

Т.Т. Макаревич, А.С. Гавриляк, Т.О. Петрушка
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра економіки підприємства та інвестицій

ЕКОНОМІЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

© Макаревич Т.Т., Гавриляк А.С., Петрушка Т.О., 2008

Обґрунтовано комплексні заходи з розроблення та формування теоретичних основ проектування, спорудження та експлуатації інноваційних СВ і СКП з неметалевими, пластинчастими теплообмінниками, що здатні значно інтенсифікувати процес тепло-масообміну між взаємодіючими середовищами. Розроблено модельні рішення теплообмінників НВО з одно- та багатоступеневою схемою оброблення припливного повітря СВ і СКП, а також процесів утилізації скидного тепла відпрацьованого (витяжного) повітря, які дають змогу значно економити енергоресурси під час експлуатації таких систем в будівлях різного призначення.

Complex measures are grounded on development and forming of theoretical bases of planning, building and exploitation of innovative SV and SKP, with non-metal, plastinchastimi teploobminnikami which are able considerably to intensify the process of thermal mass-transfer between interactive environments. The model decisions of teploobminnikiv of NVO are developed from one - and by the bagatostupenevoy chart of treatment of reveal air of SV and SKP, and also processes utilizations of upcast heat of exhaust (drawing) air, which allow considerably to save energoresursi during exploitation of such systems in buildings of the different setting.

Постановка проблеми. Одним з найефективніших способів економії енергоресурсів в системах вентиляції (СВ) та системах кондиціонування повітря (СКП) є застосування апаратів випарного (природного) тепловологісного опрацювання припливного повітря, особливо обладнаних компактними неметалевими пластинчастими теплообмінниками з розвиненою гігроскопічною поверхнею тепло- і вологообміну. Розроблено комплекс теоретичних моделей, які ґрунтуються на натурних обстеженнях таких апаратів для прямого випарного опрацювання (ПВО) та непрямого випарного опрацювання (НВО) припливного повітря в СВ та СКП різного типу будівель і транспортних засобів.

Аналіз останніх досліджень. СВ та СКП, які застосовують для певних типів приміщень виробничих підприємств, можуть бути різної конструктивної, метало- та енергомісткої класифікації [1, 2, 4], що реалізується у світовій практиці [3]. Забезпечення допустимого та оптимального мікроклімату [1; 2] за допомогою енергомістких та дорогих систем веде до значного підвищення собівартості основної продукції підприємства і стає гальмом на шляху розвитку галузі. Тому виникає техніко-економічне і актуальне сьогодні завдання вибору та обґрунтування комплексних заходів з розроблення та створення теоретичних основ проектування, виробництва та експлуатації інноваційних СВ і СКП з мінімальними за енергоспоживанням та металомісткістю теплообмінниками [2, 3, 8], здатними інтенсифікувати процеси тепловологісного опрацювання припливного повітря СВ та СКП [4]. На особливу увагу заслуговують теплообмінники НВО [6, 7] з одно- та багатоступеневою схемою опрацювання припливного повітря, а також процесів утилізації складного тепла від відпрацьованого (витяжного) повітря СВ або СКП виробничих підприємств [5, 8].

На відміну від відомих досліджень та інженерних рішень [1, 2, 8] в нашому випадку використані власні наукові результати опрацювання повітря в компактних неметалевих теплообмінниках з гігроскопічною горбистою поверхнею тепло- і масообміну, які дають змогу економити енергоресурси СВ і СКП, а тим самим підвищувати ефективність роботи підприємств та експлуатацію будівель різного призначення з широким діапазоном їх розміщення по кліматичних зонах.

Цілі статті. Для комплексної оцінки ефективності використання неметалевих, гігроскопічних, горбистих пластин в теплообмінниках СВ і СКП з процесами випарного тепло- і масообміну формується система фізико-математичних та економічних залежностей, зручних для інженерних розрахунків на стадії проектування та експлуатації таких систем з прив'язкою до конкретних будівель або транспортних засобів.

