

Автореферат М
М 86

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ

УДК 621.57.536
621.396.6

Мохамед Абдулла Ахмед Аль-Сагаф

**Розробка та дослідження систем
кондиціонування повітря для житлових приміщень
історичних будинків міста Шибам
(Ваді Хадрамаут, Ємен)**

Спеціальність: 05.04.03 холодильна та кріогенна техніка,
системи кондиціонування.

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Одеса 1998 р.

Автореферат є рукопис

Роботу виконано в Одеській державній академії холоду Міністерства освіти України та науково-виробничій фірмі "Нові технології" Міністерства АПК України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Чумак Ігор Григорович
ректор ОДАХ.

Офіційні опоненти:

- Доктор технічних наук, професор Загоройко Василь Онисимович, Одеський державний морський університет, професор кафедри суднового енергетичного устаткування та технічної експлуатації флоту;
- кандидат технічних наук, професор Оніщенко Володимир Петрович, Одеська державна академія холоду, завідувач кафедри інженерної теплофізики.

Провідна організація: Одеський державний політехнічний університет Міністерства освіти України.

Захист відбудеться " 11 " 05 1998 р. у 11 годин на засіданні спеціалізованої Ради Д41.087.01 при Одеській державній академії холоду за адресою: 270026 м. Одеса, вул. Дворянська, 1/3.

Для ознайомлення можна ознайомитися у бібліотеці ОДАХ.

Заявлено " 2 " 04 1998 р.

Р.К. Нікульшин

XV 1154
ІНСТИТУТ ХОЛОДУ
ОНАХТ
Бібліотека

1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Відзначене в світі посилення взаємозв'язаних екологічних та енергетичних проблем та вимог до вибору холодоносіїв зумовили активний інтерес у науці та інженерії до можливостей застосування методів випарного охолодження при створенні альтернативних систем кондиціонування повітря (АСКП). Використання комбінованих випарних водо- і повітроохолоджувачів, що включають ступені непрямо-випарного і прямого випарного охолодження середовищ, перспективне: дослідження, виконані в ОДАХ (Україна), Watt, Lowenstein A., Foster R.E. (USA), Steimle F. (Germany) та ін. Такі рішення забезпечують, крім комфортних параметрів, зниження відносної вологості усередині приміщень та зменшення енерговитрат при екологічній чистоті. Стосовно кліматичних умов і особливостей будівельних матеріалів історичних будинків міста Шибам (Ємен, Ваді Хадрамаут), що перебуває під захистом ЮНЕСКО, потрібно при створенні АСКП забезпечити тривкість, міцність матеріалів та огорожих конструкцій; небажані скільки-небудь значні будівельні доробки при установленні АСКП. Робота присвячена теоретичному обґрунтуванню та інженерному конструюванню АСКП на основі комбінованих випарних охолоджувачів для історичних будинків міста Шибам з урахуванням результатів вивчення теплофізичних властивостей місцевих будівельних матеріалів /проблема волого- та теплостійкості огорож/. Комплексне вивчення умов та можливостей застосування АСКП з урахуванням особливостей клімату, матеріалів та конструкцій історичних будинків міста Шибам проведено вперше. Щодо АСКП робота базується на результатах раніше виконаних досліджень в ОДАХ (Чумак І.Г., Дорошенко О.В., Кириллов В.Х.).

Мета дослідження полягає в розробці нових схемних рішень комбінованих водо- та повітроохолоджувачів для АСКП, у вивченні теплофізичних властивостей місцевих будівельних матеріалів, розробці наукових основ розрахунку та конструювання елементів АСКП та створення базових рішень для альтернативних кондиціонерів стосовно особливостей клімату і місцевих будівельних матеріалів міста Шибам.

Наукові положення, які захищає автор:

1. При розрахунку вологісного стану огорожих конструкцій, що складаються з саманних матеріалів, при $\Delta\phi = (\phi_{\text{в}} - \phi_{\text{с}}) < 15 \pm 20\%$ можна прийняти $\mu = \text{const}$ й інженерну методику з лінійним розподілом парціального тиску пари в порах матеріалу в кожному шарі огорож; при $\Delta\phi > 20\%$ необхідно враховувати нелінійну залежність $\mu = f(\phi)$.
2. Принципове рішення комбінованих випарних водо- та повітроохолоджувачів для АСКП, що призначені для умов жаркого та сухого клімату, має включати непрямо-випарний охолоджувач як перший та прямий випарний охолоджувач або градирню як другий ступінь, і систему регенеративних теплообмінників на повітряних потоках.

Наукову новизну дослідження складають:

- методика та результати експериментального дослідження теплофізичних властивостей місцевих будівельних матеріалів;
- результати теоретичних досліджень тепло- та вологостійкості багатошарових огорожих конструкцій з саманних матеріалів;
- методика та результати дослідження процесів тепломасопереносу в основних елементах комбінованих випарних водо- та повітроохолоджувачів;
- експериментальні результати, здобуті при дослідженні випарних охолоджувачів та поперечноточних плівкових градирень;
- нові рішення комбінованих водо- та повітроохолоджувачів, що розроблені з урахуванням особливостей клімату та теплофізичних властивостей будівельних матеріалів історичних будівель міста Шибам (Ваді Хадрамаут, Ємен).

