

УДК 621.181:62

В.В. СУРТАСВ, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК, ТЕПЛОВИХ СХЕМ СИСТЕМ, ПРИСТРОЇВ, УСТАНОВОК УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛА (α -МОДЕЛЬ)

Мета. Підвищення загальної ефективності теплоенергетичних установок, теплових схем систем, пристроїв, установок утилізації тепла. Також метою розрахунків теплоутилізаторів є визначення показників стану робочих тіл (РТ) і потоків обміну теплоти й маси РТ у теплоутилізаторах з термодинамічної точки зору являють собою гомогенні або гетерогенні системи. До гомогенних, як відомо, відносять ті системи, хімічний склад і фізичні властивості яких у всіх їх частинах однакові або змінюються безупинно без стрибка від однієї точки до іншої, а до гетерогенних - системи складаються із двох або більше різних гомогенних областей. Гомогенні області в гетерогенній системі є її компонентами або фазами її компонентів. Після поділу гетерогенної системи на компоненти й фази представляється можливим її повний опис. Компоненти й фази характеризуються енергією, ентальпією, ентропією й ін..

Методи дослідження. Наукове завдання, проблема підвищення загальної ефективності різних теплоенергетичних установок, їх теплових схем установок, систем пристроїв утилізації теплоти, от далеко не повний перелік актуальних питань, наукових задач і проблеми, рішення яких неможливо без розробки спеціальних методик рішення інженерно-технічних завдань, актуальних наукових задач і проблеми проектування й будівництва контактних тепломасообмінних апаратів.

Наукова новизна полягає в тому, що теоретичні положення, методи, постановка завдання, моделі, граничні рівноважні стани робочих тіл, узагальнені безрозмірні показники рішення завдань сталого тепло- і масопереносу тепло й масообміну в апаратах утилізації теплоти.

Практична значимість виконаної роботи полягає в тому, що основний елемент будь-яких теплоутилізаційних установок, пристроїв, системи - тепломасообмінний апарат, від ефективності роботи якого, в значній мірі, залежить ефективність інженерного рішення, і, саме тому, розгляд надалі методів фізико-математичного моделювання процесів у тепломасообмінних апаратах-утилізаторах і основ інженерного проектування, рішення завдань і наукових проблем тепломасообміну установок, систем, пристроїв утилізації теплоти є актуальним на наш час.

Результати. Підвищення загальної ефективності теплоутилізаційних установок, пристроїв, системи - тепломасообмінний апарат.

Ключові слова: форсунка, форсункова камера, система, пристрій, установка, ефективність, тепло- і масообмін, фактори.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-51-75-83

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Теплоутилізаційні установки, призначені для сприйняття теплової енергії від ВЕР, можна розділити на два види: теплові насоси, що забезпечують збільшення потенціалу робочої речовини, і теплоутилізатори теплообмінники безпосередньої дії. Теплообмінники - теплоутилізатори можуть використовуватись тільки в тому випадку, якщо потенціал ВЕР вище потенціалу того середовища, яким передається тепла енергія. Існують різні класифікації теплоутилізаторів теплообмінників. У даній роботі прийнята класифікація, по якій теплоутилізатори-теплообмінники підрозділяються на три групи: 1) теплоутилізатори із проміжним теплоносієм; 2) регенеративні теплоутилізатори; 3) повітроповітряні (повітрорідинні) рекуперативні теплоутилізатори.

При всім різноманітті конструктивних рішень утилізаторів теплоти в кожному з них є наступні елементи: середовище - джерело теплової енергії; теплоприймач - теплообмінник, що сприймає тепло від джерела; теплопередатчик-теплообмінник, що передає теплову енергію споживачеві; робоча речовина, що транспортує теплову енергію від джерела до споживача. У регенеративних й повітро-повітряних (повітро-рідинних) рекуперативних теплоутилізаторах робочою речовиною є самі теплообмінні середовища [1-7].

Аналіз досліджень та публікацій. Певний інтерес представляє термодинамічний аналіз роботи теплоутилізаторів, що дозволяє встановити термодинамічну спільність і розходження процесів що протікають у них. В Т-s-координатах, як відомо, для загального випадку - теплоутилізатори із проміжним теплоносієм при однофазних робочих речовинах термодинамічний процес зображується в області або рідкої, або газоподібної фази, стан робочої речовини в циркуляційному насосі міняється незначно й можна думати що точки (крапки), що зображують стан робочої речовини на виході з теплоприймача й на вході в теплопередатчик, а також на виході з теплопередатчика й на вході в теплоприймач практично збігаються. Тоді зміна стану

робочої речовини в теплообмінниках зображується практично співпадаючими лініями, що проходять по напрямках $p=\text{const}$ (звичайно вказується і зміна стану середовища джерела й споживача теплоти).