Виклад основного матеріалу. Перспективним способом економії енергії у стаціонарних (в будівлях) та мобільних (в транспортних засобах) СВ та СКП є використання апаратів ПВО та НВО, які у три–чотири рази менше споживають енергії та у п'ять–шість разів дешевші, ніж автономні кондиціонери з парокомпресійною холодильною машиною (ПКХМ) [6].

Враховуючи тепловий режим приміщень в будівлях та транспортних приміщеннях різного призначення, які можуть експлуатуватись в різних кліматичних зонах [1, 5, 6], нами робиться спроба систематизувати комплексну оцінку ефективності (Еф) від впровадження (інновації) СКП з неметалевими пластинчастими теплообмінниками, які широко застосовуються в наших техніко-економічних та наукових розробках [3, 4, 5, 6, 7].

В інженерній практиці застосовують СВ та СКП різного типу і вони можуть бути різноманітними навіть для однотипних технологічних об'єктів. Забезпечення потрібного (нормативного) мікроклімату за допомогою енергомістких та складних в експлуатації СВ та СКП веде до істотного підвищення собівартості основної продукції та стає гальмом на шляху подальшого розвитку галузі [7]. Тому виникає завдання вибору та комплексного обґрунтування оргтехзаходів з реконструкції діючих виробничих приміщень або переобладнання мобільних СКП.

Стосовно процесів випарного охолодження повітря в теплий період року або зволоження припливного повітря в СВ та СКП у холодний період року критерій Гухмана (Gu) [1] характеризує співвідношення початкових (психрометричних) параметрів повітря, тобто його здатність поглинати та віддавати вологу. В ізобарно-адіабатичних умовах, які характерні для випарних процесів опрацювання припливного повітря, критерій Gu одночасно враховує і температурні умови процесу. Але процес випаровування може проходити в умовах, коли температура поверхні води (t_w^*) відрізняється від температури початкового стану повітря за мокрим термометром (t_{3m}), що обґрунтовано в [4, 5]. У цьому випадку вплив температурних умов повинен відтворюватись, окрім критерію Gu , температурним фактором $t_{3m}=t_3 / t_w^*$, подібно до параметричного критерію (Θ)= $T_{зобн} / T_w$ [1].

Цей фактор (t_{3m}) певною мірою уможливило враховувати вплив ефекту наявної енергії зв'язку в капілярно-пористих структурах [4]. Використання фактора (t_{3m}) під час опрацювання дослідних даних є доволі зручним та простим, оскільки вимірювання вмістимих в ньому температур є достатньо реальним явищем, навіть в умовах експлуатації таких апаратів.

Якісна оцінка процесів НВО здійснюється за допомогою коефіцієнтів ефективності для основного (E_o) та допоміжного ($E_{дон}$) потоків повітря [6]. Для умов експлуатації такого типу процесів нами встановлені сталі та оптимальні значення відносної кількості потоків повітря ($G_o / G_{дон}$), що взаємодіють, та коефіцієнт зрошення неметалевих гігроскопічних та горбистих теплообмінників (В). Тому загалом залежності для розрахунку показників ефективності процесів НВО можна визначити так:

$$E_o = C_1 \cdot Gu^a \cdot (t_{3m})^e; \quad (1)$$

$$E_{дон} = C_2 \cdot Gu^a \cdot (t_{3m})^e, \quad (2)$$

де $C_1; C_2$ – тепломісткість повітряноводяної суміші потоків.

Для оцінки впливу властивостей гігроскопічного шару пластин теплообмінника на ефективність охолодження повітря визначається значення t_w^* , яке за даними [4], не залежить від конструктивних характеристик теплообмінника НВО і може визначатись за емпіричною формулою (за $G_o / G_{дон}$ та $B-const$):

$$t_w^* = c(t_3 - t_{3m})^{-n} \cdot t_3^m, \text{ } ^\circ C, \quad (3)$$

де G_0 – витрата (потреба) основного, приливної у приміщення повітря, кг/год; $G_{дон}$ – те саме, допоміжного, зволоженого повітря, кг/год; C – питома теплоємність повітря, кДж/(кг °С); t_3 – температура зовнішнього повітря, °С; $t_{зм}$ – температура зовнішнього повітря за «мокрим» термометром, °С.

