

УДК 697.1 (075.8)

А. А. Худенко, *д-р техн. наук, професор КНУБА*

РАДІАЦІЙНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ

Традиційні системи комфортного і технологічного охолодження, в тому числі і системи кондиціонування, створюють тепловий режим шляхом конвективного перенесення енергії охолодженого повітря між джерелами і стоками енергії у приміщенні, тобто шляхом охолодження всього об'єму повітря у приміщенні. При цьому, температура у приміщенні розподіляється нерівномірно по об'єму приміщення і, особливо, по висоті; створення нормованих умов у робочій зоні з урахуванням вентиляції потребує постійного надходження у приміщення значної кількості чистого охолодженого повітря; інтенсивні конвективні потоки переносять пил по об'єму приміщення; охолоджувачі повітря, включаючи кондиціонери, погіршують аероіонний склад повітря у приміщенні. Зазначені недоліки конвективних систем охолодження потребують значних витрат енергії на створення комфортних умов у приміщенні та їх висока енергозатратність є основним стримуючим фактором широкого застосування у житловому будівництві.

За останні роки, у зв'язку з актуальністю проблеми енергозбереження, у країнах Європи, США, Японії інтенсивно розвивається радіаційне охолодження приміщень і воно розглядається як часткова альтернатива традиційним конвективним системам охолодження приміщень.

Принцип дії. На рис. 1 схематично показано принцип дії радіаційної системи охолодження приміщення.

Припустимо, у об'ємі приміщення влітку температура повітря і огорожень підтримується на рівні $t_n=30^{\circ}\text{C}$. При такій температурі радіаційна і конвективна складові теплообміну людини зменшені, терморегуляційна система її працює з перенапругою і людина відчуває тепловий дискомфорт (перегрівається). Розмістимо тепер у приміщенні поверхні, температура яких підтримується на рівні $t_{\text{охол.}}=+10^{\circ}\text{C}$. При наявності охолоджених поверхонь у приміщенні буде діяти механізм

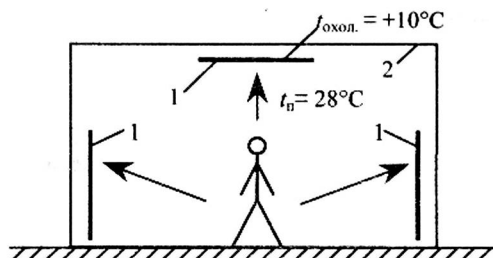


Рис. 1. Схематичний принцип дії радіаційної системи охолодження приміщення:
1 – охолоджена поверхня; 2 – огороження приміщення

радіаційного охолодження: середня радіаційна температура приміщення знизиться, радіаційна складова теплообміну поверхні людини різко зростає, від охолоджених поверхонь поступово буде знижена температура повітря у приміщенні і конвективна складова теплообміну людини. Шляхом підбору параметрів охолоджених поверхонь у приміщенні мож-

на підтримувати комфортні температурні умови практично при будь-якій температурі зовнішнього повітря.

Галузі застосування. Окрім охолодження приміщень будівель і споруд радіаційні системи охолодження застосовуються у холодильних спорудах, космічній техніці, літакобудуванні та багатьох інших галузях.

У виробничих холодильниках радіаційне охолодження камер здійснюється за допомогою панельних охолоджувальних систем, які представляють собою трубчасті оребрені панельні батареї з циркуляцією холодоносія [1]. Перевагами панельного батарейного охолодження є рівномірне розподілення температур по об'єму камер та інші технологічні якості, властиві системам радіаційного охолодження.

У космічній техніці усі без винятку процеси відведення теплоти базуються на принципах радіаційного охолодження [2]. Головним елементом космічних систем радіаційного охолодження є трубчасті оребрені холодильники-випромінювачі у різноманітних конструктивних вирішеннях.

У літакобудуванні панельний теплообмін застосовують при обладнанні системами кондиціонування повітря салонів пасажирських літаків: охолоджене або нагріте в кондиціонері повітря направляється у систему панельних теплообмінників, що працюють в режимі нагріву – охолодження, а після теплообмінників повітря надходить у салон літака. Панельно-конвективні системи кондиціонування дозволяють більш ефективно, у порівнянні з конвективними, підтримувати комфортні температурні умови у салонах літаків [3].

Розрахунковий апарат. Для розрахунку систем радіаційного охолодження, які є зворотним відображенням систем радіаційного опален-

ня, використовуються аналогічні методики, побудовані на закономірностях кондуктивно-конвекційно-радіаційного теплоперенесення у елементах випромінювачів–холодильників, а також теплового випромінювання у діатермічному та поглинально-розсіювальному теплове випромінювання середовищах. При розрахунках систем безмашинного радіаційного охолодження, зокрема слід урахувувати такі параметри навколишнього середовища як ступінь захмареності, вологість і довгохвильове випромінювання атмосфери.

