

АНАЛІЗ ТЕПЛО- І МАСООБМІНУ У ПЛАСТИНЧАСТИХ ГІГРОСКОПІЧНИХ ТЕПЛООБМІННИКАХ

© Латик В.С., Макаревич Т.Т., 2007

Виконано теоретичне обґрунтування та прогноз інтенсифікації процесів тепло- і масообміну у теплообмінниках, виготовлених з гігроскопічних горбистих прокладок (для зберігання та транспортування яєць), і розроблених на їхній базі системах прямого (ПВО) та непрямого (НВО) випарного охолодження повітря. Розроблена фізична модель переносу взаємодіючих середовищ (вологи та припливного вентиляційного повітря). Обґрунтовано основні параметри та критерії оцінки ефективності підготовки повітря у таких теплообмінниках.

In this article theoretical basement and suggestion of heat and mass exchange processes intensification in heat exchangers and systems of direct and indirect vapor cooling of air that are made of hygroscopic wave layers (for eggs storage and transportation) is carried out. Physical model of processes transfer interactive indoor air flows (wet and supply ventilation air) has been developed. Base characteristics and criteria of air treatment efficiency in such heat exchangers estimation are based.

Постановка проблеми. Для процесів тепловологісної обробки припливного повітря систем кондиціонування повітря (СКП) значної актуальності набуває застосування компактних неметалевих пластинчастих теплообмінників. Вони дають змогу зменшити металоємкість СКП та інтенсифікувати процеси обробки повітря. Для уніфікації такого типу теплообмінників та різних конструктивних рішень СКП необхідно вивчити закономірності оброблення припливного повітря при прямому та непрямому контакті його з тепловологісною поверхнею сухих та змочених сторін робочих пластин.

Аналіз останніх досліджень. На відміну від відомих стаціонарних та теплообмінників, встановлених на транспортних засобах ПВО і НВО припливного вентиляційного повітря [1–3], у запропонованих нами пристроях [3] є капілярно-пористий шар у вигляді горбистих пластин, один бік яких покритий тонким шаром теплопередавального лаку. Можна прогнозувати, що явище тепло- і масообміну при випарному охолодженні повітря в нашому випадку відрізнятиметься від відомого. Це пов'язано з тим, що рух взаємодіючих середовищ (потоків) очікується поступально-обертвовим у зв'язку з розташуванням “горбів” (виступів пірамідальної форми), розміщених пластин в шахматному порядку стосовно напрямку взаємодіючих потоків та змінного поперечного перерізу каналів (від мінімального – біля бокових поверхонь “горбів”, до максимального – біля їхніх вершин).

На відміну від відомих досліджень та конструктивних рішень [1, 2], в нашому випадку, при повному набуханні целюлозно-деревного шару пластин, безперервне підживлення і рівномірний розподіл вологи на гігроскопічній поверхні теплообмінника досягається при помірному її зрошенні та прямоїчому русі допоміжного потоку повітря над змоченою поверхнею.

Завдання досліджень. Для оцінки впливу властивостей гігроскопічного та конструктивного шару на ефективність охолодження припливного повітря в СКП, доцільно визначити значення параметрів взаємодіючих потоків повітря та водяних капілярів для різних конструктивних рішень теплообмінників з вказаним вище типом пластин. Виникає

неабиякий науковий інтерес до побудови фізичної моделі тепло- і маосообміну для різних умов експлуатації СКП (у стаціонарних та транспортних).

