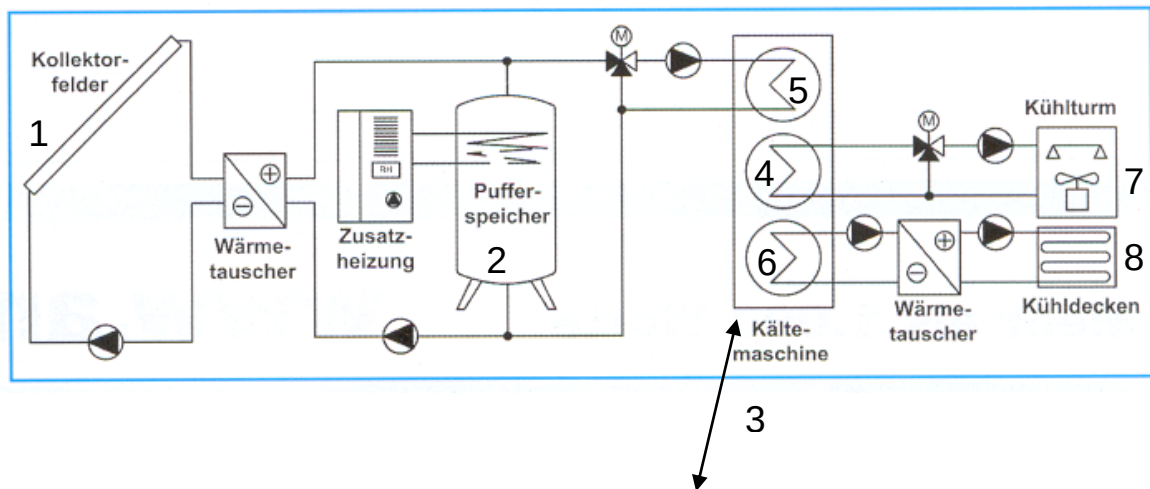


Рисунок 2.14. Принципова схема сонячної холодильної установки .

Позначення: 1 – сонячний колектор; 2 – бак-теплоаккумулятор; 3 – основний блок охолодження у складі абсорбера 4, регенератора 5 і охолоджувача 6; 7 – градирня; 8 – теплообмінник – охолоджувач.

На рис. 2.16Б наведена схема АСКВ, у ньому основний повітряний потік, який охолоджений у «сухій» частині непрямого випарного охолоджувача НВО, далі поступає до градирні 5 та забезпечує глибоке охолодження води, вона далі поступає до системи вентильованих теплообмінників-охолоджувачів 15, які розташовані безпосередньо у кондиціонованому приміщенні 17. Таке рішення істотно знижує витрати на прокладку комунікацій АСКВ. Вважають перспективним варіант АСКВ з виробництвом як повітряного потоку, який пройшов необхідну термовологісну обробку, так й охолодженої води. У якості

випарних охолоджувачів у схемах АСКВ, зазвичай, використовують апарати прямого випарного охолодження (рис. 2.11, 2.13). Але перспективнішим було б використання апаратів непрямого випарного типу НВО (рис. 2.10, 2.12, 2.15). У таких апаратах досягається безконтактне охолодження основного повітряного потоку, отже, охолодження за незмінного вологовмісту, а це сприятливе для систем кондиціонування повітря. У якості додаткового охолоджувача після охолоджувача непрямого типу може бути використаний прямий випарний охолоджувач. У такому випадку його використання для заздалегідь охолодженого сухого повітряного потоку не створює проблем надмірної вологи у кондиціонуючому приміщенні.

Важливим питанням, яке визначає майбутнє альтернативних сонячних систем, являється створення високоефективної тепломасообмінної апаратури (абсорбер, випарні охолоджувачі, десорбер, теплообмінники). Так як кількість подібних апаратів, які входять до складу систем досить велике, то це вимагає значних енерговитрат на організацію руху теплоносіїв. Враховуючи рушійні сили процесів, що характерні для відкритих систем абсорбції, з термодинамічної точки зору привабливе збільшення числа теплообмінних апаратів у схемах, але це пов'язано, звичайно, із зростанням енергоспоживання.

Для альтернативних сонячних систем перспективним вважають використання апаратів плівкового типу, які забезпечують роздільний перебіг потоків газу та рідини у багатоканальній впорядкованій насадці таких апаратів [1-3]. Додаткові позитивні якості при цьому дозволяє одержати поперечноточна схема взаємодії потоків у апаратах [3], так як для неї характерні невеликі аеродинамічні опори.

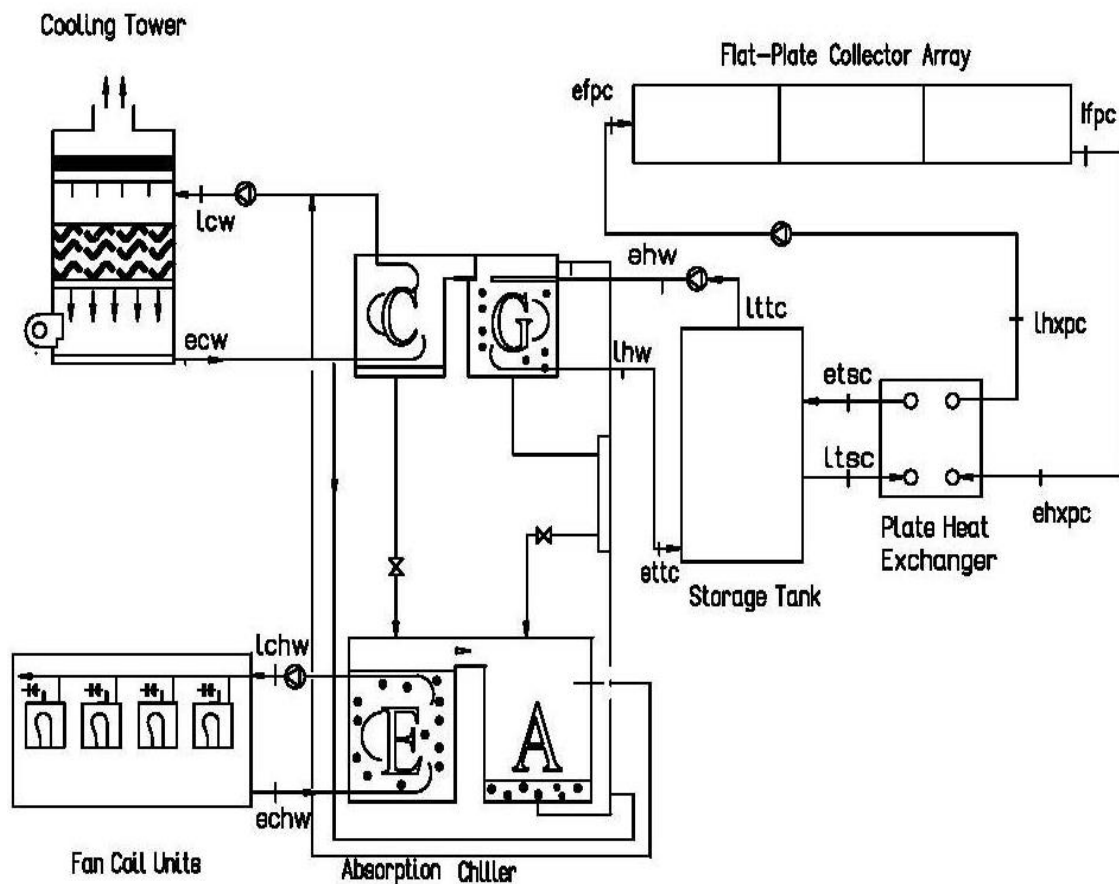


Рисунок. 2.15. Принципова схема сонячної АХС. АХС працює під вакуумом на розчині LiBr/H₂O.

Позначення: 1 – сонячні колектори; 2 – пластинчатий теплообмінник; 3 – теплоаккумулятор; 4 – Fan Coil Units – вентилюємі теплообмінники-охолоджувачі; 5 – градирня; 6 – теплообмінник; 7 – блок охолодження, включаючий: А – абсорбер; С – конденсатор; Е – випарний охолоджувач; G – генератор.