Одна з можливих форм термодинамічної оцінки процесів, що протікають в утилізаторах теплоти, складається у визначенні відношення переданої теплової потужності, що витрачена на здійснення процесу. Оскільки в утилізаторах теплоти з насосами витрати потужності значно менше, ніж в утилізаторах теплоти з компресорами, для них це відношення вище. Звичайно, цей висновок не можна приймати як остаточний, адже в установках з тепловими насосами зменшується необхідна теплообмінна поверхня. Доцільність застосування кожного конкретного типу теплоутилізатора варто встановлювати на основі техніко-економічних розрахунків.

Основним елементом будь-якої теплоутилізаційної установки, пристрою, системи є тепломасообмінний апарат, від ефективності його роботи, у значній мірі, залежить ефективність інженерного рішення наукової задачі, проблеми. У зв'язку із цим надалі розглянемо методи фізико-математичного моделювання процесів у тепломасообмінних апаратах-утилізаторах і основи інженерного проектування установок, систем, пристрою утилізації теплоти, вирішення наукових задач і проблеми. Нагадаємо, що для теплоутилізаційних установок (патент України №55206А "Пристрій для мокрої грануляції металургійних шлаків", патент України №42199А й №44003А, відповідно: "Пристрій для мокрого гасіння коксу" і "Система для мокрого гасіння розжареного коксу") найбільш кращим прийнято вважати застосування контактних апаратів виконаних на базі "форсунок камер" [1-8].

Постановка задачі. Методи термодинамічного й фізико-математичного опису процесів в утилізаторах теплоти. Загальна постановка завдання. Розгляд процесів тепломасообміну в теплоутилізаторах систем, пристроїв, установок зустрічає значні труднощі, що змушує вводити в опис картини процесів спрощуючі передумови і часто обмежуватися чисто експериментальними результатами. У свою чергу, існує велика кількість різних експериментальних даних отриманих для тепломасообмінних апаратів, у яких робоче тіло (РТ) (речовина): пара, парогазова суміш і гази взаємодіють шляхом контакту з нагрітими або охолодженими поверхнями, водою, розчинами й т.д., в одних апаратах робоча речовина проходить уздовж нерухомих або рухомих оребрених поверхонь або через насадки, в інші продувається через "дощовий" простір із краплями різної дисперсності, в третій вода (розчини) стікає по поверхні у вигляді плівки, утворюючи спінений шар, хвилясту або гладку вільну поверхню. Взаємний напрямок потоків середовищ, що обмінюються, і тривалість їхньої взаємодії можуть бути досить різними [6, 7].

Викладення матеріалу і результати. При розгляді загальної фізико-математичної картини процесу взаємний вплив окремих явищ і факторів встановлюється в логічній послідовності звичайно прийнятої в теорії тепло- і масообміну.

Першочерговим є визначення термодинамічних потенціалів і інших характеристик стану тепломасообмінних середовищ - робочих речовин (тіл (РТ)), а також сили генеруючи потоки теплоти й маси в обмінній системі - апаратах утилізації теплоти. Потім необхідно виявити рівноважні стани середовищ, що обмінюються (робочими речовини (тіла (РТ))) у системі при їх різних кількісних співвідношеннях і параметрах. При розрахунках тепломасообмінних апаратів потрібно знати проміжні стани газів, пари, парогазової суміші, води й розчинів у процесі переходу від довільного початкового стану до деякого рівноважного кінцевого. Для розгляду динаміки таких процесів необхідні рівняння тепломасообміну і відповідні балансові рівняння середовищ, що обмінюються. Таким чином, для загальної фізико-математичної постановки завдання необхідні [6]:

термодинамічні рівняння стану середовищ - робочих речовин (тіл (РТ)) і рівняння їхнього рівноважного стану в розглянутій системі;

рівняння тепломасообміну між середовищами й відповідні їм балансові рівняння.

Ці рівняння можуть бути записані в диференціальній формі або явному виді. У ряді випадків вони можуть бути записані у вигляді системи рівнянь, іноді деякі з них вдається об'єднати.

Основні положення термодинаміки стану робочих речовин. Метою розрахунків теплоутилізаторов є визначення показників стану робочих тіл (РТ) і потоків обміну теплоти й маси РТ у теплоутилізаторах з термодинамічної точки зору являють собою гомогенні або гетерогенні системи. До гомогенних, як відомо, відносять ті системи, хімічний склад і фізичні властивості яких у всіх їх частинах однакові або змінюються безупинно без стрибка від однієї крапки до іншої, а

до гетерогенних - системи складаються із двох або більше різних гомогенних областей. Гомогенні області в гетерогенній системі є її компонентами або фазами її компонентів. Після поділу гетерогенної системи на компоненти й фази представляється можливим її повний опис. Компоненти й фази характеризуються енергією, ентальпією, ентропією й ін.

Загальні поняття про основні види фізико-математичного опису процесів тепло- і масопереносу в утилізаторах теплоти. Процеси тепло- і масопереносу, що протікають у тепломасообмінних апаратах описується з різним ступенем точності. Прийняті при фізико-математичному описі спрощення пов'язані з недостатнім знанням суті процесів, що протікають, неможливістю або більшою складністю рішення рівнянь що використовуються, а також бажанням спростити інженерні методи розрахунку.

