

А. А. ВАСИЛЕНКО, Л. Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, С. К. КУСАКОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА КОНДЕНСАЦИИ ПАРА ИЗ СМЕСИ С ВОЗДУХОМ В КАНАЛАХ ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

В статье рассмотрена постановка эксперимента по изучению процесса конденсации пара из смеси с воздухом в каналах пластинчатого теплообменника. Была описана и построена экспериментальная установка для исследований теплообменных процессов в каналах пластинчатого теплообменника. В результате работ было изготовлено пять экспериментальных образцов, сваренных с помощью аргонодуговой сварки пакетов гофрированных пластин. Были приведены все геометрические характеристики сварных пакетов. Описаны все использованные в ходе экспериментов измерительные приборы и снятые с их помощью параметры. Установлено, что экспериментальная установка позволяет проводить исследование процесса конденсации водяного пара из смеси с воздухом при стабильных заданных значениях основных режимных параметров. Приведена методика определения основных характеристик (средних и локальных) процесса конденсации пара из парогазовой смеси в исследуемых каналах. В дальнейшем полученные экспериментальные результаты будут использованы для проверки адекватности математических моделей процесса конденсации пара из парогазовой смеси в каналах пластинчатых теплообменников с различной формой гофрировки теплопередающих пластин, а также для накопления статистических данных исследований в данной тематике. Предполагается, что данные исследования позволят внедрять пластинчатые конденсаторы для химической промышленности и других различных отраслей народного хозяйства.

Ключевые слова: интегрированные технологии, экспериментальная установка, теплообменные аппараты, пакет гофрированных пластин, энергосбережение, пластинчатые конденсаторы, конденсация газа, пар.

О. А. ВАСИЛЕНКО, Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, С. К. КУСАКОВ

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КОНДЕНСАЦІЇ ПАРИ ІЗ СУМІШІ З ПОВІТРЯМ В КАНАЛАХ ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛОБІМНІКА

У статті розглянута постановка експерименту з вивчення процесу конденсації пари з суміші з повітрям в каналі пластинчатого теплообмінника. Була описана і побудована експериментальна установка для досліджень теплообмінних процесів в каналах пластинчатого теплообмінника. В результаті робіт було виготовлено п'ять експериментальних зразків, зварених з допомогою аргонодугового зварювання пакетів гофрованих пластин. Були наведені всі геометричні характеристики зварних пакетів. Описано всі використані в ході експериментів вимірювальні прилади і зняті з їх допомогою параметри. Встановлено, що експериментальна установка дозволяє проводити дослідження процесу конденсації водяної пари для суміші з повітрям при стабільних заданих значеннях основних режимних параметрів. Наведено методику визначення основних характеристик (середніх і локальних) процесу конденсації пари з парогазової суміші в досліджуваних каналах. У подальшому отримані експериментальні результати будуть використані для перевірки адекватності математичних моделей процесу конденсації пари з парогазової суміші в каналах пластинчастих теплообмінників з різною формою гофрування теплопередаючих пластин, а також для накопичення статистичних даних досліджень в даній тематиці. Передбачається, що дані дослідження дозволять впроваджувати пластинчасті конденсатори для хімічної промисловості та інших різних галузей народного господарства.

Ключові слова: інтегровані технології, експериментальна установка, теплообмінні апарати, пакет гофрованих пластин, енергосбереження, пластинчасті конденсатори, конденсація газу, пар.

A. A. VASILENKO, L. L. TOVAZHNYANSKY, S. K. KUSAKOV

EXPERIMENTAL SET-UP FOR THE STUDY OF THE CONDENSATION PROCESS OF STEAM FROM A MIXTURE WITH AIR IN THE CHANNELS OF PLATE HEAT EXCHANGER

The article describes the formulation of an experiment to study the process of condensation of steam from a mixture with air in the canals of a plate heat exchanger. An experimental facility for the study of heat exchange processes in the channels of a plate heat exchanger was described and constructed. As a result of the work, five experimental samples were fabricated, welded using argon arc welding of corrugated plate packages. Were given all the geometric characteristics of welded packages. All measuring instruments used in the course of experiments and parameters taken with them are described. It was established that the experimental setup allows to study the process of condensation of water vapor from a mixture with air at stable preset values of the main operating parameters. A method for determining the main characteristics (medium and local) of the process of steam condensation from a vapor-gas mixture in the channels under study is presented. In the future, the experimental results obtained will be used to check the adequacy of mathematical models of the process of steam condensation from a vapor-gas mixture in the channels of plate heat exchangers with various forms of corrugation of heat transfer plates, as well as for accumulating statistical data of research in this topic. It is assumed that these studies will introduce plate capacitors for the chemical industry and other various sectors of the economy.