Практична цінність:

розроблені методи розрахунку тепло- та вологостійкості місцевих будівельних матеріалів; розроблені АСКП на основі комбінованих випарних водо- (НВО/ВО) та повітроохолоджувачів (НВО/ГР) для історичних будівель міста Шибам.

Публікації: за темою дисертації опубліковано 5 статей.

Структура та обсяг дисертації: робота складається зі вступу, чотирьох глав, висновків, списку виконаних джерел, додатка та містить 173 сторінок тексту, 39 таблиць, 29 рисунків та 100 назв бібліографії.

ЗМІСТ РОБОТИ

Стосовно кліматичних умов північного Ємена (Ваді Хадрамаут) та особливостей будівельних матеріалів огорожих конструкцій історичних будівель міста Шибам було розглянуто перспективи застосування методів випарного охолодження для створення на їх основі альтернативних систем кондиціонування повітря (АСКП) малоенергоємних, екологічно чистих конструкцій, що сприяють тривкості та міцності. Визначено головні задачі дослідження:

- теоретичне та експериментальне вивчення тепло- та вологостійкості оригінальних місцевих будівельних матеріалів, включаючи експериментальне вивчення теплофізичних властивостей, вивчення теплостійкості для приміщень із зниженою температурою та вологісного стану багатошарових огорожих конструкцій (глави I, II);
- теоретичне вивчення та розробка інженерних основ конструювання комбінованих випарних водо- та повітроохолоджувачів для АСКП, включаючи розробку принципових схем АСКП, моделювання процесів спільного тепломасообміну в основних елементах комбінованих схем, експериментальну перевірку теоретичних результатів, розробку випарних водо- та

повітроохолоджувачів для АСКП з урахуванням кліматичних особливостей міста Шибам (Хадрамаут) та вивчених теплофізичних властивостей місцевих будівельних матеріалів (глави III та IV).

Дослідження теплостійкості огорожих конструкцій приміщень міста Шибам

При створенні комфортної температури всередині приміщення трапляється істотний перепад температур між температурою всередині приміщення та температурою зовнішнього повітря. В умовах м. Шибам ця різниця влітку щодо тіньової області може коливатися в межах $\Delta t \sim -10 \pm 20^\circ\text{C}$. Необхідно розглянути задачу про теплостійкість огорож для приміщень із зниженою температурою. Типові огорожі конструкції будівель являють собою багатошарові огорожі, що складаються з семи шарів (Рис. 1). (1,7 - облицювальні вапняні шари; 2, 6 - глинопіщане мастило; 3, 5 - глиносолом'яне мастило; 4 - кладка з саманних блоків). Проведено експериментальне дослідження теплофізичних властивостей цих будівельних матеріалів.

Температура зовнішнього повітря безперервно змінюється, зазнаючи сезонних, добових і коротших за тривалістю коливань. Огорожі по-різному реагують на коливання температури. Добові коливання температури зовнішнього повітря описуються залежністю (травень):

$$t_3(\tau) = t_{30} + A_3 \cos(2\pi/\tau)\tau \quad (t_{30} = 29.6^\circ\text{C}, A_3 = 9.75^\circ\text{C}).$$

Температура усередині приміщення зберігається сталою ... за допомогою кондиціонера. Необхідно визначити допустиму максимальну амплітуду коливань температури внутрішньої поверхні огорожі. За допомогою методу Шкловера, що широко застосовується в будівельній теплофізиці, розраховано передачі температурних коливань через багатошарову огорожу, одержано коефіцієнти теплоспасовення для кожного матеріального шару, а також декремент затухання температурних коливань на внутрішній поверхні огорожі щодо температурних коливань зовнішнього середовища. Розрахунки показали, що декремент затухання набагато перевищує нормативне значення $\nu \gg \nu_{\min}^{\text{Доп}} = 9.24$.

Таким чином, огорожі будівель міста Шибам мають запас теплостійкості. Проведений аналіз свідчить також про те, що перші три шари (D1 D2 D3 <1) зазнають різких температурних коливань, і саме ці шари можуть сприймати руйнуючі дії температурних напруг.

Дослідження вологостійкості

Стационарне сорбційне зволоження багатошарових огорож

Класичний метод Власова-Фокіна, що широко застосовується в будівельній теплофізиці для розрахунку вологісного стану огорож і заснований на лінійному розподіленні парціального тиску пари в однорідному матеріалі кожного шару, використовується тільки у тому випадку, коли коефіцієнти паропроникності матеріалів не залежать від відносної вологості повітря в порах матеріалу; він дає значні похибки для матеріалів огорож, коефіцієнти паропроникності μ яких

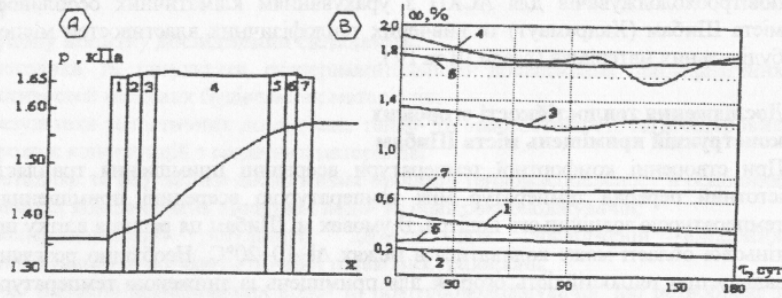


Рис. 1. А. Вологісний стан багатшарової огорожі при сталому сорбційному потоці водяної пари (липень, м.Шибам)
 В - зміна вмісту сорбційної вологості матеріалів огорожі протягом періоду - квітень/вересень (1-7-№№ шарів огорожі конструкцій: 4 - стіновий блок, решта - шпунтурні шари)