Оскільки в сучасних апаратах двоступеневого та багатоступеневого НВО можливо охолоджувати початкове (зовнішнє) повітря до температури його мокрого термометра і навіть нижче, то з метою уніфікації розрахунків та порівняння різних апаратів та систем, на наш погляд, необхідно прийняти гігрометричну ефективність:

$$E_p = t_3 - t_o / t_3 - t_p, \quad (4)$$

де t_o – температура охолодженого повітря, °С; t_p – температура точки роси початкового стану зовнішнього повітря, °С.

При цьому узагальнення експериментальних даних, подібно до (1), (2), можливо здійснювати з врахуванням модифікованого (гігрометричного) критерію $Gu_{(p)} = \frac{T_3 - T_p}{T_3}$ та температурного фактора \bar{t}_{3w} :

$$E_p = C \cdot Gu_{(p)}^{a_2} \cdot (\bar{t}_{3w})^{b_2}, \quad (5)$$

де T_p – абсолютна температура точки роси початкового (зовнішнього) стану повітря, °К.

За масової швидкості повітря у межах 1,5–2,5 кг/(м² год) швидкість стікання зрошуваної води у теплообмінниках нашого типу [6] становить менше 5 %, яку під час розрахунків потенціалів переносу можна не враховувати [4].

Гідроаеродинамічний опір пластинчастого теплообмінника можна визначити за формулою

$$\Delta P = C' \cdot (J_p)_{жс}^{n_s}, \quad (6)$$

за вибраного (в кожному конкретному випадку) B -const та за фіксованого співвідношення (l/d_e) , де $(J_p)_{жс}$ – масова швидкість повітря у живому перерізі теплообмінника, кг/(м² год); (l/d_e) – відносні геометричні розміри щілин теплообмінника.

Теоретична границя процесів НВО у поверхневих оребрених (горбистих) теплообмінниках може бути визначена побудовою на i - d -діаграмі ідеальних процесів опрацювання припливного (вологого) повітря [6].

З врахуванням багатьох наукових експериментів [4, 6] теоретична границя в нашому випадку визначатиметься з врахуванням коефіцієнтів $(A^* \zeta_i)$:

$$t_T = 0,24 \cdot (G_0 / G_{дон}) \cdot t_3 + v + i_{дон(3)} / (a + 0,24 \cdot (G_0 / G_{дон}) A^* \cdot \zeta_i), \quad (7)$$

де $i_{дон(3)}$ – теплоємність допоміжного потоку (зовнішнього) повітря, кДж/кг сух. повітря; a та v – константи, характерні для конструктивних даних пластин і теплообмінника; A^* – коефіцієнт, що враховує дисбаланс по явному теплу, відведеному від основного потоку повітря за рахунок наявності скритої теплоти на вологій поверхні пароутворення (r^*); ζ_i – коефіцієнт збільшення загального теплообміну за рахунок масообміну (вологообміну).

За даними [2, 5] застосування СКП в будівлях та мобільних системах економічно доцільне тоді, коли сума усіх затрат на її облаштування та експлуатацію менша від додаткового прибутку, який отримує підприємство від підвищення продуктивності основного виробництва. За нашими даними [3, 5] доцільно додатково врахувати ступінь (коефіцієнт) забезпеченості необхідних (нормативних) або оптимальних параметрів мікроклімату обслуговуючих СКП приміщень (будівель), який враховує тривалість експлуатації цієї СКП у річному режимі (n_e) та тривалість забезпечення вказаних параметрів ($n_{заб}$), тобто

$$K_{заб} = \frac{n_{заб}}{n_e}. \quad (8)$$

Висновки. За даними наших досліджень на багатьох виробничих об'єктах агропромислового комплексу західних областей України [5] можна зробити висновок, що під час зростання приведених витрат на СКП значно зменшується їх енергоспоживання у разі застосування ПВО або НВО. При цьому