Як правило, будь-який фізико-математичний опис вимагає попереднього визначення деяких експериментальних величин, що характеризують процес. Реалізація більш точного фізико-математичного опису вимагає меншої кількості експериментальних даних.

До основних видів фізико-математичного опису процесів тепло- і масопереносу в теплообмінних апаратах, розташованих у порядку зменшення точності відтворення реальних процесів, відносяться: опис на основі рівнянь Рейнольдса; на основі рівнянь пограничного шару; на основі одномірної моделі переносу (α -модель) [6-11].

Видам фізико-математичного опису властиві характерні тільки для них поняття.

Опис процесів на основі одномірного переносу (α -модель). Досить складним методом, що вимагають знання турбулентних характеристик потоків, які практично вкрай складно встановити, віддають перевагу методам, які засновані не на встановленні розподілу параметрів тепло- і масообмінних середовищ, а на встановленні величин теплових потоків і середніх температур. Останні, знайшли широке розповсюдження не тільки в наукових, але і у практичних і інженерних завданнях. У зв'язку вище сказаним широке розповсюдження отримало представлення процесу на основі одномірного процесу переносу, що припускає розгляд плинину потоку з постійною по перетині каналу швидкістю, температурою й концентрацією компонентів, рівним середньомасовим значенням.

Зв'язок між потоками теплоти q і маси β_p через одиницю поверхні і середньомасовою температурою чи потенціалом стану компонента встановлюється наступними співвідношеннями [6-11]

$$q = \alpha(t_{нов} - t); \beta_h = \alpha_\theta(\theta_{нов} - \theta),$$

де $t_{нов}$, t і $\theta_{нов}$, θ – відповідно температура і потенціал стану компонента в граничному шарі у поверхні й в потоці рідини.

Замість потенціалів стану при розрахунку можна використовувати й концентрації, які в комплексі з коефіцієнтами вище вказаних рівнянь, носять назву коефіцієнтів тепло- і масообміну. Вони враховують різницю реальних процесів й одномірної моделі і можуть бути отримані з рівняння Нав'є-Стокса, рівнянь збереження маси і рівнянь Рейнольдса [2, 5-11]:

$$\text{рівнянь руху} \quad \frac{\partial w}{\partial \tau} + \frac{1}{2} \frac{\partial(w^2)}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \phi_x + \frac{\partial}{\partial x} \left(\zeta \frac{w^2}{2} \right),$$

де ϕ_x – проекція щільності масових сил на ось x ; ζ – коефіцієнт втрат енергії при русі рідини в каналі;

$$\text{рівняння нерозривності} \quad \frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial x} = 0;$$

$$\text{рівняння балансу теплової енергії} \quad \frac{1}{w} \frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x} = \frac{\alpha_t F^{yo}}{(cp)_t w f} (t_{нов} - t);$$

$$\text{рівняння балансу маси речовини} \quad \frac{1}{w} \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{\alpha_\theta F^{yo}}{(cp)_a w f} (\theta_{нов} - \theta),$$

де F^{yo} – площа поверхні, що проходить з 1 м довжини, м²/м.

Для вологого повітря замість останнього рівняння може бути використане рівняння балансу вологи. У випадку якщо розглядається поверхня огородження з розподілим по товщині температурним потенціалом вологості.

У деяких випадках тепло- і масопереносу крім зазначених, варто вирішувати рівняння нестационарної теплопровідності й вологопровідності. Для тонкої стінки розподіленістю параметрів по її товщині можна не враховувати.

Розрахунки, з застосуванням одномірної моделі, виконують із введенням коефіцієнтів обміну і втрат енергії, пов'язаними з реальними процесами що протікають в тривимірних течіях, складними залежностями що встановлюються експериментально. Для цього необхідно рішення рівнянь збереження теплової енергії, рівняння збереження маси речовини та рівнянь прикордонного шару. Рішення цих рівнянь дозволяє визначити поля температур і концентрацій. Тоді локальні коефіцієнти обміну для законів Фур'є і Фіка можуть бути визначені по наступних залежностях, відповідно [6-11]

$$\alpha_t = -\frac{\lambda_t \partial t / \partial \tau}{t_{нов} - t}; \quad \alpha_\theta = -\frac{\lambda_\theta \partial \theta / \partial \tau}{\theta_{нов} - \theta}.$$

На основі даних зміни температури рідини вздовж поверхні й температури поверхні можливо визначити середнє значення коефіцієнта α .

Для випадку (задачі) тепло- і масообміну між двома рідинами, розділеними стінкою, одномірна модель, при одномірному розподілі температур в стінці, дозволяє розподіляти тепловий потік без попереднього визначення температур проміжних шарів.

Із умови стаціонарності і рівномірності розподілу температур в стінці слідує [6-11]

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\sum_{i=1}^{2n} \frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} = (t_1 - t_2)k; \quad k = \frac{1}{\sum_{i=1}^{2n} \frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}.$$

Процес обміну теплом рідин, що розділені стінкою, називають теплопередачею і характеризують коефіцієнтом теплопередачі k , що слідує з одномірної стаціонарної моделі при одномірному розподілі температур в розділяючих стінках, в деяких випадках необхідні додаткові роз'яснення.