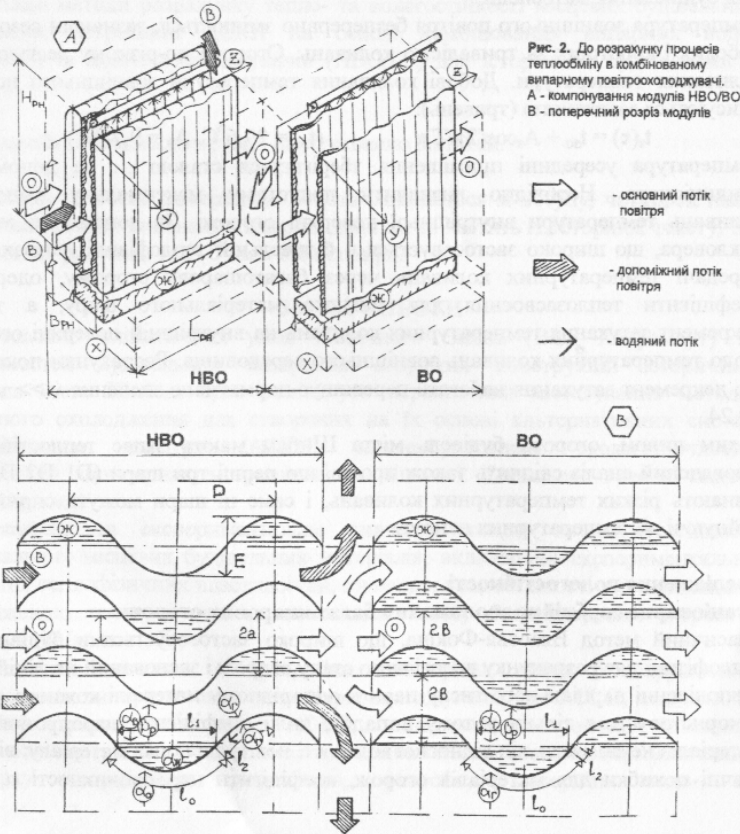


Рис. 2. До розрахунку процесів теплообміну в комбінованому випарному повітроохолоджувачі.
 А - компоновка модулів НВО/ВО
 В - поперечний розріз модулів

→ - основний потік повітря
 → - допоміжний потік повітря
 → - водяний потік

дуже залежать від відносної вологості ϕ . Це, наприклад, стосується неорганічних матеріалів (вапнистий та цементний розчин, щільний бетон та ін.), саманих матеріалів огорожих конструкцій міста Шибам, до складу яких входить глина.

При дослідженні стаціонарного сорбційного зволоження огорожих багатшарових конструкцій розроблено метод розрахунку, який враховує залежність коефіцієнта паропровідності $\mu(\phi)$ від відносної вологості повітря у порах матеріалу. Розрахунок базується на такому законі сорбційного зволоження:

$$\mu_k(\phi) \cdot dp_k/dx = g \text{ (const)} \quad (1)$$

де g - сорбційний потік водяної пари, що проходить через поверхню огорожі, $г/(м^2г)$; індекс k відповідає k -му шару огорожі.

На межах між шарами трапляється неперервність парціальних тисків:

$$P_{k|x=1_k} - 0 = P_{k+1|k=1_k} + 0 \quad (2)$$

Експоненціальна апроксимація залежностей $\mu_k(\phi)$ і $p_k(t)$ дозволяє провести інтегрування рівнянь (1)

$$P_k = (1/m_k) \cdot \ln(m_k \cdot v_k \cdot g \cdot x + c_k) \quad (3)$$

Використовуючи граничні умови (2), дістанемо таку нелінійну систему рівнянь відносно $n+1$ невідомих c_1, c_2, \dots, c_n, g .

$$\begin{cases} c_1 = \exp(m_1 \cdot P_{зп}) \\ c_{k+1} = (d_k \cdot g \cdot l_k + c_k)^{m_{k+1}/m_k} - d_{k+1} \cdot g \cdot l_k \\ k = 1, 2, \dots, n-1 \\ c_n = \exp(m_n \cdot P_{вт}) - d_n \cdot g \cdot l_n \end{cases} \quad (4)$$

Чисельне розв'язання системи виконується методом ітерації. Результати розрахунку розподілення парціального тиску пари у товщі огорожі дано на рис. 1. А.

