

Гідродинаміка і тепломасообмін в контактних газо-крапельних утилізаторах теплоти

Гидродинамика и тепломассообмен в контактных газо-капельных утилизаторах теплоты

Hydrodynamics and heatmass trasfer in the contact heat utilizator of gas-droplet type

1. Номер державної реєстрації теми - 0115U000328.
2. Науковий керівник – д.т.н., проф. Безродний М.К., Bezrodny Mikhail K.
3. Суть розробки, основні результати.

(укр.)

Роботу присвячено експериментальним дослідженням, що направлені на підвищення ефективності роботи контактних тепломасообмінних апаратів шляхом збільшення міжфазної поверхні тепломасообміну при розпиленні рідини відцентровими форсунками, впровадження яких приводить до суттєвої економії матеріальних та енергетичних ресурсів.

Виконано комплексні експериментальні дослідження характеристик факелу розпилені рідини (густини зрошення, кута розкриття факела форсунки, середнього об'ємно-поверхневого діаметра крапель рідини). Встановлено вплив вхідних параметрів на відповідні характеристики та визначено площу поверхні крапель розпиленої рідини.

Експериментально встановлено значення граничної температури нагріву води та її залежність від початкового паровмісту, при якій вода нагрівається до граничної температури в залежності від початкового паровмісту й витрати сухого повітря. Визначено параметричні границі ефективного використання відцентрової механічної форсунки без випаровування крапель нагрітої рідини.

Експериментально досліджено інтенсивність тепло- і масообміну в контактному апараті газокрапельного типу з відцентровою форсункою в умовах утилізації теплоти відхідних газів енергетичних агрегатів. Вперше отримано емпіричні залежності для розрахунку середніх коефіцієнтів тепловіддачі та масовіддачі, які відносяться до дійсної поверхні крапель розпиленої води. Встановлено особливості процесів переносу в газокрапельній системі та отримано узагальнювальні залежності для процесів тепло- і масовіддачі.

На основі експериментальних досліджень характеристик розпилені та процесів тепломасообміну при конденсації пари з парогазової суміші на краплях розпиленої рідини розроблено методику розрахунку крапельного контактного утилізаційного апарату.

(рос.)

Работа посвящена исследованиям, направленным на повышение эффективности работы контактных аппаратов путем увеличения межфазной поверхности теплообмена путем распыления жидкости, внедрение которых приводит к существенной экономии материальных и энергетических ресурсов.

Работа содержит результаты экспериментальных исследований характеристик распыла и процессов тепломассообмена при конденсации пара из парогазовой смеси на каплях распыленной жидкости.

Исследовано влияние температуры и давления воды на тонкость распыла (величину среднего объемно-поверхностного диаметра капель) для центробежной форсунки в параметрических условиях ее работы и применительно к условиям работы контактного утилизатора теплоты отходящих газов. На основании проведенных опытов получены новые зависимости величины среднего объемно-поверхностного диаметра капель для параметров распыливания жидкости с помощью центробежной форсунки в новом диапазоне изменения избыточного давления и температуры воды перед форсункой.

В результате теоретического анализа движения капель жидкости в факеле распыления центробежной форсунки и использования экспериментальных данных по средним объемно-поверхностным диаметрам капель предложена методика определения действи-

тельной межфазной поверхности процессов тепломассообмена в контактных газожидкостных аппаратах капельного типа.

Экспериментально определена зависимость граничной температуры нагрева воды в контактном аппарате газочапельного типа с центробежной форсункой применительно к условиям утилизации теплоты отходящих газов энергетических агрегатов. Исследования проведены в диапазоне избыточных давлений воды перед форсункой (0,2–0,6) МПа и объемной доли водяных паров парогазовой смеси на входе в аппарат от 0,02 до 0,45. Показано использование полученной зависимости для расчета предельных значений параметров парогазового потока, ограничивающих область эффективной работы контактного аппарата с конденсацией пара и отсутствием режима испарения капель нагретой жидкости.

