

УДК 697.93

Довгалюк В. Б., к.т.н. доцент, Шадура І. В., аспірант (Київський національний університет будівництва і архітектури)

ПРОЦЕСИ В КОМБІНОВАНОМУ КОМПАКТНОМУ УДАРНО-ПІННОМУ АПАРАТІ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ТА ПЕРЕВЕЗЕННЯ МУЗЕЙНИХ КОЛЕКЦІЙ

Проведено аналітичне дослідження пінних зрошувальних апаратів, наведено конструкцію нового комбінованого компактного пінного апарата для забезпечення умов зберігання та перевезення музейних експонатів та процеси, що в ньому відбуваються.

Ключові слова: музейні експонати, пінний апарат, аеродинамічний опір, число одиниць переносу, висота піни, статичний рівень рідини, коефіцієнт теплопередачі.

Всі вивори мистецтва схильні до процесу природного старіння, оскільки при їх зберіганні та перевезенні, речовини та матеріали, що входять до їхнього складу, підпадають під вплив навколишнього середовища, що призводить до необоротних змін. Зупинити даний процес неможливо, проте можливо його уповільнити та звести до мінімуму.

Основною умовою, що гарантує правильне зберігання музейних предметів і колекцій, є задовільний стан приміщень музею в цілому, інженерних систем, в тому числі систем забезпечення мікроклімату.

Температурно-вологісний режим залежить від засобів, якими створюється та підтримується певний рівень температури та відносної вологості повітря.

На сьогодні існують апарати для підтримання оптимальної температури, проте важливим є стабільна вологість повітря та його очищення від забруднюючих речовин.

При роботі систем вентиляцій і кондиціонування в музейні приміщення потрапляють завислі забруднюючі речовини, які при контакті з художніми об'єктами можуть наносити їм суттєву шкоду. Крім широківідомої дії змін температури і відносної вологості повітря, великий вплив на стан музейних предметів має газовий склад повітря.

При здійсненні виставкової діяльності необхідно обов'язково враховувати параметри мікроклімату під час транспортування чи експонування

музейних предметів.

Головна задача, яка виникла при створенні апарата для зберігання або перевезення музейних експонатів: забезпечення та підтримання оптимальних параметрів мікроклімату в широких діапазонах, здатність видаляти забруднюючі речовини, бути легким, компактним, мобільним і незалежним від просторового розміщення.

Зі всіх відомих апаратів для тепловологісної обробки повітря за прототип був обраний ударно-пінний зрошувальний апарат конструкції А.А. Римкевича. Апарат відноситься до поверхневих зрошувальних теплообмінних апаратів, які представляють собою поєднання контактної та поверхневого теплообмінника в одній конструкції.

Даним апаратам властиві переваги і недоліки обох типів апаратів. До основних переваг зрошувальних теплообмінників слід віднести можливість реалізації в одному апараті широкого спектру процесів обробки повітря в діапазоні від охолодження-осушення до нагріву-зволоження повітря, включаючи адіабатне зволоження. До недоліків слід віднести значно менший перепад температур і відповідно більшу витрату води порівняно з поверхневими теплообмінниками [1].

Зі всіх відомих апаратів контактної типу для тепловологісної обробки повітря найбільше розповсюдження отримали форсункові камери і пінні інтенсивні апарати. Нами виконане зіставлення існуючих апаратів за показниками ефективності при номінальних режимах роботи апарата кожного типу і однакових початкових параметрів повітря.

Головним фактором, який визначає ефективність апарата, є продуктивність одиниці об'єму, тобто інтенсивність його роботи, питома витрата енергії на переміщення рідини та газу та на створення міжфазної поверхні.

Теплообмін в контактних апаратах характеризує кількість тепла Q Вт, що передається від однієї фази до іншої, в робочому об'ємі апарата

$$Q = \alpha V \Delta t, \quad (1)$$

де α – середній коефіцієнт теплообміну, віднесений до площі поперечного перерізу, $\text{кДж/м}^2 \text{ год } ^\circ\text{C}$; V – робочий об'єм апарата, м^3 ;

Δt – рушійна сила процесу теплообміну, температурний напір, $^\circ\text{C}$.