Викладення основного матеріалу. У зв'язку з наявністю пірамідоподібних горбів з обох боків пластин та змінного перетину каналів теплообмінника очікується часткове зривання водяної плівки повітряним потоком з поверхні капілярно-пористого шару, що видно з рис. 1. У результаті створюватиметься доволі складний характер взаємодії повітря з водою, що випаровуватиметься. Можлива взаємодія повітря з водяною плівкою, що стікає над поверхнею колоїдного тіла, з капілярно зв'язаною і адсорбованою вологою, а також з частинками води, що рухаються в площині каналів $G_{дп}$. З наведеного аналізу видно, що зволоження гігроскопічного шару можливе у вигляді плівково-крапельного зрошення і капілярно зв'язаного переміщення вологи під дією сили тяжіння. Однак в нижній частині зрошуваної поверхні істотне значення має складне переміщення вологи в об'ємі колоїдної капілярно-пористої структури маси. В цьому об'ємі з одного боку діють гравітаційні сили, які сприяють переміщенню води зверху-вниз, а з іншого боку проявляється вплив енергії зв'язку води з шаром капілярно-пористого тіла, що визначається його капілярними властивостями. Випаровування вологи в цій частині може проходити не тільки безпосередньо на поверхні, але і з поверхні капілярів.

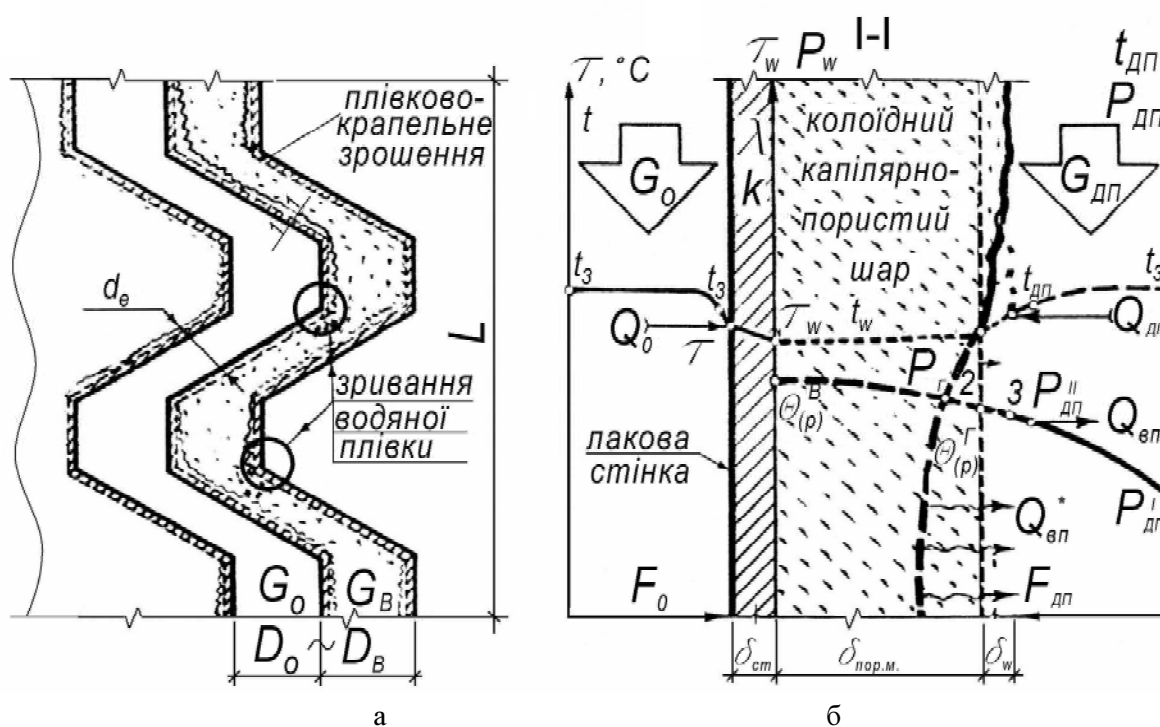


Рис. 1. Модель тепло- і масообміну на елементі теплообмінника НВО, який складається з целюлозно-деревних горбистих прокладок

Енергія зв'язку капілярної вологи з скелетом капілярно-пористого тіла зумовлена адсорбційним зв'язком полімолекулярного шару води біля стінок капілярів і зменшенням тиску водяної пари над увігнутим меніском у капілярі порівняно з тиском пари над плоскою поверхнею вільної води [3]. Зв'язок між тиском (P_{∞}) насиченої пари над плоскою і тиском (P_r) пари над викривленою поверхнею відображається формулою Томсона [3]:

$$P_r = P_{\infty} \cdot \exp\left(-\frac{2\sigma \cdot v_{жс}}{r \cdot RT}\right); \quad (1)$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу; r – радіус капіляра, м; $v_{жс}$ – швидкість переміщення вологи, м/с.