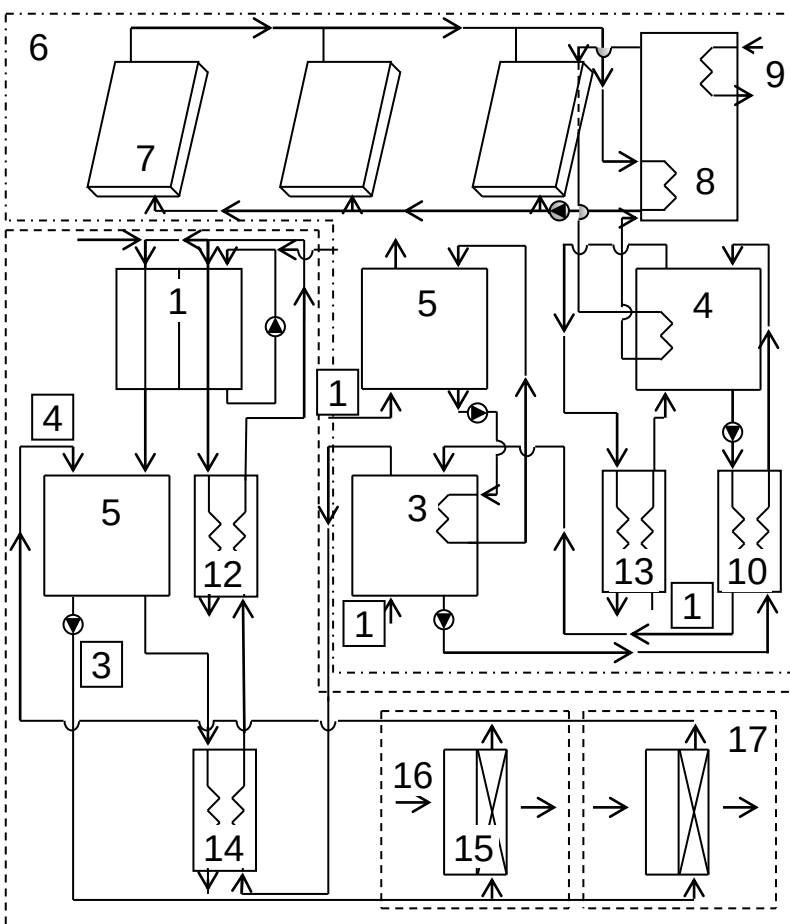
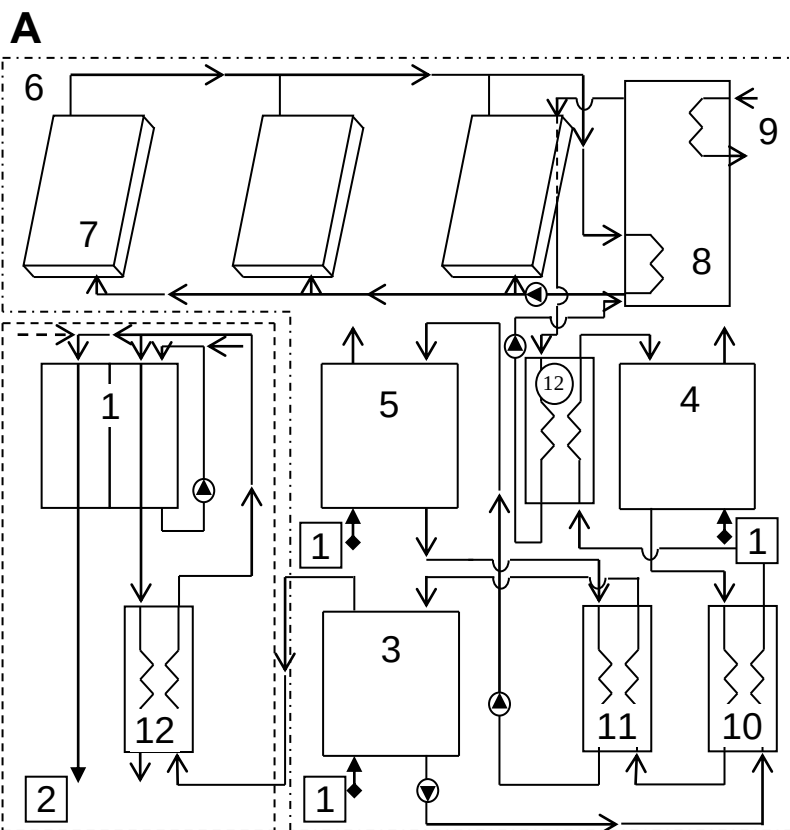


Рисунок 2.16.
Принципова схема
альтернативної
системи
кондиціювання
повітря АСКВ, з
непрямою
регенерацією
абсорбента.

А – термовологісна
обробка повітря. **Б** –
отримання холодної
води.

Позначення: 1 –
випарний
охолоджувач
непрямого типу; 3 –
абсорбер-осушувач;
4 – десорбер-
регенератор; 5 –
градирня; 6 –
сонячна нагрівальна
система у складі
сонячного колектора
(7), бака-
теплоаккумулятора
(8) та додаткового
гріючого джерела
(9), відповідно; 10 –
14 – теплообмінники;
15 – вентилюємий
теплообмінник -
охолоджувач; 16 –
кімнатне повітря; 17
– кондиціонуєме
приміщення.

Параметри потоків:
1 – зовнішнє
повітря; 2 –
оброблене по вітря у
приміщенні; 3,4 –
холодна вода у

Великий інтерес представляє також можливість використання, у якості зовнішнього гріючого джерела задля забезпечення регенерації, сонячної енергії. Такі геліосистеми за термічних сонячних колекторів (СК) – невакуумовані плоскі колектори, вакуумовані плоскі або трубчасті колектори, слабовакuumовані колектори (evacuated low-concentrating) й ін. Однак, їх ефективність знижується за зростання температури, при цьому для більшості сонячних холодильних технологій має бути температурний рівень, близький 100 градусів С. Ситуація дещо покращується для сонячних кондиціонуючих систем (АСКВ), у ньому може бути достатнім температурний рівень близько 60–100 градусів С. Відмітимо, що найбільш дешевий та поширений на сьогодні тип сонячного колектора - плоский СК – він здатен забезпечити тільки 50–70 відсотків функціонування на його основі та навіть самої у цьому сенсі невимогливі відкритої сонячної системи досить проблематично. Зараз існує необхідність створення компенсаційного механізму задля сонячних альтернативних систем, це пов'язане зі проблемою природних коливань сонячної активності. Для подібних систем важливе створення ефективних накопичувачів теплової енергії. Перспективним є також розробка різноманітних комбінованих систем, які забезпечують можливість спільного використання, разом з енергією сонця, газового чи рідинного бойлера, й також інших джерел низькопотенційного тепла.

2.4. Проблематика розвитку сонячних холодильних та кондиціонуючих систем

До головних проблем сонячних систем кондиціонування повітря АСКВ, які вимагають першочергового вирішення задля перспективного виходу на комерційний ринок, відносять:

потрібне зниження енерговитрат на транспорт теплоносіїв (води та розчину абсорбенту, повітряних потоків), або на власні потреби АСКВ, а цього можливо досягти:

1. зменшення загального числа тепломасообмінних апаратів у схемі поєднанням у кожному з них декількох процесів, для прикладу, створення абсорбера разом із внутрішнім випарним охолоджувачем;
2. створення високоефективних ТМА, для прикладу, плівкового типу, які забезпечують зниження енерговитрат на транспорт теплоносіїв, тому що мають роздільний перебіг контактуючих потоків й також високої питомої поверхні контакту;
3. вибір робочих тіл (композитів), які забезпечують досить високу осушну здатність за несприятливої дії на конструктивні матеріали;
4. створення достатньо ефективного нагрівального контуру задля регенерації абсорбенту, це пов'язане, у першу чергу, з розробкою СК та СК-Р, які мають високі теплотехнічні характеристики та здатні забезпечити потрібний температурний рівень регенерації абсорбенту.