Вологісний стан огорожих конструкцій у нестационарних умовах

Як вихідне рівняння, що описує сорбційне зволоження у нестационарних умовах, якнайчастіше використовується рівняння:

$$\partial p / \partial \tau = (P_s / \xi_0 \rho) \cdot (\partial / \partial x) \cdot \mu \cdot (\partial p / \partial x) \quad (5)$$

Складність розрахунку сорбції вологи на підставі рівняння (5) полягає в тому, що коефіцієнти $p_s = p_s(t)$, $t = t(\tau, x)$, $\xi_0(\phi)$, $\mu = \mu(\omega)$ і $\omega = \omega(\phi)$ є неявні функції змінних $p(\tau, x)$, τ та x . Нами запропоновано модифікацію рівняння сорбційного

зволоження (5), за допомогою якої одержано рівняння з коефіцієнтами, що очевидно залежать від змінних p , x та τ задачі. Модифікація (5) базується на експоненціальній апроксимації парціального тиску насиченої пари $p_s(t)$: $p_s = m_p \exp(n_p t)$ та кривих ізотерм сорбції $\omega = \omega(\varphi)$: $\omega = a \cdot \exp(b\varphi)$. В результаті рівняння (5) перетворюється і має вигляд:

$$\partial p / \partial \tau = \chi [p_s \cdot (\partial^2 p / \partial x^2) + b \cdot (\partial p / \partial x)^2 + b \cdot (n_p q_0 / \lambda) \cdot p \cdot (\partial p / \partial x)] \quad (6)$$

Скінченно-різницеву апроксимацію рівняння (6) за явною схемою подано так:

$$p_j^n = p_j^{n-1} + (\chi \cdot \Delta \tau / \Delta x^2) \cdot \{ p_{s_j}^{n-1} \cdot (p_{j+1}^{n-1} - 2 \cdot p_j^{n-1} + p_{j-1}^{n-1}) + b \cdot [(p_j^{n-1})^2 - 2 \cdot (p_j^{n-1} \cdot p_{j-1}^{n-1}) + (p_{j-1}^{n-1})^2] + (b \cdot n_p \cdot q_0 / \lambda) \cdot \Delta x \cdot p_j^{n-1} \cdot (p_j^{n-1} - p_{j-1}^{n-1}) \} \quad (7)$$

Стійкість явної схеми забезпечується умовою

$$\Delta \tau \leq 1/2 \cdot (\Delta x^2 \cdot \rho_k \cdot \xi_{0k} / \mu_k \cdot p_{sk}) = 0.25 \text{ суток} \quad (8)$$

Результати розрахунку подано на рис. 1.В. Таким чином, огорожі конструкції будівель міста Шибам, що виконано з саманних матеріалів, мають добрі тепло- та вологостійкі характеристики.

Дослідження, які зроблено в ОДАХ раніше, дозволили визначити як перспективну для створення АСКП комбіновану випарну схему, що включає як перший ступень - непрямо-випарний повітроохолоджувач (НВО) і як другий - випарний охолоджувач основного повітряного потоку (ВО), рис. 3. Автор додатково розглянув регенеративний варіант НВО-ВО (рис. 3.В). Вперше розглянуто комбінований випарний водоохолоджувач, заснований на використанні НВО та градирні на основному повітряному потоці (НВО/ГР), а також системи місцевих повітроохолоджувачів, що встановлюються в обслугованих приміщеннях, рис. 3.Г. Ця схема дозволяє створити централізовану АСКП.

Комбінований випарний повітро- або водоохолоджувач має в кожному ступені багатоканальну насадку, оформлену з ідентичних елементів - поздовжньо-гофрованих (у напрямі течії рідинної плівки) тонкостінних листів з теплопровідного матеріалу (рис. 2). У ступені НВО з таких листів сформовано "галети": у межигалетному просторі допоміжний повітряний потік взаємодіє з рідинною плівкою (випарне охолодження), завдяки чому всередині галет основний повітряний потік охолоджується при незмінному вологовмісті. Зниження межі охолодження (t_w) забезпечує глибоке охолодження повітря у ВО чи води у ГР. Для комбінованих охолоджувачів з регенеративними теплообмінниками границею охолодження є температура точки роси (t_p) зовнішнього повітря. Моделювання процесів виконано для поперечної схеми контактування та плівкового режиму течії рідинної плівки з відповідним розподілом змочених та сухих ділянок поверхні (рис. 2.В). Оскільки газ рухається у плоскому каналі, а течія рідини характеризується невеликими