Глибину протікання процесів та теплотехнічну досконалість апарата оцінюють коефіцієнтом ефективності теплообміну

$$E = \frac{I_1 - I_2}{I_1 - I_{p.n}}, \quad (2)$$

де I_1, I_2 – початкова і кінцева ентальпії повітря, кДж/кг ;

$I_{p.n}$ – ентальпія насиченого повітря, яка відповідає початковій темпе-

ратурі води, кДж/кг.

$$\varepsilon = \frac{Q}{N_v + N_n}, \quad (3)$$

де Q – кількість тепла, що передається від однієї фази до іншої, кВт;

N_v, N_n – потужність вентилятора та насоса, кВт.

Для кожного апарата визначено кількість теплоти, що передається від води до повітря за одиницю часу та приходиться на одиницю об'єму робочого простору апарата Q_v^p , коефіцієнт ефективності теплообміну E та енергетичний коефіцієнт ε . Порівняння виконувалось при номінальних режимах роботи апарата кожного типу і однакових початкових параметрів повітря та рідини в апараті [2, 3].

Результати порівняння показані на рис. 1, 2.

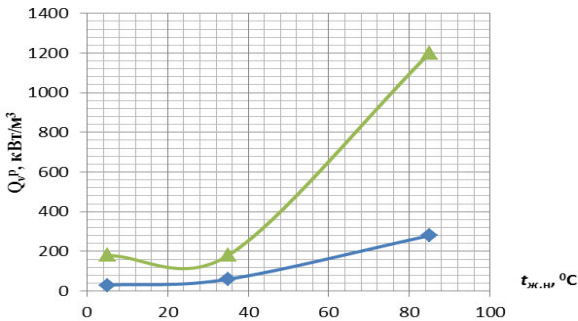


Рис. 1. Залежність кількості теплоти Q_v^p , що передається в одиниці робочого об'єму апарата від температури рідини $t_{ж.п.}$

— Форсунока камера — Ударно-пінний апарат

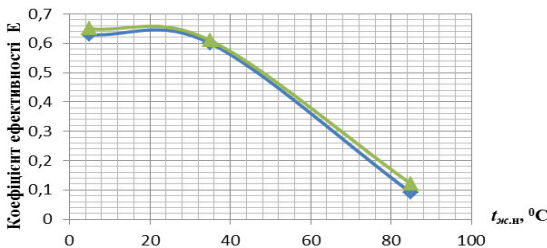


Рис. 2. Залежність коефіцієнту ефективності E від температури рідини $t_{ж.п.}$

— Форсунока камера — Ударно-пінний апарат

Аналіз графіків показує, що пінний апарат має кращі порівняно з фор-

сунковою камерою показники по інтенсивності та глибині процесів теплообміну, що пояснюється досить високою рухомістю водоповітряної емульсії чи піни. При цьому виникає досить складний турбулентний рух мас води та повітря з добре розвинутою поверхнею контакту, що неперервно оновлюється, це призводить до інтенсифікації процесів тепло та масообміну. За рахунок досягнення високої рухомості водоповітряної емульсії, досягається зменшення активного об'єму апарата і габаритів апарата в цілому, що наглядно показано на рис. 1, 2.

Внаслідок порівнянь тепловіддачі від води до повітря в пінних апаратах та камерах зрошення, було виявлено, що поверхня контакту між водою і повітрям, що створюється при пінному режимі, у 7-10 разів перевищує поверхню при форсунковому зрошенні [2, 4, 5].