Моделі тепло- і масообміну в апаратах утилізації теплоти. Процеси, що протікають у теплообмінних апаратах, можуть бути сталими й нестационарними. Сталим називають процес, у якому всі термодинамічні параметри стану в будь-якій точці (крапці) тепломасообмінного апарата зберігаються постійними в часі.

При складанні рівнянь для елементів простору (метод Ейлера) формальною ознакою, що відрізняє опис сталих процесів від нестационарних є відсутність у перших рівняннях часу. При математичному описі сталого процесу, виходячи з розгляду руху окремих часток (метод Лагранжа), рівняння будуть містити час.

Найбільше наочно сформульовані положення можна проілюструвати на прикладі роботи тепломасообмінного апарата на базі "форсункової камери". У форсунковій камері тепло- і масоперенос відбувається між газами, парами, парогазової сумішшю й окремими краплями, що переміщуються в просторі де розприскується вода. Якщо, у тривалому плинні часу, у форсункову камеру подавати постійні витрати води, газів, пари, парогазової суміші з постійними параметрами, то в камері встановиться стаціонарний режим, при якому в будь-якій її точці термодинамічні параметри стану, вологовміст, а також температура крапель рідини залишаються постійними. У той же час, якщо розглядати рух крапель або окремих мас пари, газів, парогазової суміші в обсязі камери, то їхні параметри природно будуть мінятися по ходу руху. Таким чином, поняття сталого процесу є умовним у тому розумінні, що в цьому процесі стаціонарний стан у просторі існує в умовах, коли параметри тепло- і масообмінних середовищ залишаються не постійними в часі.

Строго говорячи, що усталеного стану в роботі тепломасообмінних апаратів не існує. Однак, зміни параметрів зовнішнього клімату, робочих середовищ і т.п., що впливають на процеси тепло- і масопереносу в тепломасообмінних апаратах установок, пристроїв, систем утилізації теплоти, протікають звичайно істотно повільніше чим процеси в самих апаратах.

Так, наприклад, для більшості оребрених теплообмінників перехід з одного сталого стану в інший супроводжується виникнення збурювання триває 20 і більше хв. Внаслідок цього модель сталого режиму забезпечує необхідну точність при рішенні інженерних завдань. До таких завдань відносять підбір теплообмінників, що виконується для деяких найбільш складних умов,

іменованих розрахунковими: річний і сезонний енергетичний аналіз роботи тепломасообмінних апаратів та ін. У той же час існує більша група завдань, рішення яких вимагає застосування нестаціонарної моделі. До таких завдань відносять розрахунок перехідних процесів у самих тепломасообмінних апаратах, необхідний для правильного вибору систем автоматичного керування (наприклад, термовологосним режимом установки для апаратів УКП) [6-11].

Розглянуті вище фізико-математичні постановки завдань дозволяють вирішити завдання розрахунку теплообмінника в сталому й у нестаціонарному режимі.

Незважаючи на істотні розходження тепломасообмінних апаратів, що використовуються в установках, пристроях, системах утилізації теплоти, є можливість виділити кілька основних розрахункових фізико-математичних моделей, що описують процеси тепломасообміну. Цей підхід, крім чисто методологічних достоїнств, має ще одну важливу перевагу: він дозволяє створювати систему автоматизованого розрахунку теплоутилизаторів (САРТ): розрахунок фізико-математичних моделей або моделі вхідних у САРТ у вигляді однієї або декількох підпрограм, які можуть бути й у комплексі використані для автоматизованого розрахунку установок, систем, пристроїв теплоутилізації на основі розроблених алгоритму та методики визначення параметрів (на ЕОМ, ПЕОМ та ін.) наприклад, для установок, пристроїв і систем утилізації теплоти процесів мокрого гасіння коксу [6-11].

Розрахункові фізико-математичні моделі визначення параметрів теплоутилизаторів класифікуються по трьох ознаках: характеристиці процесів тепло- і масопереносу; формі опису тепло- і масопереносу; формі опису термодинамічних зв'язків між функціями стану; характеру взаємного руху тепло- і масообмінних середовищ.

Залежно від характеристики процесів тепло- і масопереносу розрізняють наступні моделі [6-11]: 1) модель теплопередачі через поділяючу потоки стінку, у тому числі оребрену (ТП-модель). За допомогою цієї моделі розраховують процеси переносу в повітрянагрівачах, конденсаторах теплових насосів, повітроохолоджувачах, що працюють без конденсації пари з вологого повітря, геліоприймачах і т.д.; 2) модель тепло- і масопереносу на поверхні розглянута при безпосередньому контакті двох робочих тіл - рідини та повітря (ТМО-модель); 3) модель теплопередачі через поділяючу потоки стінку (оребрену) при наявності тепло- і масообміну на одній або обох поверхнях стінки (ТМП-модель).