Экспериментально определена интенсивность тепло- и массоотдачи в контактном аппарате газочапельного типа с центробежной форсункой в условиях утилизации теплоты отходящих газов энергетических агрегатов. Исследования проведены в диапазоне избыточного давления воды перед форсункой (0,2 - 0,6) МПа и объемной долей водяного пара парогазовой смеси на входе в аппарат от 0,08 до 0,35. По результатам экспериментальных исследований определены коэффициенты тепло- и массоотдачи, которые были отнесены к реальной поверхности капель. Полученные в работе результаты экспериментальных исследований коэффициентов тепло- и массоотдачи сравнивались с известными литературными данными для одиночной капли. Установлено, что интенсивность теплоотдачи для капель жидкости с парогазовым потоком выше, чем для одиночной капли, а для массоотдачи, ниже. Установлены особенности процессов переноса в газочапельной системе и получены обобщающие зависимости для процессов тепло- и массообмена для факела капель конуса распыла.

В результате указанного комплекса работ предложена методика теплового расчета контактного газочапельного утилизатора теплоты низкотемпературных отходящих газов при распылении жидкости механической центробежной форсункой, которая учитывает реальные условия протекания процессов переноса в рассматриваемой двухфазной системе. Приведенная процедура теплового расчета утилизационной установки позволяет при заданных параметрах отходящих газов и воды на входе получить тип и количество распылителей для генерирования капель воды, выполнить компоновку в штатном корпусе для отвода газов, рассчитать параметры теплоносителей на выходе с установки и определить ее теплопроизводительность.

(англ.)

Scientific work is devoted to experimental research, aimed at improving the efficiency of contact heat and mass transfer units by increasing the interfacial surface of heat and mass transfer during the liquid spraying by centrifugal nozzles, implementation of which results in significant savings of material and energy resources.

Comprehensive experimental study of the characteristics of the liquid spraying torch (irrigation density, expansion angle of nozzle torch, the average volume-surface diameter of liquid droplets) was done. The influence of input parameters to the relevant properties was shown and surface area of the sprayed liquid droplets was defined.

The limit temperature of water heating and its dependence on initial vapor content in which water is heated to the limit temperature depending on the initial vapor content and dry air output were experimentally set. The parametric borders of effective use of centrifugal mechanical nozzle without evaporation of heated liquid drops were defined.

Intensity of heat and mass transfer in the contact gas-droplet unit with centrifugal nozzle in terms of heat utilization of energy units' exhaust gases was experimentally researched. The empirical dependences for calculating the average heat transfer and mass transfer coefficients relating to the actual surface of the sprayed liquid droplets are obtained for the first time. The peculiarities of transfer processes in the gas-droplet system were determined and generalized dependence for heat and mass transfer were received.

Based on experimental studies of spraying characteristics and heat and mass transfer processes at vapor condensation from vapor-gas mixture on the sprayed liquid droplets, the method of calculating the droplet contact utilization unit was developed.

Keywords: centrifugal nozzle, vapor-gas mixture, volume-surface diameter of droplets, volume fraction of water vapor, contact heat and mass transfer.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

1. Патент України на корисну модель №72730. Нагрівник текучої рідини / Безродний М. К., Барабаш П. О., Голяд М. Н., Рачинський А. Ю. опубл. 27.08.2012. Бюл. №16.
2. Патент України на корисну модель №72725. Нагрівник текучої рідини / Безродний М. К., Барабаш П. О., Голяд М. Н., Голубев О. Б. Рачинський А. Ю. опубл. 27.08.2012. Бюл. №16.
3. Патент України на корисну модель №75095. Апарат повітряного охолодження / Безродний М. К., Барабаш П. О., Голяд М. Н., Трокоз Я. Є. Рачинський А. Ю. опубл. 26.11.2012. Бюл. №22.
4. Патент України на корисну модель №78507. Контактний теплоутилізатор / Безродний М. К., Барабаш П. О., Голяд М. Н., Голубев О. Б., Рачинський А. Ю. опубл. 25.03.2013. Бюл. №6.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Науково технічний рівень виконаної роботи перевищує світовий.