Енергетичний коефіцієнт в форсунковій камері складає $\epsilon = 50 - 500$, а в пінному апараті $\epsilon = 12 - 80$, що у 4-6 разів менше ніж у камері зрошення. Це пояснюється тим, що в апаратах других типів енергія повітряного потоку витрачається лише на створення швидкості, яка необхідна для інтенсифікації конвективного теплообміну між повітрям та водою, тоді, коли в пінних апаратах енергія витрачається на створення водоповітряної емульсії, що має в своєму складі більшу кількість води, ніж в інших апаратах. Тому особливістю пінних апаратів є порівняно великі затрати енергії на приведення в рух води.

На сьогодні є декілька конструкцій ударно-пінних апаратів з розміщеними в них теплообмінними контурами [6, 7, 8, 9].

Проте існуючі апарати та їх аналоги мають ряд недоліків: використання теплообмінників з проміжним теплоносієм, що призводить до більшої інерційності і меншої плавності регулювання, невід'ємним агрегатом для існуючих апаратів є холодильна машина, внаслідок цього апарати мають великі габарити та потребують стаціонарного підключення, що зменшує область їх застосування. Всі апарати розраховані на велику продуктивність, мають велику вагу та габарити, оскільки є промисловими агрегатами.

У зв'язку з вищевказаними недоліками, дані апарати не доцільно використовувати для забезпечення параметрів мікроклімату при зберіганні чи переміщенні музейних експонатів.

На основі дослідження та аналізу існуючих апаратів, запропоновано новий вдосконалений комбінований компактний пінний апарат рис. 3, з блоком термоелектричних модулів, який вільний від вищевказаних недоліків.

Принцип роботи апарата полягає в наступному. Повітря вентилятором через патрубок для подачі повітря 2 з великою швидкістю (9-10 м/с) подається на поверхню рідини, яка заповнює піддон 3 апарата. При зустрічі

водоповітряного потоку з поверхнею рідини його кінетична енергія перетворюється в тиск, що забезпечує витіснення деякої кількості рідини з піддону. Витіснена рідина інтенсивно переміщується з повітрям, і в реактивному просторі утворюється рухомий шар піни висотою 900-1200 мм, який проходить крізь пластини радіатора 5 термоелектричних батарей 4. Потім повітря проходить крізь радіатор, який виконує функцію сепаратора 6, де відділяються краплини вологи, а також інтенсифікуються процеси теплообміну на його поверхні. Повітря, позбавлене краплин вологи, проходить через радіатор другого підігріву і видаляється через випускний отвір.

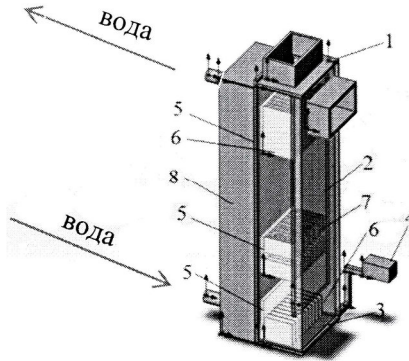


Рис. 3. Конструкція комбінованого пінного апарата:

- 1 – корпус; 2 – щілина для подачі повітря; 3 – піддон; 4 – регулятор рівня води; 5 – термоелектричний модуль; 6 – радіатор; 7 – радіатор-краплевлловлювач; 8 – канал допоміжного потоку

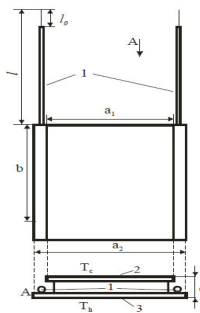


Рис. 4. Схема термоелектричного модуля:

- 1 – електричні провідники; 2 – холодна кераміка; 3 – тепла кераміка; T_c – температура зовнішньої поверхні керамічної пластини без провідників; T_h – температура зовнішньої поверхні керамічної пластини з провідниками

В апараті використані термоелектричні модулі, засновані на фізичному ефекті Пальтьє рис. 4. Напівпровідникові термоелектричні модулі представляють собою уніфіковані однокаскадні термобатареї з послідовно або паралельно – послідовно включених термоелементів.