Залежно від форми опису термодинамічних зв'язків між функціями стану розділяють наступні два види розрахункових моделей [6-11]:

лінійна модель - якщо параметри масообмінних середовищ міняються в певних межах, що можливо лінеаризацію термодинамічних зв'язків, то в цьому випадку завдання розрахунку тепло- і масообміну зводиться до рішення лінійних диференціальних рівнянь. Лінійна модель використовується також при розрахунку теплопередачі не ускладненої масообміном (ТП-модель);

нелінійна модель - при описі процесів що протікають спільно, тепло- і масопереносу використовують нелінійні термодинамічні зв'язки, наприклад між вологовмістом повітря і його температурою, у тому розумінні, що вологовміст змінюється зі зміною температури нелінійно. У результаті і диференціальні рівняння, що описують процеси тепло- і масопереносу, виявляються нелінійними.

Залежно від характеру взаємного руху тепло- і масообмінних середовищ розрізняють моделі прямої, протитічної й перекрестнотічної. У перехресній схемі кожна з масообмінних середовищ може не перемішуватися по ходу руху. Це означає, що параметри рідин будуть мінятися по двох координатах. Можлива перехресна схема, у якій одне тепло- і масообмінне середовище переміщується, а інше не переміщується. У системах утилізації теплоти по ходу руху газів, пари, парогазової суміші, можуть установлюватися тепломасообмінники, що з'єднують по прямої-перехресних або протитічно-перехресній і ін. схемах.

Граничні рівновісні стани робочих тіл у теплообмінниках. Тепло- і масообмінні апарати часто являють собою термодинамічну систему ізольовану від зовнішнього середовища, за винятком входів і виходів робочих тіл (РТ). Через входи здійснюється підведення енергії й маси від зовнішнього середовища до даної системи, а через виходи - їх відвід.

Стан робочих тіл (РТ) на входах в систему змінюють детерміновано у вигляді заданих функцій часу або стохастично, за законами випадкових функцій. Зокрема, стани робочих тіл (РТ) на входах в систему можуть залишатися постійними (сталій режим роботи тепломасообмінних апаратів).

У середині системи взаємодія РТ відбувається уздовж поділяючої стінки або поверхні-границі розділу РТ. Тривалість взаємодії РТ, в систем, пропорційна довжини границі розділу середовищ РТ. Якщо тривалість взаємодії РТ або, що то ж саме довжина поверхні розділу РТ в системі прагне до нескінченності, то стан РТ прагне до деякого рівноважного, так званому граничному стану. Це граничний рівноважний стан залежить тільки від початкових параметрів і взаємного розташування входів і виходів у системі, тобто від особливостей системи на границі, і не залежить від умов, що складаються усередині її. Тому основні параметри РТ, що перебувають у рівноважному стані, можуть бути визначені незалежно від тепломасообмінних процесів що протікають усередині неї. У теплоутилізаторах систем, пристроїв, установок розглядаються процеси, що протікають між газами, парами, парогазовою сумішшю й рідиною (водою), що й спричиняється застосування отриманих залежностей для даних умов тепломасообміну [6, 7].

Граничні рівновісні параметри стану робочих тіл у теплообмінниках. У ТМО-моделях відбувається перенос не тільки явної теплоти, але й мас пари між парогазовою сумішшю та прикордонним шаром насиченого газу і рідини (води), а отже і теплоти пароутворення. У граничному рівноважному стані параметри стану парогазової суміші й у прикордонному шарі над рідиною наближаються до однієї і тієї ж величини, причому витрати парогазової суміші набагато менше витрат зрошувальної рідини (води).

Узагальнені безрозмірні показники й рішення завдань сталого тепло- і масопереносу в теплоутилізаторах. Якщо тепломасообмінний апарат має кінцеві розміри, то параметри РТ, на виході з нього займають деяке проміжне положення між параметрами на вході в тепломасообмінний апарат і параметрами граничного рівноважного стану.

Звідси слідує важливий висновок про те, що процес тепло- і масопереносу в тепломасообмінних апаратах можна розглядати як перехідний від деякого нерівноважного початкового стану до деякого проміжного стану стосовно граничного рівноважного стану. При цьому виявляється що для розрахунку тепломасообмінних апаратів зручно користуватися безрозмірним розглядом параметрів тепло- і масообмінних середовищ у перехідному процесі, як це робиться при розрахунку процесів нестационарної теплопередачі. Відносні перепади потенціалів стану для довільного перетину тепломасообмінного апарата.

Підвищення загальної ефективності теплоенергетичних установок, теплових схем систем, пристроїв, установок утилізації тепла. Завдання підвищення загальної ефективності різних теплоенергетичних установок, їхніх теплових схем установок, систем пристроїв утилізації тепла, от далеко не повний перелік актуальних питань, наукових задач і проблеми, рішення яких неможливо без розробки спеціальних методик рішення інженерно-технічних завдань, актуальних наукових задач і проблеми проектування й будівництва контактних тепломасообмінних апаратів.