Найбільш перспективним вважають використання у схемах АСКВ комбінованого нагрівачого джерела, у якому сонячна енергія відіграє важливу, але тільки дольову роль, це пов'язане, як із природними коливаннями сонячної інсоляції (а, отже за необхідності створення компенсаційного механізму), так й з техніко-економічним аспектом сонячних холодильних систем, так як дольова «вага» вартості та площі сонячної системи у складі АСКВ досить висока.

Досить невизначеною скидається на сьогодні комерційна ситуація зі сонячними холодильними та кондиціонуючими системами. Це пояснюється не тільки сучасним етапом розробок таких нових систем, але й стрімко змінними пріоритетами та суперечливими оцінками ситуації у цій галузі. Сонячні альтернативні системи, як свідчить, хоча й вельми обмежений, досвід їх практичного застосування, можуть забезпечити двократне зниження енерговитрат у порівнянні зі парокомпресійними охолоджувачами й, поза сумнівом, вони при цьому позбавлені екологічних проблем, які властиві традиційній парокомпресійній техніці (проблема глобального потеплення, озонобезпеки), при цьому їм притаманнійі серйозні недоліки – великі габарити,

корозійна дія на конструктивні матеріали, проблематичність тільки сонячної регенерації, потреба у високоефективних акумуляторах енергії. Однак, такі недоліки властиві усім без виключення альтернативним джерелам енергії й оцінка перспектив у цій галузі має базуватися, зазвичай, не на техніко-економічній оцінці поширених на сьогодні традиційних рішень, але виходячи з довгострокових перспективних інтересів та враховуючи наявні енерго-екологічні проблеми, які безперервно підсилюються, значення сонячних холодильних та кондиціонуючих систем має стати визначальним.

3. АНАЛІЗ АЛЬТЕРНАТИВНИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

3.1. Аналіз охолоджувачів традиційного типу та випарувально-парокомпресійоних охолоджувачів

Аналізуючи рівень викидів шкідливих речовин на виробництві, який базується на повному життєвому циклі матеріалів, можна побачити, що сукупні енерговитрати на виробництво матеріалів являються сумою енерговитрат на отримання, обробіток, підготовку та транспортування відповідних матеріалів. А отже, задля виконання аналізу слід знати види та маси матеріалів, із яких саме й виготовлена система. У таблиці 3.1 наведені дані структури матеріальних витрат на створення 2-ох таких установок СКП, маси матеріалів, й так само потужності компресора, вентилятора та водяного насоса.

У стадії виробництва СКП враховують вплив слідуючих процесів: здобичі сировини (враховуючи здобич нафти та газу задля виробництва пластмас), металів, виробництва матеріалів (для прикладу, пластмас), виробництва різномунітних деталей СКП, їх збірки та транспортування. Також необхідно зазначити, що, за методологією LCA [3], до даної стадії включено й повторне використання металів. У такій моделі приймають, що 50 % сталі, 40 % мідь та 30 % алюмінію використовують з металобрухту (що відповідає середнім даними за повторного використання матеріалів у ЄС).

На рис. 3.1 та у табл. 3.1 - 3.3 наведені основні результати аналізу. При цьому розрахунок шкідливої дії здійснювався за використання бази даних програми SIMAPRO-6 за урахування витрат енергії на виготовлення установки за різних матеріалів (металів, пластиків) та на виробництво хладагента (R22). Рис. 3.1А ілюструє відносну дію на навколишнє середовище (зокрема на зміну клімату та виснаження ресурсів) у відсотках; на рис. 3.1Б наведена дія на

природне середовище обох СКП у еко-одинацях (Pt) (за урахування трьох категорій збитків – здоров'я людини, якість екосистеми та ресурси).

Таблиця 3.1

Категорії збитку	Шкідливий вплив на категорію збитку (normalisation)	Вагове значення категорії збитку (weighting)
Здоров'я людини	64	400
Якість екосистеми	$1.95 \cdot 10^{-04}$	400
Ресурси	$1.68 \cdot 10^{-04}$	200

Таблиця 3.2

Екологічна дія на зміну клімату (викиди парникових газів) на стадії виробництва традиційної та альтернативної СКП

№	Речовина	Традиційна СКП, DALY	Комбінована АСКВ СКП, DALY
1	Буган	$3.8337 \cdot 10^{-09}$	$3.8435 \cdot 10^{-09}$
2	Двоокис вуглецю	$1.2309 \cdot 10^{-04}$	$1.1192 \cdot 10^{-04}$
3	Окисел вуглецю	$1.8673 \cdot 10^{-06}$	$1.6695 \cdot 10^{-06}$
4	Хлороформ	$3.4032 \cdot 10^{-10}$	$2.7227 \cdot 10^{-10}$
5	Окисел динитрогена	$9.5554 \cdot 10^{-07}$	$8.4134 \cdot 10^{-07}$
6	Етан HFC-134a	$1.3974 \cdot 10^{-08}$	$1.2703 \cdot 10^{-08}$
7	Етан CFC-114	$4.0866 \cdot 10^{-08}$	$3.4346 \cdot 10^{-08}$
8	Етан, гексафлюоро- HFC-116	$1.0751 \cdot 10^{-06}$	$9.6799 \cdot 10^{-07}$
9	Метан	$4.4840 \cdot 10^{-06}$	$4.1906 \cdot 10^{-06}$
10	Метан, Halon 1211	$2.8427 \cdot 10^{-10}$	$2.5555 \cdot 10^{-10}$
11	Метан, хлородифлюоро- HCFC-22	$5.3213 \cdot 10^{-06}$	$4.2571 \cdot 10^{-06}$
12	Метан, хлоротрифлюоро- CFC-13	$2.8159 \cdot 10^{-10}$	$2.3577 \cdot 10^{-10}$
13	Метан, дихлоро- HCC-30	$6.4103 \cdot 10^{-11}$	$5.9334 \cdot 10^{-09}$
14	Метан, дихлородифлюоро- CFC-12	$2.0789 \cdot 10^{-10}$	$1.7444 \cdot 10^{-10}$
16	Метан, тетрафлюоро- FC-14	$6.7731 \cdot 10^{-06}$	$6.0983 \cdot 10^{-06}$
17	Метан, трихлорофлюоро- CFC-11	$1.4759 \cdot 10^{-10}$	$1.2358 \cdot 10^{-10}$
18	Метан, трифлюоро- HFC-23	$2.5470 \cdot 10^{-14}$	$2.2894 \cdot 10^{-14}$
19	Пропан	$4.3395 \cdot 10^{-09}$	$4.3285 \cdot 10^{-09}$
20	Сірководня гексафлюорид	$1.7994 \cdot 10^{-07}$	$1.6192 \cdot 10^{-07}$
	Всього	$1.4381 \cdot 10^{-04}$	$1.3018 \cdot 10^{-04}$

Таблиця 3.3

Екологічна дія від виснаження ресурсів на стадії виробництва традиційної та комбінованої СКП

1	Вугілля кам'яне	$1.75 \cdot 10^{02}$	$1.53 \cdot 10^{02}$
2	Вугілля буре	$4.41 \cdot 10^{01}$	$3.85 \cdot 10^{01}$
3	Природний газ	$3.13 \cdot 10^{02}$	$3.01 \cdot 10^{02}$
4	Сира нафта	$2.31 \cdot 10^{02}$	$2.31 \cdot 10^{02}$
5	Алюміній	$1.00 \cdot 10^{02}$	$9.00 \cdot 10^{01}$
6	Хром	$7.33 \cdot 10^{-02}$	$6.47 \cdot 10^{-02}$
7	Кіновар	$8.66 \cdot 10^{-04}$	$7.80 \cdot 10^{-04}$
8	Мідь	$1.28 \cdot 10^{03}$	$1.02 \cdot 10^{03}$
9	Залізо	6.23	5.53
10	Свинець	$3.42 \cdot 10^{-02}$	$2.87 \cdot 10^{-02}$
11	Марганець	$1.89 \cdot 10^{-03}$	$1.67 \cdot 10^{-03}$
12	Молібден	$2.39 \cdot 10^{-02}$	$2.15 \cdot 10^{-02}$
13	Нікель	$1.41 \cdot 10^{01}$	$1.26 \cdot 10^{01}$
14	Олово	$8.52 \cdot 10^{-02}$	$8.37 \cdot 10^{-02}$
15	Цинк	1.44	1.30
	Всього	$2.16 \cdot 10^{03}$	$1.85 \cdot 10^{03}$

З результатів аналізу наведених даних виходить, що стадії створення устаткування, за всіма трьома категоріями екологічної дії традиційна СКП дещо поступається альтернативній. Такий висновок у даному випадку достатньо важливий, так як альтернативні системи (чи процеси), які часто розробляються, вимагають досить великих витрат (й надають більшу екологічну дію), у порівнянні з традиційними на стадії їх виробництва. Однак, робити висновки про перспективні застосування альтернативної СКП тільки у наслідок аналізу першої

стадії не можна, при цьому важливо розглянути також повний життєвий цикл системи.