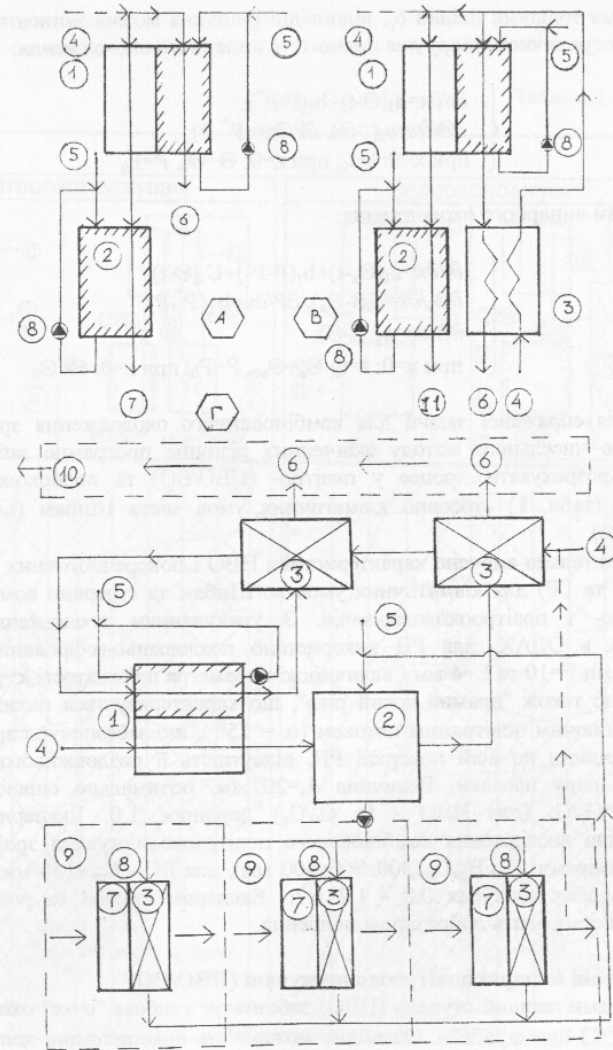


Рис. 3. Принципові схеми комбінованого повітро (А, В) і водоохолоджувачів (Г). Позначення: 1-НВО, 2-ВО, 3-теплообмінник, 4-вхід повітря; 5- підживлення водою випарного контуру; 6- викид повітря у середовище; 7- вентилятор; 8- теплообмінник вода /повітря; 9- приміщення; 10- горіще приміщення; 11- повітря, що надходить у приміщення.

значеннями товщини плівки δ_p , відповідні рівняння можна записати у вигляді рівнянь пограничного шару для прямого та випарного охолодження:

$$\begin{cases} \partial t / \partial x = a_1(\Theta - t) + b_1(P - P^*); \\ \partial \Theta / \partial z = a_2(t - \Theta), \partial P / \partial z = (P^* - P); \\ \text{при } x=0: t=t_0; \text{ при } z=0: \Theta=\Theta_0, P=P_0 \end{cases} \quad (9)$$

і непрямого випарного охолодження:

$$\begin{cases} \partial t / \partial x = a_1(\Theta_b - t) + b_1(P - P^*) + C_1(\Theta - t); \\ \partial \Theta_b / \partial x = a_2(t - \Theta_b), \partial P / \partial x = b_2(P^* - P); \\ \partial \Theta / \partial z = c_2(t - \Theta); \\ \text{при } x=0: t=t_0; \Theta_b = \Theta_{b0}, P=P_0, \text{ при } z=0: \Theta = \Theta_0 \end{cases} \quad (10)$$

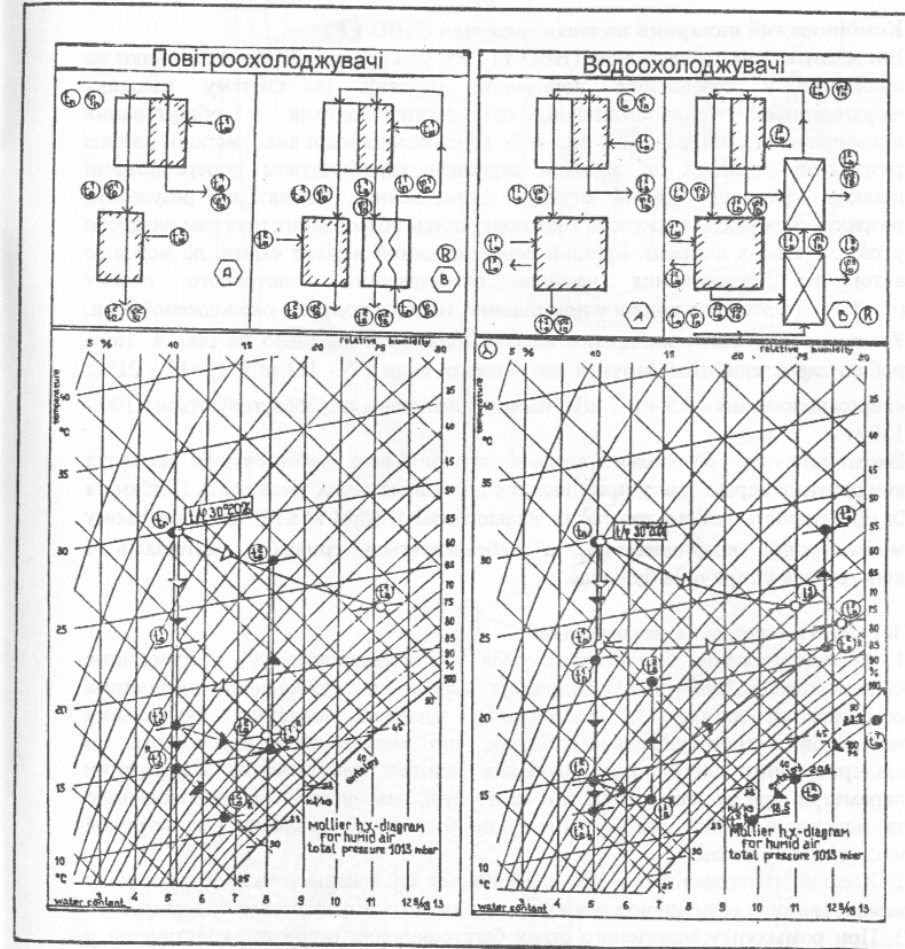
Розв'язання спряженої задачі для комбінованого охолодження зроблено за допомогою чисельного методу скінчених різниць; програмне забезпечення дозволяє розрахувати процес у повітро- (НВО/ВО) та водоохолоджувачах (НВО/ГР) (табл. 1) стосовно кліматичних умов міста Шибам ($t_3=30\pm 40^\circ\text{C}$, $\phi_3=20\pm 40\%$).