збільшуються їхні холодопродуктивність та коефіцієнт (ступінь) забезпеченості потрібного (оптимального) мікроклімату. Усе це вказує на підвищення надійності роботи СКП та зростання економічного ефекту підприємств, на яких впроваджують такі інноваційні проекти.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження нами проводяться у напрямку вдосконалення конструктивних рішень СКП на засадах неметалевих пластинчастих теплообмінників з розвинутою поверхнею контакту потоків повітря, що взаємодіють, зволожуючої води (рідини) у різних умовах їх експлуатації.

1. Богословський Б.А. *Теплової режим здания*. – М.: Стройиздат, 1979. – 248 с. 2. Богуславский Л.Д. *Снижение расхода энергии при работе систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха*. – М.: Стройиздат, 1985. 3. Гавриляк А.С., Макаревич Т.Т., Петрушка Т.О. *Пошуки оргтехзаходів енергозбереження в птахівничих будівлях з метою зниження собівартості їх продукції: Тези доповідей VI Міжнародної наук.-практ. конф. (Львів, 9–11 листопада 2006 р.) “Маркетинг та логістика в системах менеджменту”*. – Львів, 2006. – С.51–52. 4. Латик В.С., Макаревич Т.Т. *Аналіз тепло- і масообміну у пластинчастих гігроскопічних теплообмінниках // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Теорія і практика будівництва»*. – 2007. – № 600. – С. 213–216. 5. Макаревич Т.Т. *Ефективність забезпечення требуемого мікроклімату в мобільних зданиях для брошеров: Межвузовский тематический сборник трудов «Повышение экономической эффективности строительства на стадии проектирования*. – Л.: ЛИСИ, 1984. – С. 96–99. 6. Макаревич Т.Т. *Экономия энергии в мобильных системах кондиционирования воздуха // Сб. научн. тр. “Вентиляция и кондиционирование воздуха”*. – Рига: Изд. РПИ, 1984. – С. 97–102. 7. Макаревич Т.Т., Гавриляк А.С. *Ефективність реконструкції системи мікроклімату пташників під час їх експлуатації // Вісник НУ «Львівська політехніка» «Теорія і практика будівництва»* – 2004. – № 520. – С. 204–209. 8. Ярослав В.Ю., Лабай В.Й., Макаревич Т.Т. *Энергоемкость систем обеспечения микроклимата птицеводческих помещений // Сб. научн. тр. “Вентиляция и кондиционирование воздуха”*. – Рига: Риж. техн. ун-т, 1990. – С. 114–119.

УДК 666.942

Т.Є. Марків, Х.С. Соболев, М.В. Штурмай
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автомобільних шляхів

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ ХРОМАТІВ У ПОРТЛАНДЦЕМЕНТІ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЛЬФАТУ ЗАЛІЗА

© Марків Т.Є., Соболев Х.С., Штурмай М.В., 2008

Показано можливість застосування в портландцементному клінкері як дехроматора $FeSO_4$ для зменшення вмісту Cr^{6+} та досліджено його вплив на міцність цементу.

Possibility of using $FeSO_4$ in clinker for reduction of Cr^{6+} content was shown and its influence on strength of cement was investigated.

Вступ. Проблема наявності шестивалентного хрому в цементі актуальна для усіх заводів, що використовують хромомagneзитові вогнетриви та сировинні матеріали, які містять сполуки хрому. Згідно з рішенням Європарламенту 2003/53/AG від 17 січня 2005 року, встановлені обмеження щодо вмісту визначених шкідливих речовин, зокрема: «Цементи і цементовмісні суміші не можуть