Параметри ефективності утилізації тепла в тепломасообмінному апараті практично визначені дослідним шляхом на експериментальній моделі і установлені впливи факторів тепломасообміну на інтенсивність процесів конденсації і охолодження парогазового потоку з урахуванням первинних даних, отриманих у результаті аналізу процесів тепломасообміну в елементах установок, систем, пристрою утилізації теплоти. Такий підхід дозволив установити точні співвідношення між різними факторами тепломасообміну в контактному тепломасообмінному апараті установок, систем, пристрою утилізації тепла [1-7].

Проведені експериментальні дослідження тепломасообміну процесів контактного тепломасообміну в контактному тепломасообмінному апараті, для конденсаційно-охолоджувального пристрою, установки, системи, пристрою утилізації тепла, дозволили визначити значення складових теплових і масових балансових рівнянь для характеристичного елемента в якості якого був прийнятий одиничний конструктивний елемент форсункової камери - тангенціальну механічну форсунку й одиничний об'єм форсункової камери (ФК) у зоні її дії, визначені додаткові умови для поширення результатів експериментів на характеристичні елементи форсункових камер промислової технології, які засновані на виконанні вимог теорії подоби для критеріїв і коефіцієнтів, які включені в модель і характеризують якісні параметри роботи форсунок [6-11].

Тепломасообмін при безпосередньому контакті парогазової суміші і води, виникає в умовах розходження потенціалів температур і тисків між умовним центром парогазового потоку і шаром парогазової суміші, що прилягає до поверхні теплоносія. Виходячи з умови охолодження парогазової суміші й конденсації пари, у шарі в поверхні теплоносія, парогазову суміш

приймаємо насиченою, при заданому тиску p_w і температурі t_w . Охолодження парогазової суміші та конденсація пари досягається розпиленням охолодженого теплоносія і як наслідок, перезволоженням, перенасиченням парогазового потоку, середній тиск парогазової суміші залишається при цьому незмінним. Потік маси водяних пар, під впливом різниці потенціалів тисків $\Delta p_n = p_w - p_n$, спрямований до поверхні води, а потік "осушеного" газу змішуючись із парогазовою сумішшю, направляється у зворотну сторону, причому водяні пари вільно дифундують у парогазову суміш.

Підвищення температури теплоносія на виході із контактного апарата протікає за рахунок дії наступних факторів [6-11]:

в результаті контакту теплоносія і парогазової суміші при $t_{nzc} > t_w$, що відповідає умовам охолодження парогазової суміші, «явне» тепло передається від парогазової суміші теплоносію;

вдоль поверхні контакту теплоносія утворюється простір, в якому парогазова суміш знаходиться в стані насичення і перенасичення, що відповідає умовам конденсації пари з парогазової суміші, при цьому тепловиділення фазових перетворень (переходів) пара «скрита» теплота, передається теплоносію, що веде до його нагріву [6-11];

в результаті конденсації пари із парогазової суміші утворюється конденсат, який має температуру фазового переходу при тиску насичення, змішуючись з теплоносієм, він підвищує його температуру на виході з контактної апарату [6-11].

Для складення балансового рівняння для потоків тепла і маси в конденсаційно-охолоджувальному пристрої системи, пристрою, установки, з теплоутилізатором на базі «форсункових камер», спочатку встановлюємо розподіл потоків тепло і маси в секціях контактної апарату на базі «форсункових камер». Потік «явної» теплоти, приведений до поверхні контакту, при наявності температурного напору між взаємодіючими середовищами в контактному апараті $\Delta t = t - t_w$ описується рівнянням [6-11], кВт

$$dQ_{\text{я}} = -G \times c_p \times dt = \alpha \times (t - t_w) dF.$$

Потік маси також спрямований від парогазової суміші до теплоносія і обумовлює зниження вмісту пари в парогазовій суміші [6-11], кг/с

$$dG_{\text{в}} = -G \times f(g_k) = \beta_p \times (p_n - p_w) dF,$$

де β_p і α – коефіцієнти що обумовлюють відповідно перенос тепла і мас при контактному тепломасообміні, $\text{кг/Па} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^2$ ($\text{кг/м}^2 \cdot \text{год}$ (кг/м^2)) і $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, відповідно; G – витрата парогазової суміші в секції, кг/с ; $dG_{\text{в}}$ – приріст витрати теплоносія за рахунок притоку конденсату, кг/с ; dF – площа контакту, м^2 ; c_p – теплоємність парогазової суміші, $\text{кДж/кг} \cdot \text{°К}$.

В процесі конденсації пара з парогазової суміші, виділяється теплота фазового переходу [6-11], кВт

$$dQ_r = dG_{\text{в}} \times r,$$

де $(G_{\text{в}}) g_k$ – витрата конденсату в ФК ($Q_r = g_k \times r$, кВт), кг/с ; r – теплота фазового перетворення - $r = 2501,43 - 2,304 t_w$, кДж/кг , при температурі насичення пари t_w .