Експериментально вивчено характеристики НВО і поперечноточних плівкових ТМА (ВО та ГР) для кліматичних умов м. Шибам та стосовно комбінованих схем водо- і повітроохолоджувачів. З урахуванням досліджень, раніше виконаних в ОДАХ, для РН використано поздовжньо-гофрований лист з параметрами $P=10$ та $E=4$ мм і величиною параметра шерехатості $k=p/e = 12.5$. Застосовано також "прямий косий риф", що характеризується нахилом ребер РШ і набігаючим повітряним потоком ($\alpha = 15^\circ$), що забезпечує сприятливий розподіл рідини по всій поверхні РН, відсутність її поздовжнього зносу та виносу з шару насадки. Величина $d_c=20$ мм, оптимальне співвідношення потоків $I=G_p/G_r$ (для НВО - $I=G_0/G_n$) дорівнює 1.0. Експериментальні розрахункові дослідження комбінованого повітроохолоджувача зроблено для НВО з розмірами: $H_{рн} \cdot V_{рн} \cdot L_{рн} (300 \times 300 \times 400$ мм), для ВО - $L_{рн}=150$ мм; $G_n=1200$ м³/г; G_p в обох контурах 0.8 - 1.2 м³/г. Експериментальні та розрахункові результати становлять добре співвідношення.

Комбіновані випарні повітроохолоджувачі (НВО/ВО)

Для цієї схеми перший ступінь (НВО) забезпечує глибоке "сухе" охолодження ($t'_0 = 23 \pm 28^\circ\text{C}$) при $\phi_0 \leq 50\%$. Очевидна можливість використання холодного та вологого допоміжного потоку для попереднього охолодження зовнішнього повітря. Регенеративна схема (НВО/ВО)Р забезпечує значне зростання ефективності, другий ступінь - малоефективний, і схема трансформується у (НВО)Р (див. табл. 1). Границею охолодження тут є температура точки роси зовнішнього повітря t_p .

Таблиця 1



Робочі процеси в комбінованих випарних повітро- і водоохолоджувачах. Позначки: О-звичайна та О-регенеративна схема охолоджувачів

Розроблено повітроохолоджувач з продуктивністю за повітрям, що обробляється, $1300 \text{ м}^3/\text{г}$ [холодопродуктивність 2.0 кВт , споживана потужність 0.3 кВт , маса (без води) 30 кг]. Застосовано низьконапірний вентилятор діаметрального типу та шестерінчасті водяні насоси.

Комбінований випарний водоохолоджувач (НВО/ГР)

Він містить блок охолодження (НВО та ГР), регенеративні теплообмінники на викидних у середовище повітряних потоках та систему місцевих водоповітряних теплообмінників, що встановлюються в обслугованих приміщеннях (room fan-coils), рис. 4. У водоохолоджувачі використано раніше розроблені в ОДАХ та засвоєні серійним виробництвом поперечноточні плівкові градирні (другий ступінь охолодження). Характерні результати розрахунків водоохолоджувача з використанням розроблених програм наведено у табл. 1 на h-x діаграмі. Кращий регенеративний варіант схеми, де можливе автономне застосування частини охолодженого повітряного потоку ($t'_0 = 12.6 + 18.3^\circ\text{C}$) для подачі у приміщення, поряд з подачею охолодженої води. Компонувачу схему випарного водоохолоджувача наведено на рис. 4. Його робочі характеристики: витрата охолодженої води $1.0 - 1.2 \text{ м}^3/\text{г}$; $t'_r = 19 - 21^\circ\text{C}$; енергоспоживання - $0.5 + 0.7 \text{ кВт}$; площа приміщень, що обслуговуються - $100 - 150 \text{ м}^2$.

Висвітлено, що розроблені випарні охолоджувачі забезпечують здобуття комфортних параметрів у приміщеннях для кліматичних умов міста Шибам та їх ефективність значно зростає із збільшенням t_s (при $x'_s \leq 13 \text{ г}/\text{кг}$). При цьому мінімізуються енерговитрати та забезпечується тривкість матеріалів і конструкцій історичних будівель.

Загальні висновки та рекомендації

1. Задача створення сприятливих умов життя (мікроклімату) в історичних будинках міста Шибам (Ваді Хадрамаут) визначається унікальним поєднанням особливостей клімату й оригінальних місцевих саманних будівельних матеріалів і містобудівельної техніки, що висуває особливі вимоги до альтернативних систем кондиціонування повітря: забезпечення комфортних параметрів при екологічній чистоті технологій, невеликому енергоспоживанню та максимальною ошадливому впливу на будівельні матеріали і конструкції історичних будівель.
2. Коефіцієнт теплостійкості при сорбційному зволоженні саманного матеріалу можна вважати величиною сталою, що не залежить від вологовмісту матеріалу.
3. При розрахунку вологісного стану багатоповітряних огорожних конструкцій у випадку $\Delta\phi = \phi_s - \phi_r < 15 - 20\%$ можна взяти $\mu = \text{const}$ та лінійний характер розподілення парціального тиску пари в порах матеріалу в межах кожного шару; при $\Delta\phi > 20\%$ необхідно враховувати нелінійну залежність $\mu = f(\phi)$. Для цієї області розроблено методику розрахунку сорбційного зволоження матеріалів для стаціонарного та нестаціонарного режимів.