Як видно з (1), капілярний зв'язок рідини характеризується коефіцієнтом поверхневого натягу σ . Ця формула може бути використана для капілярів з радіусом в межах $10^{-9} < r < 10^{-5}$ м [3]. Нижня границя зумовлена розмірами молекул тіла, оскільки меніск не утворюється, якщо радіус капіляра наближений до радіуса молекул. Для капілярів з радіусом, більшим за 10^{-7} м, тиск насиченої пари води над меніском дорівнює тиску насиченої пари над рівною поверхнею [3].

Енергія зв'язку вологи в капілярах може бути визначена за формулою [2]:

$$E_w = RT \cdot \ln Pr / Pn, \text{ Дж/кг} \quad (2)$$

де P_n – зрівноважений тиск пари в газовій фазі, Па.

Розраховано [3], що для капілярів з радіусом $0,36 \cdot 10^{-9}$ м при температурі 20 °С енергія зв'язку вологи $E_w = 74,5 \cdot 10^5$ Дж/кг.

При тій самій температурі для капілярів з радіусом $53,5 \cdot 10^{-9}$ м енергія зв'язку вологи $E_w = 0,503 \cdot 10^5$ Дж/кг. З цих даних видно, що чим менший радіус капіляра, тим менший тиск над меніском рідини і тим більше теплової енергії потрібно забрати на видалення при випаровуванні вологи з капілярно-пористого тіла.

З вищенаведеного випливає, що механізм тепломасообміну між зволуженим капілярно-пористим шаром і повітрям ускладнюється наявністю зв'язку вологи з капілярним тиском скелета, особливостями структури тіла і термодинамічними умовами його з обтікаючим потоком повітря.

Для оцінки впливу властивостей гігроскопічного шару на ефективність охолодження повітря, доцільно експериментально визначити значення температури зрошуючої води (t^*), яка за даними М.Б. Раяка [6] не залежить від конструктивних характеристик теплообмінника пасивно-випарного охолодження і може визначатися за емпіричною формулою:

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

при $G_o/G_{oon} = \text{const}$; $B = \text{const}$.

де G_o – витрата повітря основного потоку, кг/год; G_{oon} – витрата повітря допоміжного потоку, кг/год; B – коефіцієнт зрошення; c – питома теплоємність повітря, кДж/(кг·°С); t_z – температура зовнішнього повітря, °С; $t_{z,m}$ – температура мокрого термометра, °С.

На рис. 1 наведена розроблена нами фізична модель тепло- і масообміну для вищенаведених умов. Схема (рис. 1) відображає особливості гідродинамічних умов. На ній подана залежність розподілу температур у товщі пластини і в потоках повітря, а також розподілу потенціалів переносу маси.

Особливістю пасивно-випарного охолодження є те, що проходження тепло- і масообміну визначається умовами випаровування на поверхні контакту з допоміжним потоком повітря на капілярно-пористій поверхні і охолодження основного потоку на непроникній поверхні. Випаровування забезпечується за рахунок підведення явної теплоти від основних і додаткових повітряних потоків, що і зумовлює характер розподілу температур в цих потоках і пластині (з урахуванням опору теплоперенесення).

Потік вологи з поверхні залежить від розміщення зон випаровування. Так, наприклад, у верхній частині пластини, на якій є плівка рідини, що стікає (і незначної кількості крапель в повітрі) за своєю суттю мало відрізняється від явищ, що проходять в плівкових контактних апаратах. Водночас у нижній частині пластини, як відзначено вище, спостерігається складний процес перенесення вологи з поверхні випаровування. Ймовірно, поблизу умовної границі верхньої і нижньої зон може існувати поверхня випаровування, яка збігається з площиною поверхні пластини. Нижня поверхня характерна тим, що випаровування проходить в зоні капілярно-пористого тіла. Перенесення вологи у товщі тіла до зони випаровування повинно визначатися наявністю різниці потенціалів перенесення біля поверхні непроникного шару $\theta_{(p)}^B$ і на внутрішній границі зони випаровування $\theta_{(p)}^r$. Ці потенціали можуть бути подані в шкалі парціальних тисків водяної пари. За цих умов їхньою особливістю є те, що їх значення залежить від температури води, а також від характеру капілярно-пористої структури матеріалу.