Потік тепла конденсату, що виноситься з теплоносієм з секції контактної апарату, описується наступним виразом, кВт

$$dQ_k = g_k c_w dt_k,$$

де g_k – витрата конденсату на виході із апарату, кг/с ; dt_k – зміна температури конденсату від температури фазового переходу до температури на виході з апарату, $^{\circ}\text{C}$, а притік до теплоносія «скритої» і «явної» теплоти, і конденсату підвищує його температуру і збільшує витрату на виході із секції контактної апарату, кВт

$$dQ_w = G_w c_w dt_w + g_k c_w dt_k,$$

де G – витрата парогазової суміші, кг/с ; G_w – витрата води, кг/год ; c_w – теплоємність води, $\text{кДж/кг} \cdot \text{°C}$.

Інтегрування виразу в інтервалі зміни температури парогазової суміші через поверхню контакту F [6-11], кВт

$$Q_{\text{я}} = - \int_{t_1}^{t_2} G c_p dt = -G c_p (t_1 - t_2). \quad (1)$$

Кількість тепла, що передається від парогазової суміші до води визначається інтегруванням виразу в межах зміни температури води від t_w , до t_w2 і температури конденсації t_k до t_w2 по

поверхні контакту F , кВт

$$Q_w = - \int_{t_{w1}}^{t_{w2}} G_w c_w dt_w + \int_{t_{w2}}^{t_K} g_k c_w dt_k = G_w c_w (t_{w2} - t_{w1}) + g_k c_w (t_K - t_{w2}), \quad (2)$$

де t_{w2} – температура теплоносія на виході з секції контактного апарата, °С, визначається із співвідношення витрат конденсату і зрошувальної води.

Рівняння теплового балансу для секції в конденсаційно-охолоджувальному пристрої установи, пристрою, системи з теплоутилізатором на базі «форсунок камер», с врахуванням формул (див. вище) приведений до поверхні контакту F має вигляд, кВт

$$G_{nc} (t_1 - t_2) + g_k r_k = G_w c_w \left((t_{w2} - t_{w1}) + \frac{g_k}{G_w} (t_K - t_{w2}) \right). \quad (3)$$

Балансові рівняння тепломасообміну, виведені для випадку тепломасообміну в конденсаційно-охолоджувальному пристрої установи, системи пристрою з теплоутилізатором на базі "форсунок камер", є базовими при отриманні співвідношень між факторами тепломасообміну в процесі експериментальних досліджень на експериментальній моделі конденсаційно-охолоджувального пристрою. Незважаючи на спрощення, прийняті при одержанні балансових рівнянь для контактного апарата, це не позначиться на точності методики розрахунку що розробляється, тому показники ступенів і величини критеріїв, певні експериментальним шляхом за результатами статистичної обробки даних, нівелюють погрішності пов'язані із прийнятими спрощеннями, також у роботах [6-11] представлені і теоретична база і представлені результати експериментів засновані на використанні фізико-математичної моделі одномірного переносу теплоти та маси (α -модель) стосовно до характеристичного елемента "форсунок камери", представлена в пунктах 1.3, 2.3-2.5 робіт [6-11].

Висновки і напрями подальших досліджень. Підвищення загальної ефективності теплоенергетичних установок, теплових схем систем, пристроїв, установок утилізації тепла, наукове завдання, проблема підвищення загальної ефективності різних теплоенергетичних установок, їх теплових схем установок, систем пристроїв утилізації теплоти, от далеко не повний перелік актуальних питань, наукових задач і проблеми, рішення яких неможливо без розробки спеціальних методик рішення інженерно-технічних завдань, актуальних наукових задач і проблеми проектування й будівництва контактних тепломасообмінних апаратів.

Узагальнено безрозмірні показники й рішення завдань сталого тепло- і масопереносу в теплоутилізаторах. Розглянуто граничні рівновісні параметри стану робочих тіл у теплообмінниках і моделі тепло- і масообміну в апаратах утилізації теплоти. Наведено опис процесів на основі одномірного переносу (α -модель). Наведено основні положення термодинаміки стану робочих речовин. Викладено методи термодинамічного й фізико-математичного опису процесів в утилізаторах теплоти і загальна постановка завдання.

Список літератури

1. Суртаєв В.В. Високотемпературні некаталітичні нейтралізатори вихлопних газів ДВЗ – ефективний спосіб боротьби з автомобільними забрудненнями / В зб. Розвиток промисловості та суспільства // Матеріали конференції. Том 1.- Кривий Ріг, 2016. – С. 188.
2. Деклараційний патент України №58925А. Пристрій для знешкодження шкідливих викидів двигунів внутрішнього згоряння. / Суртаєв В.В., Суртаєв В. М. Бюл.№ 8.- 15.08.2003.
3. Деклараційний патент України №49452А. Пристрій для знешкодження шкідливих викидів автомобільних двигунів внутрішнього згоряння. / Суртаєв В.В., Суртаєв В.М. Бюл.№ 9.- 16.09.2002.
4. Суртаєв В.В. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Нагнітачі і теплові двигуни» для студентів спеціальності 6.050601 – теплоенергетика усіх форм навчання / Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет» КНУ. - Кривий Ріг. - 2015, 56 с., Р № 681.
5. Деклараційний патент на корисну модель №10948. Система сухого подрібнення матеріалів. / Суртаєв В.В., Суртаєв В.М., Ведута М.М., Осадчук Ю.Г. Бюл.№ 12.- 15.12.2005.
6. Підвищення ефективності утилізації теплоти при мокрому гасінні коксу. / Дисертація на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук., Суртаєва В.В. за спеціальністю 05.14.06. - «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. 2008.
7. Суртаєв В.В. Методичні вказівки до виконання самостійних робіт з дисципліни «Джерела тепло енергопостачання промислових підприємств» для студентів спеціальності 6.050601 – Теплоенергетика усіх форм навчання / Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет» КНУ. - Кривий Ріг. - 2016, 9 с., Р № 175.