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Застосування результатів виконання НДР забезпечить підвищення коефіцієнтів тепло- та масовіддачі в апаратах контактного типу на 15-20 %, що дозволить зменшити матеріалоємність на 10-15 % (в порівнянні з кращими світовими аналогами - контактними теплоутилізаторами з активною насадкою) при збереженні заданої продуктивності та економії паливних ресурсів.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Утилізація теплоти є енергозберігаючою технологією міжгалузевого застосування тому крапельні утилізатори контактного типу можуть використовуватись не тільки в галузях паливно-енергетичного комплексу, а і в промисловості, агропромисловому комплексі, транспорті, комунальному господарстві - скрізь де є джерела теплових викидів.

8. Стан готовності розробки.

В результаті проведених комплексних багатопланових експериментальних досліджень та на їх основі сформульовані і обґрунтовані наукові засади створення тепломасообмінних апаратів нового покоління, впровадження яких забезпечить суттєву економію матеріальних та енергетичних ресурсів (створені методика теплового та гідравлічного розрахунку, метод і конструктивна схема та визначені оптимальні режимні параметри і рекомендації по конструкції активної зони).

9. Існуючі результати впровадження.

Результати роботи впроваджено у навчальний процес у вигляді нових розділів у лекційних курсах – при викладанні дисциплін: "Використання вторинних енергоресурсів" (розділ- Утилізація теплоти в контактному крапельному апараті), "Проектування теплоенергетичних установок" (розділ- Контактні крапельні апарати).

Результати виконання цієї НДР вже передані в ТОВ "Інженерний центр "Алміс" для використання при виконанні технічного проекту крапельного контактного апарату. Заплановано використання отриманих результатів для розробки утилізаторів теплоти нового покоління у ВАТ "Хіммаш" м. Коростень (Міністерство хімічної та нафтохімічної промисловості) та у ВАТ "Трипільський дослідний завод щитової та пультавої апаратури" м. Українка, Обухівський р-н, Київська обл.

10. Назва організації, телефон, E-mail

КПІ ім. Ігоря Сікорського, теплоенергетичний факультет, кафедра теоретичної і промислової теплотехніки, (044) 204-90-92, tuf_tpt@ukr.net.

11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. Безродный М.К., Барабаш П.А., Голяяд Н.Н. Гидродинамика и контактный тепло-массообмен в газожидкостных системах: монография. - 2-е изд. перераб. и доп. - К.: КПИ им. Игоря Сикорского, Изд-во "Политехника", 2017. – 560 с.
2. Безродный М. К. Некоторые характеристики распыла центробежных форсунок контактных утилизаторов отходящих газов капельного типа [Текст] / М. К. Безродный, Н. Н. Голяяд, П. А. Барабаш, А. Ю. Рачинский, А. Б. Голубев // Промышленная теплотехника. – 2013. – Т.35. – №6. С. 31-38.
3. Безродный М. К. Влияние входных параметров воды на тонкость распыла центробежных форсунок [Текст] / М. К. Безродный, Н. Н. Голяяд, А. Ю. Рачинский, П. А. Барабаш, А. Б. Голубев // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2013. – №2. – С. 23-30.
4. Безродный М. К. До визначення поверхні тепломасообміну в контактних теплоутилізаторах крапельного типу [Текст] / М. К. Безродний, М. Н. Голяяд, А. Ю. Рачинський // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – №1/8 (67). С. 21-26.
5. Безродный М. К. Масовіддача при утилізації теплоти парогазової суміші в контактному апараті газокрапельного типу [Текст] / М. К. Безродний, А. Ю. Рачинський, М. Н. Голяяд // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві науковотехнічний збірник. – 2015. – №2. С. 43-51.
6. Безродный М. К. Экспериментальное исследование коэффициентов тепло- и массообмена при утилизации теплоты парогазового потока в факеле капель механической форсунки [Текст] / М. К. Безродный, А. Ю. Рачинский, Н. Н. Голяяд, П. А. Барабаш // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – №6/8 (78). С. 50-59.
7. Безродный М.К., Рачинский А.Ю. Конвективна тепловіддача при утилізації теплоти парогазової суміші в контактному апараті газокрапельного типу. – Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірал Макарова. – Миколаїв. – 2015. – №5 (461). С. 54-61.
8. Безродный М. К. Параметрические границы эффективного использования центробежной водяной форсунки в контактных утилизаторах теплоты отходящих газов [Текст] / М. К. Безродный, А. Ю. Рачинский, Н. Н. Голяяд, П. А. Барабаш // Инженерно-Физический журнал. – 2016. – Т.89. – №4. С. 868-875.
9. Безродный М. К. Методика теплового расчета контактного газокрапельного утилизатора теплоты низкотемпературных отходящих газов [Текст] / М. К. Безродный, А. Ю. Рачинский, Н. Н. Голяяд // Вісник Національного технічного університету «ХП»: Збірник наукових праць. Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – 2016. – №9(1181). С. 128-135.