Організація допоміжного каналу циркуляції рідкого або газового носія дозволяє ефективно знімати тепло чи холод з термоелектричних модулів. Пристрій дає можливість інтенсифікувати теплопередачу і без затрат електроенергії. Тобто створити таку різницю температур рідини або суміші газів в допоміжному каналі, що створює термоелектрорушійну силу, яка забезпечує живлення термоелектричних батарей. Таким чином, пристрій працює у режимі теплового насосу, що підвищує його енергоефективність.

Змінюючи температуру радіаторів, що відводять тепло від термоелектричних модулів, та передають його водоповітряній суміші, можливо здійснювати широкий діапазон процесів: адиабатне охолодження, охолодження повітря з осушенням, охолодження повітря зі зволоженням, нагрів повітря, нагрів повітря зі зволоженням.

Також особливістю апарата є поєднання конструкції радіатора з крапле вловлювачем, що внаслідок затримання краплин вологи на радіаторі дозволяє інтенсифікувати процес тепло-, масообміну на його поверхні, а також зменшити вагу та габарити апарата.

При поєднанні в апараті даних конструктивних особливостей, досягається спрощення конструкції, покращення вагових та габаритних характеристик, зниження експлуатаційних затрат, можливості плавного та точного регулювання холодопродуктивності і температурного режиму; збільшення діапазону параметрів регулювання повітря; легкість переходу з режиму охолодження в режим нагріву; зменшення габаритів та ваги апарата; зменшення енергозатрат за рахунок зменшення гідравлічного опору та інтенсифікація процесу теплопередачі; підвищення продуктивності апарата шляхом турбулізації газорідинного середовища.

По питанням гідраеродинаміки, теплопередачі в пінному шарі, а також тепломасообміну між газом і рідиною в пінних апаратах є значна кількість публікацій [10, 11, 3, 12, 13]. Однак через сильний вплив конструктивних особливостей пінних апаратів на умови тепломасообміну для апарата нової конструкції не можливо отримати досить точні розрахунки, проте можливо описати процеси, які в ньому протікають.

Висота двофазного шару характеризує інтенсивність роботи контактних апаратів. Тому основною задачею взаємодії повітря та води в контактних апаратах є дослідження умов утворення та розвитку двофазного шару.

Об'єм активного простору апарата заповнений двофазним середови-

щем, визначає величину поверхні контакту між газом та рідиною, час взаємодії фаз, а відповідно і інтенсивність процесів тепломасообміну. Вимоги до гідродинамічного режиму роботи пінного апарата обумовлені необхідністю створення найбільш розвинутої піни, яка забезпечить високу інтенсивність процесів взаємодії газу та рідин.

Висота двофазного шару залежить від багатьох факторів таких, як швидкість газу, фізичні параметри газу та рідини, тиск газу, та ін. Їх вплив на характер двофазного шару можна встановити на основі аналізу умов та характеру взаємодії середовищ в цьому шарі.

Фактором, що обмежує швидкість газу в апаратах, є віднесення бризок. У відповідності з літературними даними бризковіднесення є складним явищем, яке залежить від багатьох режимних факторів. По багатьом спостереженням зі зростанням швидкості газу бризковіднесення досить швидко збільшується, при чому при визначеній швидкості початкове зростання віднесення бризок змінюється різким його підвищенням. Вплив інших факторів значно менший. Іноді відмічають слабе збільшення віднесення зі зростанням рівня рідини. В пінних апаратах створюється не стабільна, а динамічна піна, тому віднесення піни тут не спостерігається.

Аналіз результатів досліджень авторів показав, що висота піни є функцією від швидкості повітря в робочому перерізі апарата та статичного рівня рідини в ньому

$$H = f(w_r, h_{cm}), \quad (4)$$

h_{cm} – початковий рівень рідини відносно вихідного отвору щільного патрубку, мм; w_r – швидкість в робочому просторі апарата, м/с.