На стадії експлуатації СКП враховують енергоспоживання системи (за урахування структури виробництва електроенергії у нашій країні: теплові електростанції – 49 %, атомні – 43% та гідроенергетика – 8%) та витоків хладагенту (прийmemo виток хладагента 3% від його загальної маси у рік для кожної СКП). Споживання електроенергії при цьому компресором, вентилятором та водяним насосом за весь час експлуатації СКП визначено за використання термодинамічних обчислень за урахування профілю навантаження за добу (за обчислення величини такого навантаження передбачено, що добова продуктивність СКП – 20% у робочому режимі [3]).

Визначаючи коефіцієнт навантаження (load factor, LF) СКП для кожного місяця та кожної години доби прийняті такі допущення:

- коефіцієнт добового навантаження СКП пропорційний різниці між добовою температурою навколишнього повітря за сухим термометром та температурою повітря у кондиціонуючому приміщенні;
- при досягненні добової температури розрахункового значення, коефіцієнт навантаження СКП приймають рівним 100% (розрахункова температура - така температура навколишнього середовища, за якої СКП має бути спроектована таким чином, щоб забезпечувати при цьому комфортний режим у кондиціонуючому приміщенні у будь-який час [3]).

Враховуючи усі прийняті допущення, значення споживаної СКП потужності:

$$N = Q_0 \cdot LF / \text{COP} , \quad (3.1)$$

де: Q_0 – встановлена холодопродуктивність; COP – К.К.Д (coefficient of performance) для кожної СКП (Q_0 та COP відповідають даним табл. 3.2 задля кожної з порівнюваних СКП); LF – коефіцієнт навантаження СКП (load factor, LF), обчислюють наступним чином [3]:

$$LF = \left[\left(t_{\max}^{\text{oc}} - t_{\min}^{\text{кмф}} \right) / \left(t_{\text{расч}} - t_{\min}^{\text{кмф}} \right) \right] \cdot \left(LP_{\text{расч}} - LP_{\min} \right) + LP_{\min}, \quad (3.2)$$

де $t_{\max}^{\text{oc}}$ – температура навколишнього середовища за добу; $t_{\min}^{\text{кмф}}$ – робоча температура; $t_{\text{расч}}$ – розрахункова температура; LP_t – значення стандартного профілю (або характеру) навантаження СКП за годину; $LP_{\min}$ – значення стандартного профілю (або характеру) навантаження СКП (прийнято 20%).

Враховуючи вирази (3.1 - 3.2), й також дані за кліматичними умовами протягом року, встановлену холодопродуктивність задля кожної СКП, й приймаючи, що середня тривалість експлуатації даних СКП приблизно однакова та рівна 10 рокам, отримане наступного значення енергоспоживання за увесь період експлуатації: $W = 45692$ МДж (для комбінованих СКП на основі НВО/ХМ) та $W = 70925$ МДж (для традиційної СКП).

Враховуючи отримані дані за енергоспоживанням та за урахування рівня витоків хладагента, отримані результати аналізу задля періоду експлуатації, вони наведені на рис. 3.2А та у табл. 3.4 і 3.5. За виконання аналізу не враховували внесок, який пов'язаний з технічним обслуговуванням обох СКП.

Виходячи з результатів аналізу періоду експлуатації СКП за всіма трьома категоріями екологічної дії традиційна СКП також дещо поступається альтернативній. При чому різниця ще істотніша, ніж для періоду виробництва таких систем.

Таблиця 3.4

Екологічна дія на зміну клімату (емісія парникових газів) за період експлуатації звичайної та комбінованої СКП

№	Речовина	Традиційна СКП, DALY	Комбінована СКП, DALY
1	Бутан	$4.0065 \cdot 10^{-08}$	$2.5810 \cdot 10^{-08}$
2	Двоокис вуглецю	$1.3220 \cdot 10^{-03}$	$8.5164 \cdot 10^{-04}$
3	Окисел вуглецю	$8.2275 \cdot 10^{-07}$	$5.3008 \cdot 10^{-07}$
4	Хлороформ	$7.0834 \cdot 10^{-14}$	$4.5667 \cdot 10^{-14}$
5	Окисел динитрогена	$6.8197 \cdot 10^{-06}$	$4.3933 \cdot 10^{-06}$
6	Етан HFC-134a	$1.2272 \cdot 10^{-09}$	$7.9055 \cdot 10^{-10}$
7	Етан CFC-114	$5.1770 \cdot 10^{-06}$	$3.3422 \cdot 10^{-06}$

№	Речовина	Традиційна СКП, DALY	Комбінована СКП, DALY
8	Етан, гексафлюоро- HFC-116	$2.1099 \cdot 10^{-08}$	$1.3605 \cdot 10^{-08}$
9	Метан	$1.0227 \cdot 10^{-04}$	$6.5884 \cdot 10^{-05}$
10	Метан, бромохлородифлюоро-, Halon 1211	$4.6300 \cdot 10^{-11}$	$2.9825 \cdot 10^{-11}$
11	Метан, хлородифлюоро- HCFC-22	$1.5645 \cdot 10^{-09}$	$1.0097 \cdot 10^{-09}$
12	Метан, хлоротрифлюоро- CFC-13	$8.6252 \cdot 10^{-09}$	$5.5680 \cdot 10^{-09}$
13	Метан, дихлоро- HCC-30	$9.1829 \cdot 10^{-12}$	$5.9171 \cdot 10^{-12}$
14	Метан, дихлородифлюоро- CFC-12	$6.1669 \cdot 10^{-09}$	$3.9810 \cdot 10^{-09}$
15	Метан, дихлорофлюоро- HCFC-21	$1.6973 \cdot 10^{-09}$	$1.0938 \cdot 10^{-09}$
16	Метан, тетрафлюоро- FC-14	$1.3263 \cdot 10^{-07}$	$8.5528 \cdot 10^{-08}$
17	Метан, трихлорофлюоро- CFC-11	$4.5195 \cdot 10^{-09}$	$2.9176 \cdot 10^{-09}$
18	Метан, трифлюоро- HFC-23	$8.4679 \cdot 10^{-15}$	$5.4547 \cdot 10^{-15}$
19	Пропан	$6.5215 \cdot 10^{-08}$	$4.2011 \cdot 10^{-08}$
20	Сірководня гексафлюорид	$2.0330 \cdot 10^{-08}$	$1.3096 \cdot 10^{-08}$
	Всього	$1.4374 \cdot 10^{-03}$	$9.2598 \cdot 10^{-04}$

Таблиця 3.5.