Теплове навантаження на систему радіаційного охолодження визначають аналогічно тепловтратам приміщення тільки зі зворотним вектором теплоперенесення і урахуванням специфічних особливостей охолодження, а саме недопущення конденсації вологи на поверхні охолоджувачів і огорожень приміщення; сумісність з системою вентиляції; допустима температура поверхні охолоджувачів та ряд інших.

Теплове навантаження, або загальну кількість теплоти, яка надходить у охолоджуване приміщення, наприклад, холодильників визначають за формулою [1]

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5,$$

де Q_1 – приток теплоти через огорожувальні конструкції приміщення, Вт; Q_2 – теплота від продуктів при їх холодильній обробці, Вт; Q_3 – приток теплоти від вентиляції, Вт; Q_4 – експлуатаційні надходження теплоти, Вт; Q_5 – приток теплоти від продуктів, які при їх обробці виділяють теплоту (плоди та овочі), Вт.

Системні вирішення. Системи радіаційного охолодження приміщень створюють з використанням машинних охолоджувачів, коли холодо-

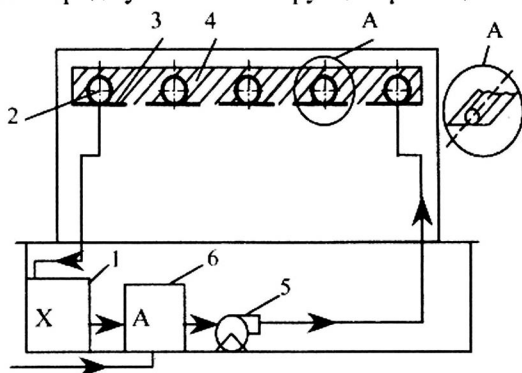


Рис. 2. Схема системи радіаційного охолодження приміщення:

1 – холодильна машина; 2 – трубчастий змієвик охолоджувача; 3 – оребрення змієвика; 4 – тепло-звукоізоляція охолоджувача; 5 – циркуляційний насос; 6 – акумулятор

носій з машинного охолоджувача надходить у трубчасті ребристі випромінювачі, розміщені у приміщенні, а також без використання машинних охолоджувачів, коли охолодження теплоносія відбувається виключно у трубчастих ребристих випромінювачах, розміщених за межами приміщення.

Схема системи радіаційного охолодження машинного типу наведена на рис. 2. Система включає холодильну машину 1, трубчасті охолоджувачі "А", розміщені у верхній зоні приміщень, конструкція яких включає трубчасті змійовики 2; оребрення змійовика 3, теплоізоляцію верхньої площини 4; циркуляційний насос 5, акумулятор охолодженої води 6.

Працює система наступним чином: охолоджена вода з холодильної машини 1 самотпливом, або за допомогою спеціального насоса (на рис. 1 не показано) надходить у теплоізований акумулятор 6. З акумулятора 6 циркуляційним насосом 5 охолоджена вода подається у змійовик 2 трубчастого ребристого охолоджувача з таким розрахунком, щоб на поверхні оребрення 3 підтримувати температуру приблизно на $1,5^{\circ}\text{C}$ вищу за температуру точки роси у приміщенні. Повітря приміщення охолоджується до потрібної температури шляхом конвективного теплообміну з поверхнею охолоджувача.

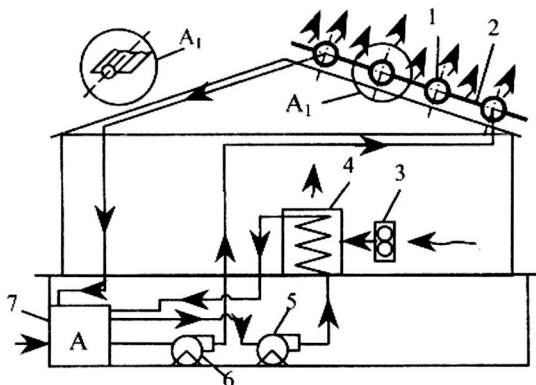


Рис. 3. Схема системи безмашинного радіаційного охолодження приміщення:

1 – трубчастий змійовик охолоджувача; 2 – оребрення змійовика; 3 – вентилятор; 4 – теплообмінник; 5 – насос теплообмінника; 6 – циркуляційний насос акумулятора; 7 – акумулятор охолодженої води

Схема системи безмашинного радіаційного охолодження приміщення наведена на рис. 3. Система включає трубчастий ребристий охолоджувач A_1 у вигляді трубчастого змійовика 1 з плавниковим оребренням 2; вентилятор 3; теплообмінник 4; циркуляційний насос теплообмінника 5; циркуляційний насос охолодженої води 6; акумулятор охолодженої води 7.