При зростанні швидкості повітря в перерізі апарата збільшується висота піни, також важливим показником є статичний рівень рідини в апараті, оскільки при відповідних його значеннях відбувається піноутворення.

По гідравлічному опору пінного шару можна судити не тільки про затрати енергії на процес, але про інтенсивність здійснення процесу, оскільки об'єм створеної піни та її опір взаємопов'язані. Швидкість процесу тепло- та масопередачі в пінному апараті пропорційні кількості енергії, затраченої на піноутворення. Дане положення використовується багатьма дослідниками для оцінки роботи масообмінних апаратів.

Для зручності досліджень та розрахунків гідравлічний опір розділяють на опір сухого повітряного тракту та газорідинного шару

$$\Delta P = \Delta P_{cp} - \Delta P_n, \quad (5)$$

де ΔP_{cp} – опір сухого повітряного апарата, Па;

ΔP_n – опір газорідинного шару (піни), Па.

Рядом авторів, було виявлено, що опір сухого повітряного тракту складається з опору патрубку для подачі та відведення повітря і залежить від наявності і типу вбудованих теплообмінників [14]. Проте, в існуючих дослідженнях не враховано особливості конструкції розробленого нами комбінованого компактного ударно-пінного апарата. Конструкція апарата містить вхідний патрубок, канал для подачі повітря у вигляді щілини розташований безпосередньо в корпусі апарата, та патрубок для відведення повітря. Внаслідок таких конструктивних особливостей, крім опору патрубка, для подачі та відведення повітря необхідно врахувати: 1) втрати на стиснення струмینی при вході в щілинний канал для подачі повітря; 2) тертя в каналі; 3) втрати на розширення струмینی при виході з щілинного каналу.

Загальний опір «сухого» апарата, може бути виражено залежністю

$$\Delta P_{\text{ст}} = f(\text{Re}_{\text{щ}}, l_{\text{щ}}, \sigma / S_{\text{щ}}, S_{\text{вх}}, S_{\text{в}}, L), \quad (6)$$

де $\text{Re}_{\text{щ}}$ – критерій Рейнольдса, віднесений до швидкості газу в щілинному патрубку;

$S_{\text{вх}}, S_{\text{щ}}, S_{\text{в}}$ – поперечний переріз вхідного патрубка та патрубків подачі та відведення повітря м^2 ; l – довжина патрубка для подачі повітря, м; σ – поверхневий натяг рідини, Н/м; L – довжина щілинного патрубка для подачі повітря, м.

Другою складовою опору пінного апарата є опір газоповітряної емульсії. Дослідниками запропоновано використовувати той відомий факт, що даний опір рівний гідродинамічному тиску робочого шару рідини, висота якого називається глибиною барботажу [14].

$$\Delta P = f(H, w_r, c_r), \quad (7)$$

де H – висота газоповітряної емульсії або піни, мм.

Збільшення швидкості повітря і рівня рідини в піддоні інтенсифікує процес масопередачі, а відповідно і ступінь осушення або зволоження повітря, однак при цьому зростає аеродинамічний опір [15].

Апарати належать до типу «трійних» теплообмінників. Механізм передачі тепла включає в себе три основних етапи: тепловіддачі від термоелектричних модулів до радіатора, тепловіддача від зовнішньої поверхні радіатора до пінного шару і нарешті тепломасообмін між рідиною і повітрям [13].

Тепловіддачу від поверхонь, які занурені в газорідинну систему, вивчали багато дослідників. В переважній більшості цих робіт гідродинамічний режим газорідинної системи, в якій розміщувались теплообмінні поверхні, були барботажними або перехідними. Всі автори відмічали той

факт, що при введенні газу в шар рідини, в якому знаходиться теплообмінний елемент, значення коефіцієнта тепловіддачі α від даного елемента до рідини різко зростає. Це відбувається внаслідок турбулізації рідини навколо теплообмінного елемента і частковому руйнуванню ламінарного пограничного шару рідини на поверхні теплообмінного елемента. Даний ламінарний шар, тепловіддача в якому відбувається тільки в результаті теплопровідності. Інтенсифікація гідродинамічного режиму аж до переходу до пінного веде до зростання величини α і загального коефіцієнту тепловіддачі K_T .