Екологічна дія на виснаження ресурсів за період експлуатації традиційної та комбінованої СКП

№	Речовина	Традиційна СКП (МДж)	Комбінована СКП (МДж)
1	Вугілля кам'яне	$3.14 \cdot 10^{03}$	$2.02 \cdot 10^{03}$
3	Вугілля буре	4.82	3.11
5	Природний газ	$3.05 \cdot 10^{03}$	$1.97 \cdot 10^{03}$
6	Сира нафта	$1.27 \cdot 10^{03}$	$8.19 \cdot 10^{02}$
1	Алюміній	$5.35 \cdot 10^{-01}$	$3.45 \cdot 10^{-01}$
2	Хром	$1.53 \cdot 10^{-01}$	$9.87 \cdot 10^{-02}$
4	Кіновар	$3.81 \cdot 10^{-05}$	$2.46 \cdot 10^{-05}$
5	Мідь	6.75	4.35
6	Залізо	1.41	$9.10 \cdot 10^{-01}$
7	Свинець	$4.36 \cdot 10^{-02}$	$2.81 \cdot 10^{-02}$
8	Марганець	$8.78 \cdot 10^{-03}$	$5.66 \cdot 10^{-03}$
10	Молібден	$1.44 \cdot 10^{-02}$	$9.26 \cdot 10^{-03}$
11	Нікель	3.39	2.19
12	Олово	$6.13 \cdot 10^{-02}$	$3.95 \cdot 10^{-02}$
13	Цинк	$5.43 \cdot 10^{-02}$	$3.50 \cdot 10^{-02}$
	Всього	$7.48 \cdot 10^{03}$	$4.82 \cdot 10^{03}$

Мається на увазі, що після закінчення терміну експлуатації СКП демонтують та відправляють на утилізацію. Металеві деталі відправляють на повторне використання, хладагент під тиском витягують та транспортують на утилізацію (для прикладу, його руйнують піролізом, отримуючи у якості

кінцевого продукту речовини, які містять аргон, діоксид вуглецю та водяну пару). За оцінки впливу такої стадії на загальну екологічну дію враховують також транспортування (на відстань 100 км для металобрухту та 300 км для хладагента, - це усереднені параметри, які прийняті для ЄС). Результати екологічної оцінки для періоду утилізації наведені на рис. 3.2Б та у табл. 3.6. Аналізуючи наведені результати, переваги зберігаються й також за альтернативною системою.

Таблиця 3.6.

№	СКП	Зміна клімату, DALY	Виснаження ресурсів, МДж
1	Традиційна	$2.17 \cdot 10^{-06}$	6.87
2	Комбінована	$1.94 \cdot 10^{-06}$	6.24

Задля об'єктивної оцінки та остаточних висновків по перспективах застосування альтернативних систем необхідно оцінити також екологічну дію за повний життєвий цикл. Такі дані по загальній екологічній дії для обох СКП наведена на рис. 3.2Б та у табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Дія на навколишнє середовище за повний життєвий цикл для традиційної та комбінованої систем кондиціонування повітря

№	СКП	Зміна клімату (DALY)	Виснаження ресурсів (МДж)	Загальна дія (еко-одиниці)
1	Комбінована	$1.057 \cdot 10^{-03}$	$6.527 \cdot 10^{03}$	$3.327 \cdot 10^{02}$
2	Традиційна	$1.583 \cdot 10^{-03}$	$9.489 \cdot 10^{03}$	$4.827 \cdot 10^{02}$

Підсумовуючи виконаний екологічний аналіз традиційної та альтернативної систем кондиціонування повітря можна зробити висновок про перевагу запропонованої. Як виходить з виконаних досліджень, випарно-

парокомпресійна система має істотно меншу шкідливу дію на навколишнє середовище, ніж традиційна за всіма трьома порівнюваними категоріями.

Альтернативна система АСКВ призводить до меншого виснаження природних ресурсів (у т.ч. й енергоресурсів), це говорить про її більшу енергетичну ефективність та вносить менший внесок у глобальну зміну клімату. Велика енергоефективність та низький внесок у глобальне потепління безпосередньо зв'язані одна з одною, оскільки найбільший внесок у зміну клімату щкодять викиди CO_2 від споживаної електроенергії. Саме тому вибір альтернативного устаткування за двома аналізованими критеріями (вплив на виснаження природних ресурсів та внесок у глобальне потепління) має сприяти реалізації закону нашої держави про енергозбереження, який спрямований на зниження емісії парникових газів. Для традиційної системи загальна екологічна дія так само більша, чим для альтернативної, а це також підтверджує переваги останньої.

Окрім того, отримані результати свідчають, що найбільша дія на навколишнє середовище відбувається під час експлуатації системи. При цьому найбільший вплив у цей період зв'язаний з енергоспоживанням СКП. При цьому загальна екологічна дія за цей період задля альтернативної системи складає усього 65% від такої ж дії задля традиційної.

Внесок у загальну екологічну дію на періоді виробництва системи складає біля 20% від внеску за уесь життєвий цикл, а внесок періоду утилізації у даному випадку досить незначний – біля 0,1%.

З допомогою екологічного аналізу повного життєвого циклу системи можна оцінити, які саме періоди даної системи надають най більшу або найменшу екологічну дію. Задля об'єктивної оцінки крім екологічних критеріїв при виборі альтернативного устаткування мають визначатися так само й техніко-економічні показники.

3.2. Порівняльний аналіз сонячних систем тепло- та холодопостачання

Застосування методу LCA на прикладі проектування та виробництва сонячних систем теплопостачання (порівняльний аналіз сонячних колекторів СК традиційного та нового типів).

Пласкі сонячні колектори (СК) являють собою основні елементи систем теплопостачання та альтернативних холодильних систем. Наведемо порівняння трьох типів розроблених СК– традиційного (з абсорбером з кольорових металів, СК-А), перехідного (з метало-полімерним абсорбером, СК-М) та полімерного СК (з абсорбером, виготовленим повністю з полімерних матеріалів, СК-П). Метод LCA використовують у якості інструменту задля вибору напрямку розробок й може бути використаний задля визначення часу повернення енергії, яка витрачається на виробництво та установку СК.

У моделі LCA при цьому була врахована повна використана енергія та викиди, зв'язані з виробництвом, перевезенням та отриманням 1 кг матеріалу. Усі стадії життєвого циклу СК включені до моделі й оцінені. Виділяють наступні головні відмінності між трьома типами колекторів:

паспортний термін служби (15 років для традиційного та 10 років для перехідного чи полімерного СК);

кількість енергії, витраченої протягом паспортного терміну експлуатації та середня робоча температура за гарячою водою, яка досягається у кожному колекторі (близько 62° С для традиційного та 58° С для перехідного й полімерного СК відносно кліматичних умов нашої країни у липні місяці).