12. Фото розробки



Фото. 1. Загальний вигляд експериментальної установки.

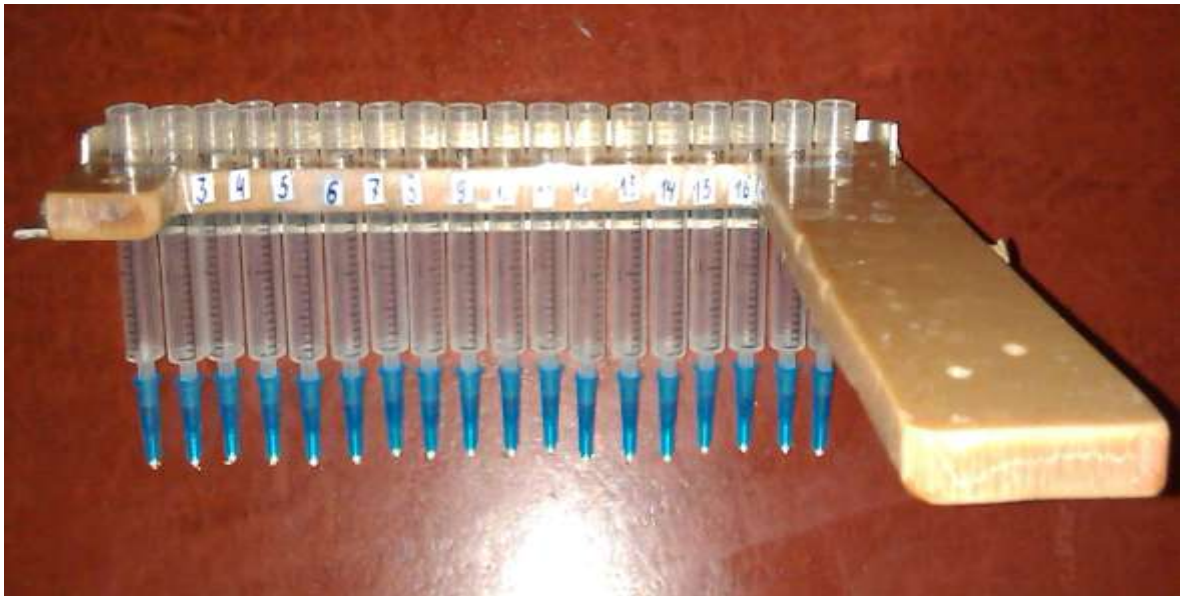


Фото 2. Загальний вигляд пробовідбірника.



Фото 3. Зовнішній вигляд пристрою для уловлення крапель розпиленої рідини.

13. Ключові слова: відцентрова форсунка, парогазова суміш, об'ємно-поверхневий діаметр крапель, об'ємна доля водяної пари, контактний тепломасообмін.