Тепловіддачу від зовнішньої поверхні трубних пучків до рідини в пінному шарі, описують залежністю

$$Nu = f\left(\frac{Re, Pr}{h_{ст}}\right), \quad (8)$$

де Nu – число Нуссельта

$$Nu = \frac{\alpha_n L}{\lambda_p}, \quad (9)$$

L – характерний лінійний розмір, м;

λ_p – коефіцієнт теплопровідності рідини, яка омиває труби теплообмінника, Вт/(м·К);

Re_T – число Рейнольдса для газового потоку

$$Re_T = \frac{v_T L}{\gamma_T}, \quad (10)$$

v_T – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, м²/с;

Pr_p – число Прандтля для потоку рідини;

$$Pr_p = \frac{v_p}{\alpha_p}, \quad (11)$$

v_p – коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини, м²/с;

α_p – коефіцієнт температуропровідності рідини, м²/с.

Найбільш складне завдання при описанні процесів, що відбуваються в апараті, складають процеси тепло- та масообміну у пінному шарі, оскільки в теплообмінні беруть участь два потоки, а характер тепло- та масопередачі, сукупність факторів, що їх визначають різні для кожного потоку [16].

Невизначеність комплексів αF та σF в умовах складної полідис-

першої структури піни, різних розмірів бульбашок, їх траєкторії і терміну їх існування, різним і змінним коефіцієнтом тепловіддачі на межі розділу фаз, викликають труднощі з визначенням поверхні контакту між повітрям і водою, а відповідно і коефіцієнтів тепло- і масопередачі.

В інженерній практиці звичайно користуються фіктивною величиною поверхні контакту фаз. Фіктивна величина поверхні теплообміну, до якої при розрахунках відносять коефіцієнти тепломасопередачі. Відповідно віднесені до поперечного перерізу або об'єму робочого простору апарата. Фіктивна величина поверхні теплообміну не відражає реальної поверхні контакту: зі зміною швидкості подачі газу і висоти шару рідини вона залишається постійною, хоч насправді реальна поверхня контакту змінюється.

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі між повітрям і водою, а також оцінці ефективності обробки повітря, доцільно використовувати укрупненні показники, в яких добуток відповідного коефіцієнту переносу на площу контакту віднесеного до тепла чи маси одного з середовищ (наприклад повітря), що приймає участь в процесі тепломасообміну. Число одиниць переносу явного і повного тепла в загальному вигляді описується наступними формулами [15]:

$$NTU_{\text{я}} = \frac{\alpha F}{c_{\text{р,г}} G_{\text{г}}} = \frac{t_1 - t_2}{\Delta t_{\text{п}}}, \quad (12)$$

$$NTU = \frac{\sigma F}{G_{\text{г}}} = \frac{I_1 - I_2}{\Delta I_{\text{п}}}, \quad (13)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, кДж/(м²·год·°С);

F – поверхня тепло- і масообміну, м²;

t_2 – кінцева температура повітря, °С.

σ – коефіцієнт тепло та масообміну, визначений по різниці ентальпій, кг/м²·год;

I_1, I_2 – початкова і кінцева ентальпія повітря, кДж/кг.

Залежність NTU від визначальних параметрів, тих, що й для середнього коефіцієнту тепловіддачі представлена і узагальнена формулою [17]:

$$NTU = f(H, w_{\text{г}}, \rho_{\text{п}}). \quad (14)$$

З досліджень ряду авторів випливає, що основний вплив на величину кількості одиниць переносу явного тепла має висота пінного шару, яка визначає активну частину поверхні теплообмінника. Менший вплив має швидкість повітря і густина рідини, проте з їхнім ростом кількість одиниць переносу також зростає.