A

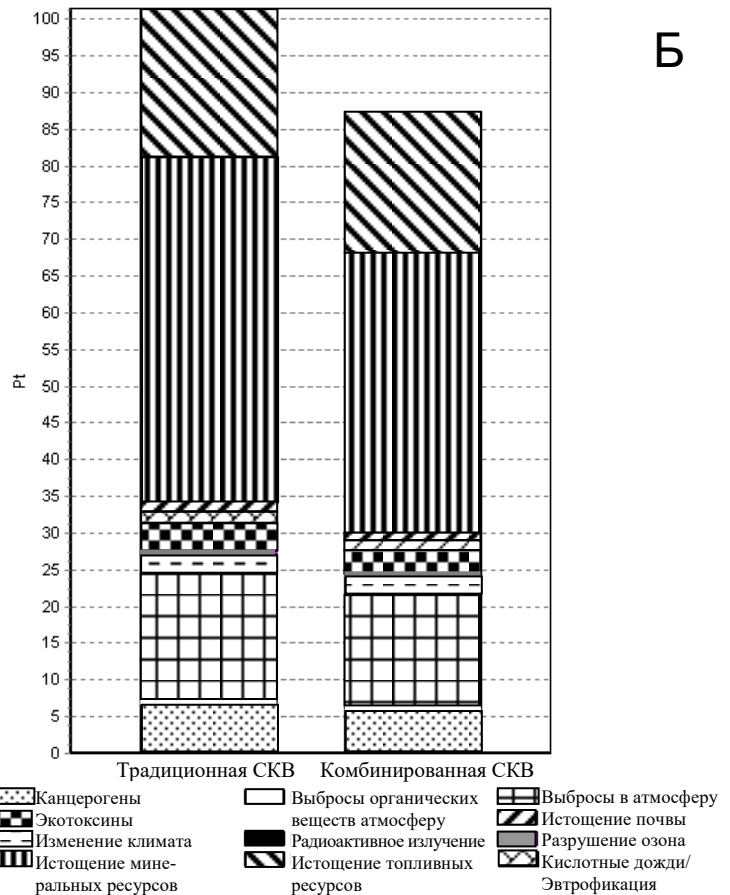
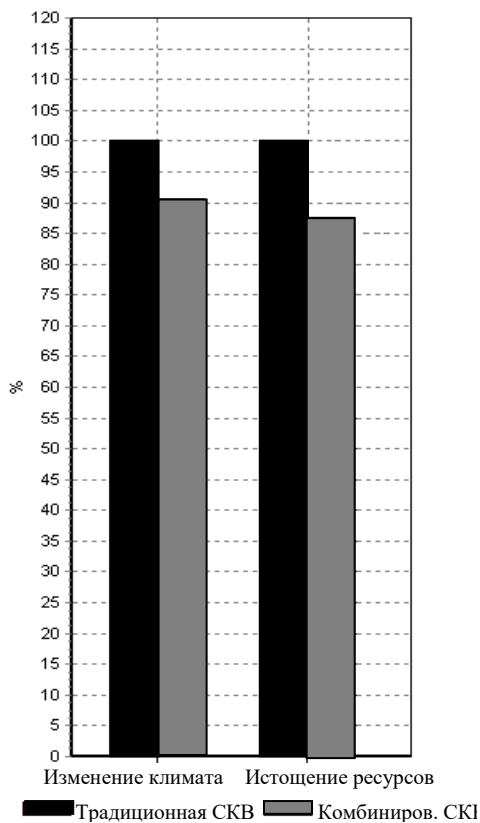
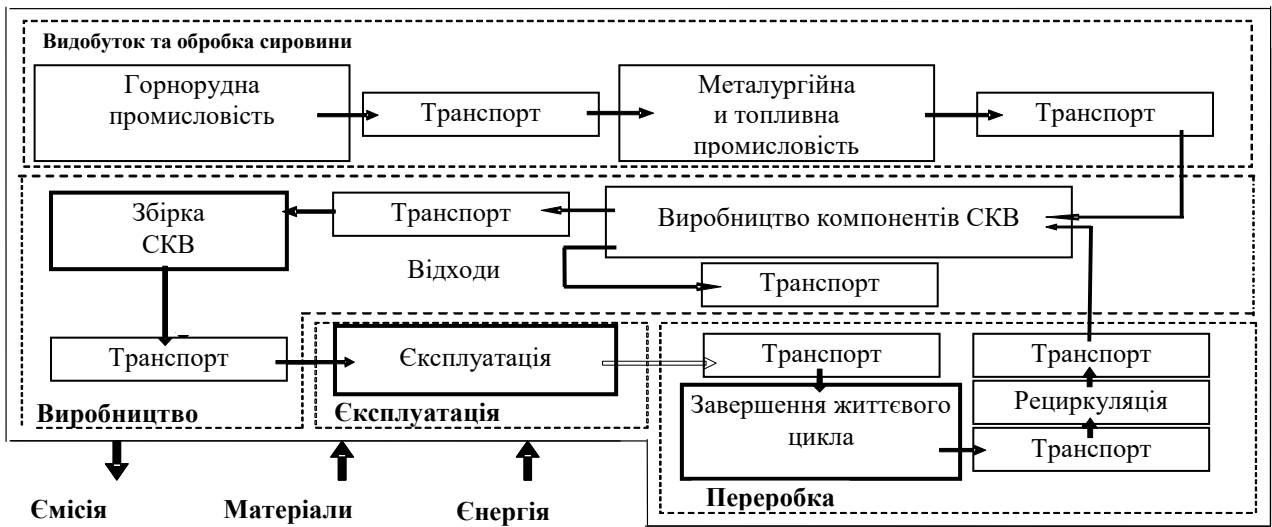


Рис 3.1. А – Спрощена діаграма потоків, що визначає межі розглядаємої за повний життєвий цикл системи кондиціонування повітря; Б – порівняння екологічного впливу стадії виробництва для традиційної та комбінованої СКВ (холодопродуктивність $Q_0 = 16.5$ кВт)

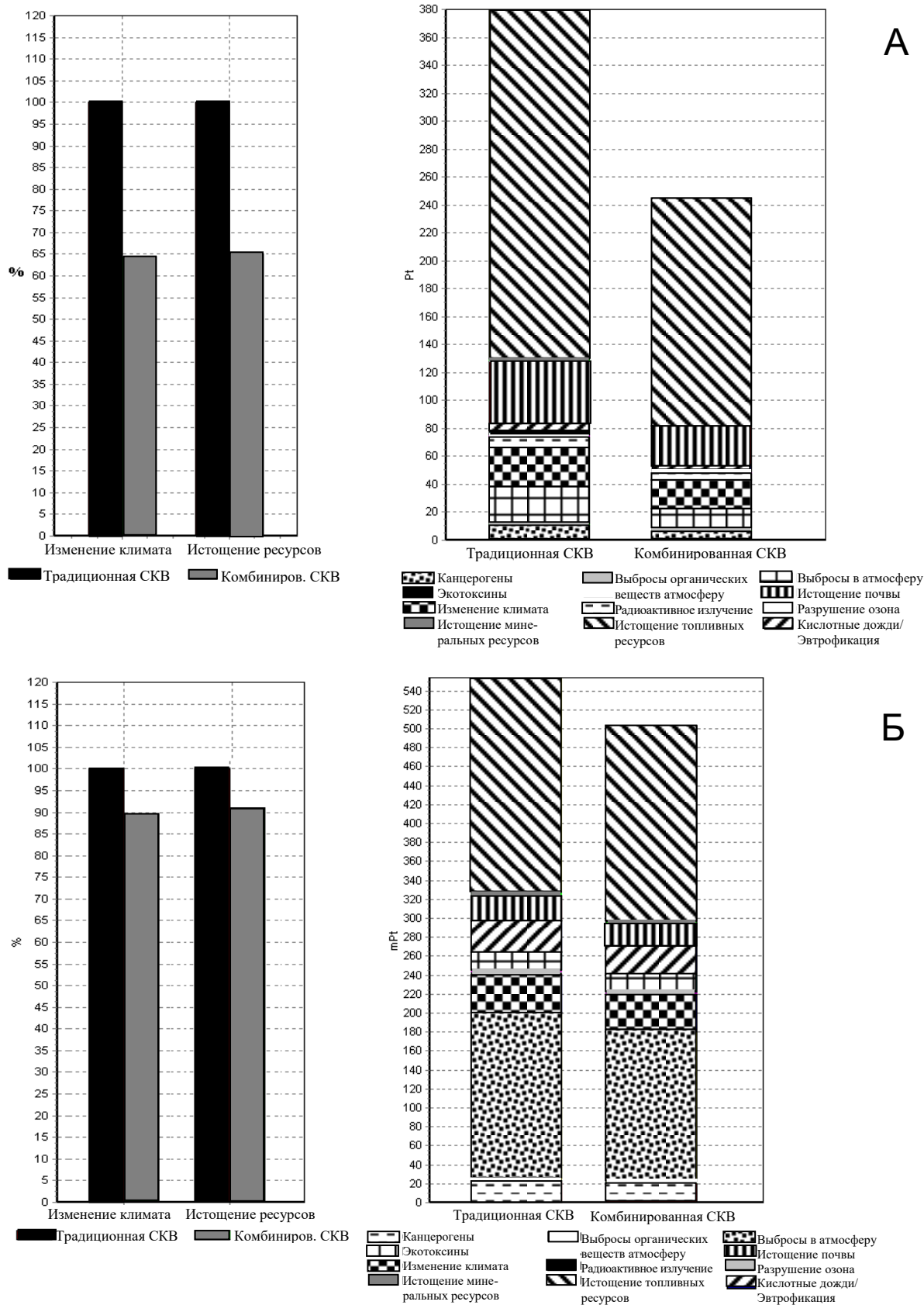


Рис 3.2. Порівняння екологічного впливу в період експлуатації (А); утилізації та рециркуляції (Б) традиційної та комбінованої СКВ (холодопродуктивність $Q_0=16.5$ кВт)