Працює система наступним чином: в нічні години доби циркуляційним насосом 6 вода з акумуля-

тора 7 подається у трубчастий змійовик 1 охолоджувача–випромінювача A_1 , де шляхом випромінювання у навколишнє середовище з інтенсивністю приблизно $100\text{--}200 \text{ Вт/м}^2$ віддає теплоту і охолоджується. Охолоджена вода надходить у теплоізолюваний акумулятор 7. З акумулятора 7 циркуляційним насосом 5 охолоджена вода подається у теплообмінник 4. Вентилятором 3 повітря приміщення подається у теплообмінник 4, охолоджується у теплообміннику і охолоджене повітря з теплообмінника надходить у приміщення. Вдень охолоджувач–випромінювач A_1 відключається, або переключається на нагрівання води, а система охолодження працює на охолодженій за ніч воді з акумулятора.

Економіка. Вартість устаткування систем радіаційного охолодження, зважаючи на їх конструктивну простоту, невелика, вона приблизно дорівнює вартості системи опалення і нижча за вартість системи кондиціонування повітря. Енерговитрати систем при їх експлуатації теж порівняно незначні, особливо систем безмашинного типу. Інформаційні матеріали з досвіду застосування таких систем [4] свідчать, що ребристий трубчастий випромінювач такої конструкції як на рис. 3 загальною площею 500 м^2 встановлений на даху лікарні і який щодобово працює по 8 годин випромінює до $3/4 \text{ МВт}\cdot\text{год}$ енергії і підтримує у приміщеннях лікарні температуру на 10°C нижчу за температуру зовнішнього повітря, працюючи вдень в режимі нагрівання води для лікарні. Відмічається, що таке вирішення проблеми охолодження приміщень лікарні є найбільш ефективним як за капітальними витратами, так і за витратами енергії при експлуатації.

Досвід застосування. Системи радіаційного охолодження приміщень застосовуються у багатьох країнах. У Скандинавських країнах [5] охолоджуючі панелі, розміщують, як правило, у верхній зоні приміщень приблизно на відстані 500 мм від поверхні стелі. Відносна вологість повітря у приміщенні повинна не перевищувати 45% з тим, щоб точка роси не перевершувала $11\text{--}12^\circ\text{C}$. При цьому, температура охолодженої води, яка проходить через змійовики панелей повинна бути не нижчою за $12+1,5=13,5^\circ\text{C}$. Робоча різниця температури води не повинна перевищувати $2\text{--}4^\circ\text{C}$, з тим, щоб підтримувати температуру поверхні охолоджувачів рівномірною. Швидкість води у змійовиках охолоджувачів підтримується на рівні $0,3\text{--}0,6 \text{ м/с}$. У приміщеннях, обладнаних системами радіаційного охолодження, розміщують датчики точки роси, за показниками яких автоматично змінюється температура охолоджуючої води у змійовиках. Відмічається, що застосування систем радіаційного

охолодження дає можливість суттєво знизити експлуатаційні витрати, вивільнити досить значні площі приміщень, з високою точністю регулювати середню радіаційну температуру приміщень, підтримуючи комфортні умови у приміщенні.

Проаналізований досвід застосування радіаційних систем охолодження у Великобританії [5]. Чотириповерхова адміністративна споруда була обладнана системою радіаційного охолодження з панельними охолоджувачами з мідних труб, запресованих у алюмінієві панелі. Охолоджувачі шириною 180 мм встановлені на відстані 20 мм один від одного у верхній зоні приміщень. Кожний самостійний елемент охолоджувача приєднаний окремо до двотрубною системи охолодження води. Передбачені навантаження по охолодженню складають 70–90 Вт/м². Температура води, яка надходить до охолоджувачів, підтримується на рівні 15°C, що дає змогу запобігти конденсації вологи у приміщенні при температурі повітря приміщення нижчій за 24°C і відносній вологості 60%.

Узагальнюючи досвід застосування систем радіаційного охолодження у Великобританії, Скандинавських та інших країнах можна відмітити, що зазначені системи активно впроваджуються у практику будівництва і реконструкції переважно приміщень з невеликою висотою і значними теплонадлишками, до яких пред'являються високі вимоги за рівнем шуму.

Література

1. Проектирование холодильных сооружений. – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 255 с.
2. Фаворский О. Н., Каданер Я. С. Вопросы теплообмена в космосе. – М.: Высш. шк., 1972. – 280 с.
3. Воронин Г. И. Системы кондиционирования воздуха на летательных аппаратах. – М.: Машиностроение, 1973. – 443 с.
4. Дж. Бринкворт. Солнечная энергия для человека. – М.: Мир, 1976. – 223 с.
5. Paul Appleby. Потолочное панельное охлаждение помещений. “АВОК”, 2001. – № 3.