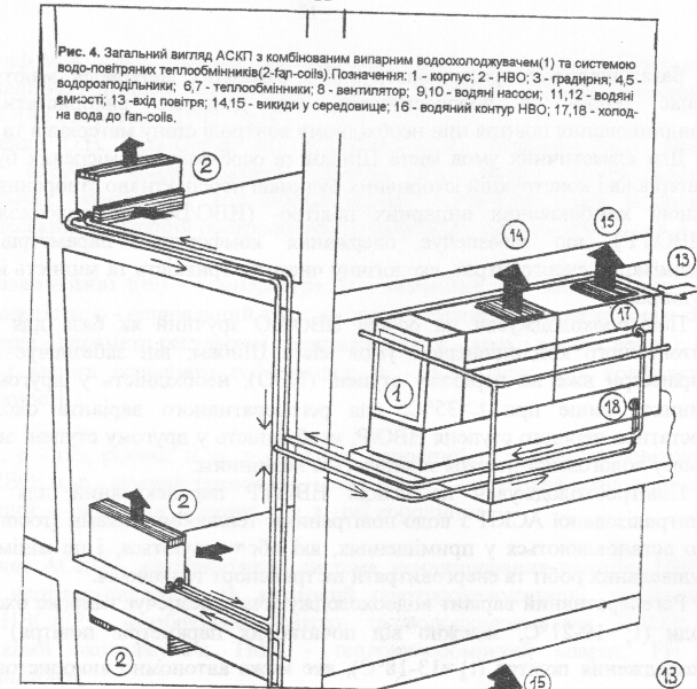
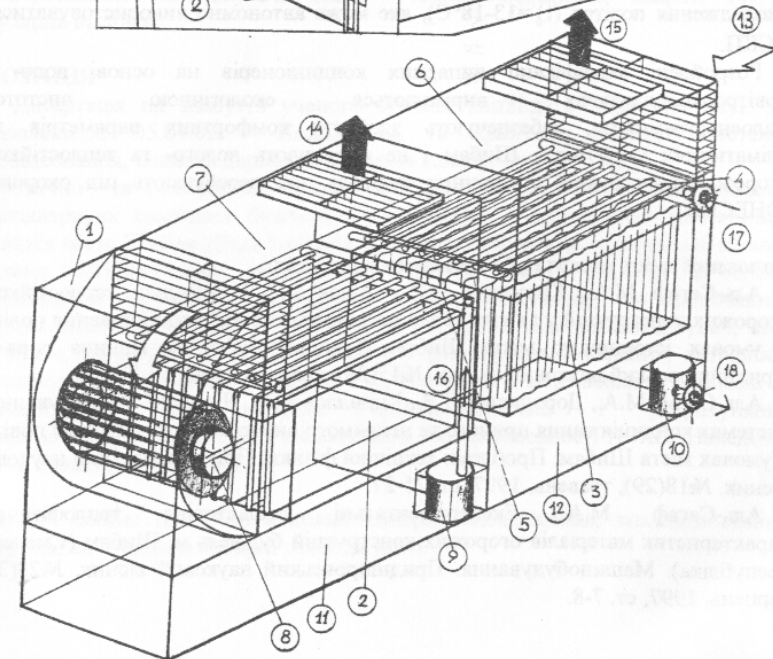


Рис. 4. Загальний вигляд АСКП з комбінованим випарним водоохолоджувачем (1) та системою водо-повітряних теплообмінників (2-fan-coils). Позначення: 1 - корпус; 2 - НВО; 3 - градирня; 4,5 - водорозподільники; 6,7 - теплообмінники; 8 - вентилятор; 9,10 - водяні насоси; 11,12 - водяні ємкості; 13 - вхід повітря; 14,15 - викиди у середовище; 16 - водяний контур НВО; 17,18 - холодна вода до fan-coils.



4. Багатошарові огорожі конструкції з саманних матеріалів мають значний запас тепло- та вологостійкості, що дозволяє використати системи кондиціонування повітря при необхідному контролі стану матеріалів та огорож.
5. Для кліматичних умов міста Шибам та особливостей місцевих будівельних матеріалів і конструкцій історичних будинків перспективно створення АСКП на основі комбінованих випарних повітро- (НВО/ВО) та водоохолоджувачів (НВО/ГР), що забезпечує одержання комфортних параметрів повітря, мінімізацію енерговитрат, екологічну чистоту, тривкість та міцність історичних будинків.
6. Повітроохолоджувач на основі НВО/ВО зручний як база для створення автономного кондиціонера і умов міста Шибам; він забезпечує комфортні параметри вже на першому ступені (НВО), необхідність у другому ступені виникає лише при $t_2 > 35^\circ\text{C}$; для регенеративного варіанта охолоджувача достатньо першого ступеня НВО/Р, необхідність у другому ступені зникає, при цьому вологовміст повітря залишається незмінним.
7. Повітроохолоджувач на основі НВО/ГР перспективний для створення централізованої АСКП з водо-повітряними теплообмінниками (room fan-coils), що встановлюються у приміщеннях, які обслуговуються, і це мінімізує обсяг будівельних робіт та енерговитрати на транспорт теплоносія.
8. Регенеративний варіант водоохолоджувача забезпечує глибоке охолодження води ($t_2^* = 19-21^\circ\text{C}$, залежно від початкових параметрів повітря) та "сухе" охолодження повітря ($t_0^* = 13-18^\circ\text{C}$), яке може автономно використовуватися в АСКП.
9. Розроблені модифікації випарних кондиціонерів на основі водо- та повітроохолоджувачів вирізняються екологічною чистотою, малоенергоємністю, забезпечують здобуття комфортних параметрів для кліматичних умов міста Шибам і не порушують волого- та теплостійкості огорожих конструкцій історичних будівель, які перебувають під охороною ЮНЕСКО.