8. Суртаєв В.В. Практикум з дисципліни «Системи виробництва і розподілу енергоносіїв» для студентів пряму підготовки 6.050601 «Теплоенергетика» всіх форм навчання /Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет» КНУ. - Кривий Ріг. - 2016, 16 с., Р № 165.

9. Суртаєв В.В. Методичні вказівки до виконання самостійних робіт з дисципліни «Системи виробництва і розподілу енергоносіїв» для студентів спеціальності 6.050601– Теплоенергетика усіх форм навчання /Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет» КНУ. - Кривий Ріг. - 2016, 9 с., Р № 176.

10. Суртаєв В.В. Практикум з дисципліни «Надійність теплоенергетичних систем» для студентів спеціальності 7.05060101, 8.05060101 «Теплоенергетика» всіх форм навчання /Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет» КНУ. - Кривий Ріг. - 2016, 19 с., Р № 83.

11. Суртаєв В.В. Методичні вказівки до виконання самостійних робіт з дисципліни «Надійність теплоенергетичних систем» для студентів спеціальності 7.05060101, 8.05060101– Теплоенергетика усіх форм навчання /Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет» КНУ. - Кривий Ріг. - 2016, 8 с., Р № 177

Рукопис подано до редакції 16.10.2020

УДК 614.841

М.В. ДОМНІЧЕВ, О.В. НЕСТЕРЕНКО, кандидати техн. наук, доценти,

О.Ю. БЛИЗНЮКОВА, канд. техн. наук, асист.

Криворізький національний університет

В.М. МАРИЧ, ст. викл.

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ТА РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЗАХИСТУ ПРАЦІВНИКІВ ОФІСНИХ ПРИМІЩЕНЬ

Мета. Метою даної роботи є проведення аналізу існуючої ситуації з пожежами в нашій державі, визначення основних небезпек та вибір моделей засобів індивідуального захисту для офісних працівників.

Методи дослідження. Теоретичний метод дослідження на основі обробки і інтерпретації статистики та порівняння ефективності запропонованих заходів.

Наукова новизна. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Її метою є прикладне дослідження захисту працівників невинних приміщень від факторів пожежі при застосуванні різних респіраторів.

Практична значимість. Запропоновано використання нових фільтруючих респіраторів з метою зменшення ризику отруєння продуктами згоряння працівників невинних приміщень.

Результати. Вплив небезпечних і шкідливих факторів пожежі обумовлює погіршення стану здоров'я, втрату працездатності та може нести загрозу життю працівника.

Важливу роль у зменшенні числа загиблих і отруєних на пожежах працівників відіграє підбір і впровадження індивідуальних засобів захисту. Використання організаційних заходів спрямованих на попередження пожеж і мінімізацію наслідків, не завжди дають очікуваний ефект, що вимагає використовувати інші способи і засоби захисту працівників від шкідливих і небезпечних факторів пожежі.

У цьому випадку використовуються засоби індивідуального захисту від дії шкідливих і небезпечних факторів. Використання респіраторів дозволяє знизити вплив на працівника цих факторів і запобігти отруєнню чи загибелі.

Сучасним засобом захисту від факторів пожежі можуть бути фільтруючі респіратори, що не лише захищають органи дихання працівника, а також його очі, шкірні покриви та волосся на голові. При цьому вони мають такі переваги як невелику вагу, гарний огляд, простоту використання а також мінімальний опір диханню.

Все це в комплексі, дозволяє рекомендувати такі респіратори для використання під час проведення евакуації працівників невинних приміщень а також при виконання короткочасних робіт.

Ключові слова: пожежа, респіратор, безпека, газ, засоби індивідуального захисту.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-51-83-91

Проблеми та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Дослідження сучасного стану пожежної безпеки в Україні актуалізує широке коло проблем, пов'язаних із пізнанням загальних закономірностей щодо небезпек для працівників офісних приміщень, що є важливою проблемою в рамках сучасних умов.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання пожежної безпеки в Україні взагалі і визначення основних шкідливих і небезпечних факторів, що можуть мати вплив на працівників офісних (ширше – невинних приміщень), зокрема, є надзвичайно актуальною науково-практичною задачею, яка потребує вирішення.