Число одиниць переносу для існуючих пінних зрошувальних апаратів з розміщеним всередині теплообмінним контуром коливається в межах $NTU = 0,9 - 1,5$, для нового комбінованого ударно-пінного апарата, за попередніми дослідженнями, кількість одиниць переносу ентальпій складає $NTU = 0,7 - 1,8$. Можемо зробити висновок, що апарат не поступається ефективністю тепловолігісних процесів існуючим апаратам. При цьому відбувається покращення габаритних і вагових характеристик, чим забезпечується його мобільність. Отже, обраний напрямок є перспективним і потребує подальших досліджень.

1. Стефанов Е. В. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях / Е. В. Стефанов. – М. : Стройиздат, 1965. – 402 с.
2. Ладъженский Р. М. Кондиционирование воздуха / Р. М. Ладъженский. – М. : Пищепромиздат, 1957. – 442 с.
3. Богатых С. А. Комплексная обработка воздуха в пенных аппаратах / С. А. Богатых. – Л. : Судостроение, 1974. – 316 с.
4. Стефанов Е. В. Исследование модернизированной схемы форсуночной камеры. Кондиционирование воздуха в промышленных общественных и жилых зданиях / Е. В. Стефанов, В. Д. Коркин. – М. : Стройиздат, 1965.
5. Шаров Ю. И. Исследование теплоотдачи от поверхности в слое газо-жидкостной пены: диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук / Ю. И. Шаров. – Л. : ЛТИ им. Ленсовета, 1968. – 22 с.
6. А. С. № 370965 СССР. Абсорбционное устройство для осушения газа / Рымкевич А. А., Барский М. А., Кушленов Н. И., Сыщиков В. И., опубл. 22.11.1973 г.
7. А. С. № 197917 СССР. Устройство для обработки воздуха / Рымкевич А. А., Бросалин В. А., 1967.
8. А. С. № 254745 СССР. Испарительный конденсатор / Барский-Зорин А. А., Рымкевич М. А., опубл. 4.06.1969.
9. А. С. № 482597 СССР. Устройство для тепловлажностной обработки воздуха, опубл. 30.08.1969 г.
10. Позин М. Е. Пенные газоочистители, теплообменники и абсорберы / Позин М. Е., Мухленов И. П., Тарат З. Я. – Л. : Госхимиздат, 1959. – 124 с.
11. Мухленов И. П. Пенный режим и пенные аппараты / Мухленов И. П., Тарат З. Я., Туболкин А. Р., Тумаркина Е. С. – Л. : Химия, 1977. – 303 с.
12. Фокин И. М. Методика расчета процессов обработки воздуха водой в контактных аппаратах / И. М. Фокин, А. А. Рымкевич // Холодильная техника. – 1970. – № 6. – С. 15-20.
13. Барский М. А. Тепло и массообмен в абсорбционных установках / М. А. Барский, Н. И. Кушленов // Холодильная техника. – 1976. – № 3 – С. 33-37.
14. Кушленов Н. И. Исследование процессов тепловлажностной обработки воздуха раствором хлористого лития и водой в пенном теплообменном аппарате / Н. И. Кушленов // Ленинград : ЛВВИСКУ им. генерала армии А. Н. Комаровского, 1976.
15. Мерчанский В. Д. Исследование процессов абсорбционного осушения воздуха в пенных аппаратах / В. Д. Мерчанский, С. В. Мелей // Холодильная техника. – 1986. – № 5. – С. 33-35.
16. Мерчанский В. Д. О наружном теплообмене в пенно-испарительном воздухоохладителе / В. Д. Мерчанский, В. А. Бахенский // Холодильная техника. – 1986. – № 3. – С. 38-41.
17. Мерчанский В. Д. Исследование тепло- и массообмена в пенном аппарате для систем охлаждения и кондиционирования воздуха / В. Д. Мерчанский // Холодильная техника. – 1983. – № 5. – С. 26.

Рецензент: д.т.н., професор Гіроль М. М. (НУВГП)