Головний зміст дисертації викладено в роботах:

1. Аль-Сагаф М.А., Кириллов В.Х., Чумак І.Г. Розрахунок теплостійкості огорожих конструкцій у зв'язку із застосуванням систем кондиціонування повітря в умовах історичного міста Шибам. Технічні науки та гірничо-справа. Придніпровський науковий вісник. №15(26), травень, 1997, ст. 37-39.
2. Аль-Сагаф М.А., Дорошенко О.В., Кириллов В.Х., Чумак І.Г. Застосування в системах кондиціонування прямого та непрямого випарного охолодження повітря в умовах міста Шибам. Проблеми технічної фізики. Придніпровський науковий вісник. №18(29), травень, 1997, ст. 25-27.
3. Аль-Сагаф М.А. Експериментальні дослідження теплофізичних характеристик матеріалів огорожих конструкцій будівель м. Шибам (Єменська республіка). Машинобудування. Придніпровський науковий вісник. №28(39), серпень, 1997, ст. 7-8.

4. Аль-Сагаф М.А. Альтернативні системи кондиціонування в умовах північного Ємена. Машинобудування та технічні науки. Придніпровський науковий вісник. №37(48), вересень, 1997, ст. 27.
5. Дорошенко О.В., Аль-Сагаф М. А., Титарь С.С., Климчук О.О. Нове покоління систем кондиціонування повітря на основі комбінованих випарювальних повітро- та водоохолоджувачів. / Наукові праці молодих вчених. Одеський державний політехнічний університет, квітень 1998 р., ст. 4.

Умовні позначення: $t(\Theta)$ - температура; h - ентальпія; x - вологовміст; ϕ - відносна вологість; p - парціальний тиск; τ - час; I - співвідношення потоків; d - діаметр; $k=r/e$ - параметр регулярної шерехатості (r , e - крок і висота ребра); P , E - крок і висота основного гофрування; A - амплітуда; μ - коефіцієнт паропроникності.

Індекси: g , p - газ, рідина; $п$, $о$, $д$ - повний, основний, допоміжний повітряні потоки у НВО; $м$, $р$ - мокрий термометр, точка роси; * - поверхня розподілу; e - еквівалентний; z - зовнішнє повітря; x , y , z - осі координат.

Скорочення: АСКП - альтернативна система кондиціонування повітря; НВО, ВО, ГР - непрямо-випарний та випарний повітроохолоджувачі, градирня; НВО/ВО, НВО/ГР - комбіновані повітро- та водоохолоджувачі; НВО/Р - регенеративний охолоджувач; ТМА - тепломасообмінний апарат; РН - регулярна насаддка.

АНОТАЦІЯ

Дисертація на здобуття ученого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.04.03 - Холодильна та криогенна техніка, системи кондиціонування, Одеська державна академія холоду, Одеса, 1998 р. Теоретично та експериментально вивчено тепло- та вологостійкість багатошарових саманних будівельних матеріалів і конструкцій історичних будинків міста Шибам (Ваді Хадрамаут, Ємен). Розроблено принципи схемні рішення альтернативних систем кондиціонування повітря (АСКП) на основі комбінованих випарних повітро- та водоохолоджувачів, що включають непрямо-випарний ступінь як перший, та випарний повітроохолоджувач, або градирню, як другий ступінь. Розглянуто регенеративні варіанти випарних охолоджувачів. Розроблено методику математичного моделювання процесів в охолоджувачах та виконано експериментальні і розрахункові дослідження; проведено аналіз кліматичних зон застосовності АСКП. Наведено робочі характеристики АСКП.

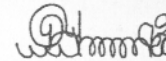
Ключові слова: пряме та непряме випарне охолодження; тепломасообмін; градирня; комбіновані випарні охолоджувачі.

SUMMARY

The thesis for the scientific degree of a Candidate of Sciences (engineering) in speciality 05.04.03 - "Refrigerating and cryogenic engineering, conditioning systems". The Odessa State Academy of Refrigeration, Odessa, 1998.

Heat-and moisture resistance of multilayer adobe building materials and constructions of historical buildings in the city of Shibam (Wadi Hadromawt, Yemen) has been studied theoretically and experimentally. Schematic solutions of alternative air-conditioning system (AACS) have been developed on the basis of combined evaporative air- and water coolers including indirect evaporative stage as the first one, and evaporative air-cooler or cooling tower as the second stage. Regenerative variants of evaporative coolers have been considered. The method of mathematical modelling the processes in coolers has been developed, and experimental and design researches have been carried out; the analysis of climate zones of AACS applications has been made. Given are the working characteristics of AACS.

Key words : direct and indirect evaporative cooling; heat-and-mass transfer; cooling tower; combined evaporative coolers.



xv 1154

ІНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
БІБЛІОТЕКА