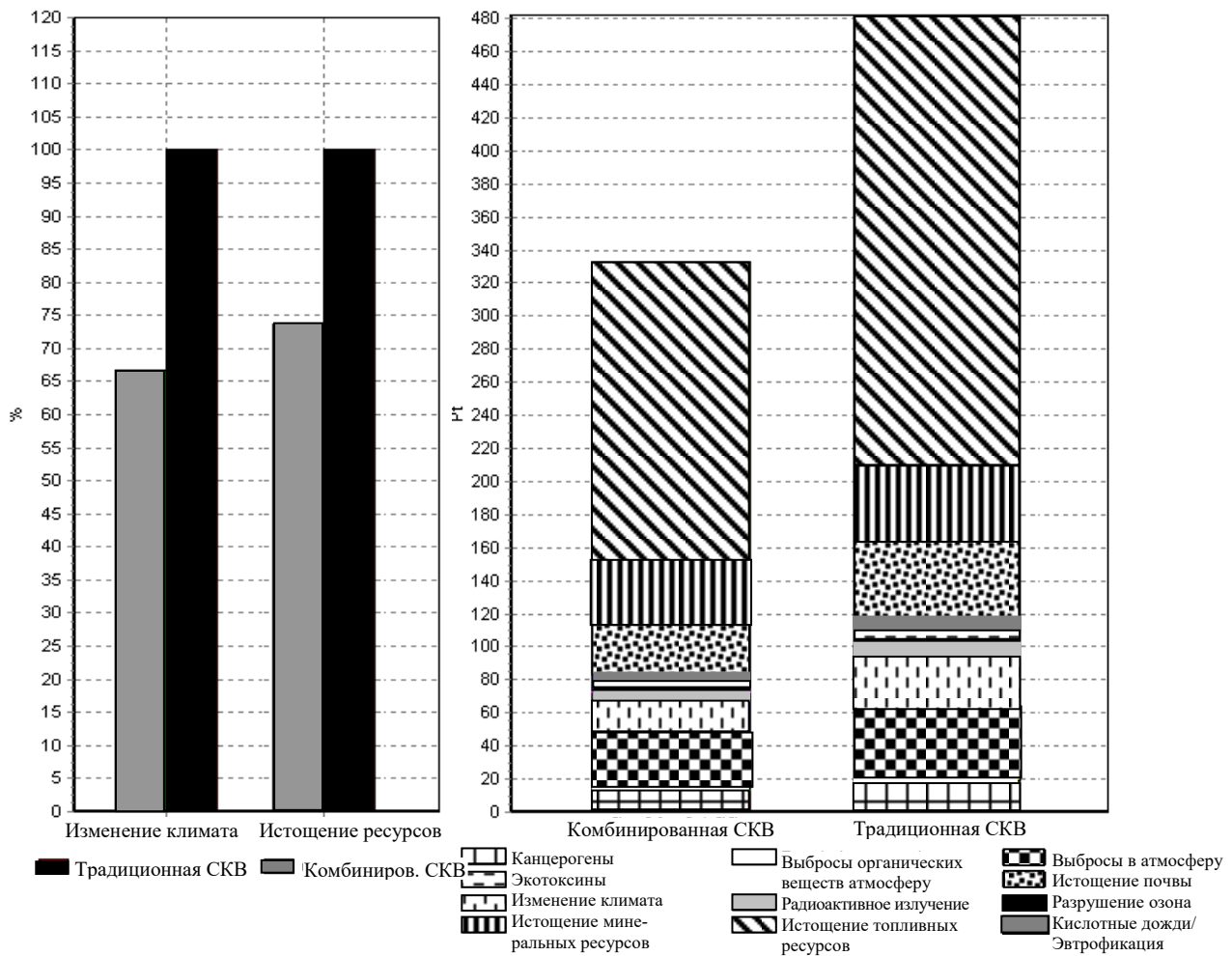


Рис 3.3. Порівняння екологічного впливу повного життєвого циклу двох порівнюваних, традиційної та комбінованої, систем кондиціонування повітря (холодопродуктивність $Q_0=16.5$ кВт)

Основний критерій для порівняння – 1 ГДж тепла, що акумульований колектором. Кількість енергії, яка проведена колектором протягом терміну експлуатації:

$$W = \alpha \cdot [E + \phi(Q - E)] \cdot \tau \quad (3.3)$$

де: E – енергія теплоти Q , акумульована колектором за добу, кДж; $\phi = 0.12$ – константа, для ідеального нагрівачого пристрою; τ – кількість років експлуатації.

$$\alpha = 31/0.28 = 110.7, \quad (3.4)$$

де: 31 - кількість днів у липні; 0.28 - частина річного тепла, акумульованого колектором у липні. енергія E , яка може бути представлена як робота, отримана у ідеальному тепловому циклі:

$$E = (1 - T_0/T) \cdot Q \quad (3.5)$$

де: T – температура гарячої води $^{\circ}\text{C}$; T_0 – температура навколишнього середовища ($T_0 = 22^{\circ}\text{C}$ для липня). Враховуючи наступні дані: $T_t = 63^{\circ}\text{C}$; $T_{п-п} = 58^{\circ}\text{C}$; $Q_t = 13.5$ МДж/день; $Q_{п-п} = 12.1$ МДж/день; $\tau_t = 15$ років; $\tau_{п-п} = 10$ років (де нижні індекси «т» та «п-п» – визначають для традиційного та полімерного-перехідного сонячних колекторів, відповідно) та вирази (3.3 – 3.5), отримуємо, що енергія, що проведена звичайним (традиційним) та полімерним (перехідним металополімерним чи повністю полімерним) типами СК за термін експлуатації складе: $W_t = 5.097$ ГДж і $W_{п-п} = 2.889$ ГДж, відповідно. Збір даних за складовими частинами життєвого циклу виробу включає також визначення кількості вхідних потоків матеріалів та енергії, зв'язаних з даним продуктом системи, які виходять.

Прийняті до уваги усі дев'ять типів дії на навколишнє середовище. Два види дії за методом Eco-indicator 95 були виключені: внеском пестицидів нехтуватимемо протягом всього циклу життя СК; внеском у емісію канцерогенних речовин також у порівнянні з іншими викидами (наприклад, спалювання, закопування сміття, виробництво енергії) та має бути уточнений, для поліпшення надійності даних за впливом подібного виду дії. Задля визначення, який саме з трьох досліджуваних типів СК найбільш екологічно безпечний, кількісно порівнювали їх екологічні профілі. Під час розрахунку проводилося й визначення впливу процентної рециркуляції матеріалів виробів. На стадії знищення матеріалів також споживається енергії. Задля більшості матеріалів така енергія та викиди збільшуються протягом розбирання виробу та

перевезення матеріалів й при переробці або знищенні, однак, велика частина матеріалів при цьому може бути перероблена.

Модель LCA використовували задля оцінки екологічного впливу трьох різних СК, при цьому було зроблене припущення про те, що 50 % алюмінію і 70 % скла згодом переробляють, а 50 % пластика спалюють задля виробництва електроенергії. Розрахунок загальної енергії кожного колектора за час експлуатації використовували задля розрахунку зниження викидів парникових газів ПГ задля усіх типів порівнюваних СК (площа теплоприймача для усіх типів порівнюваних СК складала 1.25 кв.м). Загальна кількість матеріалів задля виробництва кожного колектора наведена у табл.. 3.8.