Залежності розподілу матеріалів перенесення маси побудовані з урахуванням того, що на межі розділення фаз повинна зберігатися рівновага потенціалів $\theta_{(p)}^r = P_r$, а також наявність опору переносу маси.

Крім того, очікується тепло- і масообмін з поверхні плівки і часток зрошеної води. Випаровування на цих ділянках теплообмінника проходить згідно із закономірностями тепло- і масообміну з вільної поверхні води і не залежить від вологісних властивостей капілярно-пористої поверхні стінки [5]. Інтенсифікує цей процес горбиста поверхня випаровування: при співударянні з нею водоповітряна суміш взаємодіє практично в межевому шарі взаємообмінних середовищ.

Крім дії розгорнутої поверхні випаровування і її гігроскопічної структури на інтенсифікацію процесу, згідно з теорією А.В. Ликова [3] спостерігається явище руйнування пограничного шару плівки води локальними процесами випаровування.

Висновки. Розглянута фізична модель тепломасообміну не дає змоги скласти строгий математичний опис процесів перенесення в зв'язку з тим, що при обтіканні поверхонь складної геометричної форми виникають циркуляційні потоки, а на помірно зрошених капілярно-пористих поверхнях виникають різні за характером зони випаровування. Тому потрібно виконати комплексні експериментальні дослідження таких теплообмінників для отримання математичних залежностей та коефіцієнтів тепло- і масообміну, які залежать від визначальних факторів; подати їх у критеріальній формі з урахуванням показників ефективності, зручних для практичного використання.

1. Богословский В.Н. *Тепловой режим здания*. – М.: Стройиздат, 1979. – 248 с. 2. Богуславский Л.Д. *Снижение расхода энергии при работе систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха*. – М.: Стройиздат, 1982. 3. Лыков А.В. *Теория сушки*. – М.: Энергия, 1968. – 326 с. 4. Макаревич Т.Т. Гавриляк А.С. *Ефективність реконструкції систем мікроклімату пташників під час їх реконструкції // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”*. – 2004. – № 520. 5. Нестеренко А.В. *Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха*. – М.: Высш. шк., 1971. – 460 с. 6. Раяк М.Б. *Экспериментальное исследование пластинчатого теплообменника косвенного испарительного охлаждения с проволочным оребрением. НИИсантехники*. – В кн.: *Кондиционирование воздуха*. – М.: Госстройиздат, 1966. – № 18. – С. 50–70.

УДК 699.86

А.В. Мазурак, С.Ю. Терлига, О.Т. Мазурак
Львівський державний аграрний університет
кафедра технології та організації будівництва
80381, м. Дубляни, вул. В. Великого, 1

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СКРІПЛЕНОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ ФАСАДІВ

© Мазурак А.В., Терлига С.Ю., Мазурак О.Т., 2007

Розглянуто проблеми тріщиноутворення при утепленні фасадів мокрим способом. Пропонуються заходи щодо запобігання цим явищам.

The article deals with problems causing the destruction of warming systems and decoration (finishing) through the appearance of cracks. It should be noted – that measures are suggested as to the prevention (protection) of these phenomena.

Постановка проблеми. Перехід на нові нормативні значення опору теплопередачі зумовлюють заміну традиційних одношарових стінових конструкцій на багатошарові. Ці конструкції потребують не тільки використання ефективних несучих і утеплювальних матеріалів, а й розроблення принципів їхнього проектування і глибокого розуміння теплофізичних процесів, які активно впливають на функціонування самої конструкції та на створення у приміщеннях комфортних умов для проживання людей.