Таблиця 3. 8. Матеріали для порівнюваних типів колекторів

№	Деталі сонячного колектора	Матеріал (вага, кг)		
		традиційний тип СК-А 1.25	Перехідної тип СК-м 1.25	Полімерний Тип СК-П 1.25
1	Корпус	Al (5.5 кг)	Al (1.2 кг)	Al (1.2 кг)
2	Дно	Al (2.5 кг)	Al (2.5 кг)	ПК (PC) (0.6 кг)
3	Абсорбер (теплоприемник)	Al (8.0 кг)	Cu (6.5 кг)	ПК (PC) (2.5 кг)
4	Гідравлічний колектор	Al (2.5 кг)	Cu (1.6 кг)	ПВХ (PVC) (1.2 кг)
5	Прозоре покриття	СТ (4.0 кг)	ПК (PC) (1.4 кг)	ПК (PC) (1.4 кг)
6	Теплова ізоляція	ПП (PPU) (0.5 кг)	ПП (PPU) (0.5 кг)	ПП (PPU) (0.5 кг)
7	Загальна вага	23.0 (кг)	13.7 (кг)	7.4 (кг)

Позначення: СТ – скло; ПК – полікарбонат; СВ – скловата; ПП – пінопласт; ПВХ – полівінілхлорид; ФМ – флоумейт (floomate).

Отримані результати свідчать, що екологічний вплив полімерного колектора у більшості категорій набагато менше, ніж для звичайного колектора, за винятком двох категорій: важкі метали та тверді відходи, тут екологічний вплив полімерного колектора більше, чим традиційного. СК перехідного типу, з частковим використанням полімерних матеріалів, по всіх розглянутих показниках займає проміжне положення між традиційним та полімерним типом СК.

Методологія LCA дозволяє оцінювати час повернення спожитої за виробництві енергії для трьох колекторів. така величина складає 55.2% (8.3

роки), 48.7% (6.1 роки) та 38.3% (3.8 роки) задля традиційного, перехідного та полімерного типів СК відповідно. Був також проведений розрахунок за рециркуляції 80% матеріалів. Аналіз свідчить, що такий чинник істотно впливає на дію виробу на навколишнє середовище й у результаті - на терміни повернення енергії (1.8 раз). Полімерний СК при цьому має істотну перевагу за величиною дії на навколишнє середовище за перерахунку на 1 ГДж енергії, яка виробляється. Термін повернення енергії задля різних типів СК істотно при цьому залежить від матеріалів, які використовуються у СК. Різний сценарій рециркуляції (тобто стадії переробки відходів) істотно впливає на навколишнє середовище.

Аналіз сонячних колекторів-регенераторів СК-Р традиційного та нового типів.

Відносно альтернативних систем за прямої регенерації абсорбентну модель LCA використовують задля оцінки екологічного впливу двох типів повітряних СК, задля оцінки викидів, що вони роблять у процесі свого повного життєвого циклу. При цьому розрахунок загальної виробленої енергії кожним колектором під час експлуатації у складі АСКВ використовували задля розрахунку зниження викидів ПГ для обох колекторів.

У результаті застосування методології LCA до аналізу порівнюваних СК бачимо, що екологічний вплив полімерного колектора за більшістю категорій суттєво менший, чим для звичайного колектора, за виключенням двох категорій: важкі метали та тверді відходи, тут екологічний вплив полімерного колектора більший, чим звичайного колектора. Методологія LCA також дозволяє оцінювати час повернення спожитої за виробництва енергії задля порівнюваних колекторів. Така величина складе 55.2% (8.3 роки), та 38.3% (3.8 роки) задля традиційного та полімерного типів СК-Р, відповідно.

Так як альтернативні системи (осушно-випарні охолоджувачі) АСКВ та АХС ґрунтуються на використанні відкритого циклу абсорбції та при цьому відрізняються тільки типом використаних у складі ГС сонячних колекторів, й, так як геліосистема ГС являється найбільш об'ємною та дорогою частиною

альтернативних систем, тому екологічний аналіз АСКВ та АХС може обмежуватися тільки аналізом вхідних у їх склад систем сонячного нагріву води задля забезпечення регенерації абсорбенту, чи комбінованих систем нагріву, які включають часткове використання сонячної енергії.

ВИСНОВКИ

Взаємопов'язані проблеми енергетики та екології, які дедалі поглиблюються, висувають більші вимоги до холодильних систем та систем комфортної технологічного кондиціонування повітря, у першу чергу, зниження енерговитрат та антропогенної дії на навколишнє середовище; до перспективних та довгострокових рішень у цьому напрямку відносяться створення альтернативних систем на базі нетрадиційних джерел енергії та випарних методів охолодження середовищ.

Випарне охолодження ефективно в умовах сухого та жаркого клімату (при вологовмісті зовнішнього повітря близько $< 12\text{--}14\text{г/кг}$); особливий інтерес являють випарні охолоджувачі непрямого типу НВО, у яких охолодження повітря відбувається без прямого контакту з водою; також перспективне створення багатоступінчастих та комбінованих ВО, які дозволяють істотно знизити рівень охолодження, який досягається.

З метою створення сонячних холодильних та кондиціонуючих систем перспективним вважається відкритий цикл абсорбції за використання сонячної енергії задля регенерації сорбенту; переважною галуззю практичного використання подібних систем є саме кондиціонування повітря

АСКВ, яка заснована на осушно-випарному циклі, при цьому здатна забезпечувати отримання комфортних параметрів повітря задля будь-яких кліматичних умов; у порівнянні з традиційними парокомпресійними системами, АСКВ при цьому забезпечує зниження енерговитрат (30–60%); сонячна АХС здатна при цьому забезпечувати температуру охолодженої води у діапазоні 8.5–11 °С, а необхідна температура гріючого джерела при цьому складе 85–122 °С.

ЛІТЕРАТУРА

1. Балан Г.П. Теоретичні основи електротехніки / Г.П. Балан, П.О. Кравченко, Ю.Ф. Свергун, О.Є. Щербаков. – К.: Інтас, 2007. – 325 с.
2. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : Підручник / М. С. Будіщев. – Львів : Афіша, 2001. – 424 с
3. Дорошенко В. М. Економічний потенціал енергозбереження: сутність, структура та методи оцінки [Текст] / В. М. Дорошенко // Формування ринкових відносин в Україні. – 2019. – № 2. – С. 88-94.
4. Дорошенко А. В. Энергия солнца: технологии ее использования. К.:ЭСТА, 2001, 404с.
5. Лазарєва О. В. Розвиток екологічної складової сталого розвитку економіки України [Текст] / О. В. Лазарєва, В. А. Рощенко // Інвестиції : практика та досвід. – 2019. – № 8. – С. 19-22.
6. Варламова Г. Б., Любчик Г.М., Маляренко В.А. Теплоенергетика та екологія: Підручник. – Х.: Вид-во САГА, 2018. – 234 с.
7. ДСТУ ІЕС 60050-604:2004. Словник електротехнічних термінів. Частина 604. Виробляння, передавання та розподіляння електричної енергії. Експлуатація електротехнічних установок. Енергозбереження та пом'якшення змін клімату.
8. Енергозберігаючі будівлі та споруди: Навч. посіб. Ч. 2 / І. Н. Дудар, Т. Е. Потапова; Вінниц. нац. техн. ун-т. — Вінниця, 2006. — 169 с. — Бібліогр.: с. 151- 152. — укр.
9. Маляренко В.А. Энергетика і навколишнє середовище. Х.: Вид-во САГА, 2018. – 364 с.
10. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії: Навчал. посібник / О.І. Соловей, Ю.А. Лега, В.П. Розен, О.О. Ситник, А.В. Чернявський, Г.В. Курбаса. – Черкаси: ЧДТУ, 2017. – 483 с.
11. Михайлов В.С. Теория управления / В.С. Михайлов - Киев: Вища школа, 1988.

12. Романюк О.Н., Савчук Т. О. Організація баз даних і знань: Навч. посібник / Мін-во освіти і науки України. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. — 217 с.
13. Созонник Г.Д. Цифровые системы управления. / Г.Д. Созонник, В.К. Стеклов. — К.:Техніка, 1991. — 191 с.
14. Томашевский В. М. Моделювання систем / В. М. Томашевский. — К.: Видавнича група ВНУ, 2005. — 352 с.
15. Холодильні установки: У 2-х кн. Підручник/І.Г.Чумак, В.П.Чепурненко та ін. — К.:Либідь, 1995.