Keywords: integrated technology, experimental installation, heat exchangers, corrugated plate package, energy saving, plate condensers, gas condensation, steam.

Введение. Как показывает выполненный Международным Энергетическим Агентством [1] анализ, промышленные предприятия в 2005 году потребляли около одной трети общего количества энергии, выработанной в мире. При этом от 10 до 50 % этой энергии теряется с выбросами в окружающую среду. Около 60% этих потерь происходит в виде тепла низкого потенциала полезная утилизация которого может существенно повысить эффективность энергопотребления [2]. Существенная часть этих потерь происходит с

потоками отходящих газов после сжигания топлива, сушки различных материалов и других технологических процессов [3]. Существенная часть тепла отходящих газов содержится в виде скрытой теплоты парообразования конденсируемых компонентов [4] и для утилизации этой теплоты требуется эффективное теплообменное оборудование отличающееся высокими коэффициентами теплопередачи, компактностью, малой металлоемкостью при сохранении экономической

© Василенко А.А., Товажнянский Л.Л., Кусаков С.К., 2018

целесообразности его применения. Этим требованиям удовлетворяют пластинчатые теплообменные аппараты [5].

По сравнению с процессами теплообмена в однофазном потоке и при конденсации чистого пара конденсация пара из парогазовой смеси характеризуется более высокой сложностью совместно протекающих процессов переноса тепла и массы в газовой фазе. Изучению этих процессов в трубчатых теплообменниках посвящено большое количество работ, обзор которых приведен в обзоре состояния вопроса [6]. В ряде работ, обзор которых сделан в статье [7], выполнено численное моделирование процесса в трубчатых теплообменниках. Пластинчатые теплообменники хорошо зарекомендовали себя в различных технологических процессах химической промышленности, как, например, показано в работе [8]. В работе [9] предложен метод моделирования пластинчатых конденсаторов многокомпонентных смесей паров, а в работе [10] даны теоретические основы моделирования процесса в пластинчатом теплообменнике агрегата синтеза аммиака. Конденсация чистого пара в каналах ПТА рассмотрена в работах [11–13]. Теоретические положения и изложенные в этих работах модели требуют дальнейшего уточнения для случаев конденсации пара из парогазовой смеси в каналах пластинчатых теплообменников, с учетом возможности изменения их геометрической формы в целях ее оптимизации. Уточненные модели и формулы требуют проверки их адекватности путем сравнения с результатами экспериментальных и опытно-промышленных исследований.

В данной статье рассмотрена постановка эксперимента по изучению процесса конденсации пара из парогазовой смеси в каналах пластинчатых конденсаторов. Это потребовало создания опытной установки и экспериментальных моделей каналов сетчато-поточного типа различной геометрической формы. С целью получения достаточно полной информации о процессе определялись как средние, так и локальные по длине канала его характеристики. Приведена методика определения основных характеристик (средних и локальных) процесса конденсации пара из парогазовой смеси в исследуемых каналах. Конкретный вид критериальной обработки опытных данных излагается при обсуждении результатов исследований. Обработка результатов экспериментов на основании излагаемой методики произведена по разработанным автором программам на ПК. Программы составлены в среде Маткад (Mathcad).

Описание экспериментальной установки. Для экспериментальных исследований процесса конденсации водяного пара из смеси с воздухом в каналах пластинчатых теплообменников разработана установка, позволяющая исследовать процесс в

каналах из пластин с различной формой гофрировки. Ее схема приведена на рисунке 1. При работе установки водяной пар генерируется в испарителе 1 и перед подачей в пароперегреватель 2 смешивается с воздухом, подогретым до температуры насыщения получаемой парогазовой смеси. Подогрев воздуха осуществляется в пластинчатом подогревателе 15 за счет тепла пара из котельной, предусмотрена также непосредственная подача острого пара из котельной в воздушный поток, при этом сконденсированная влага отделяется в сепараторе 16. Расход поступающего воздуха измеряется с помощью двух параллельно включенных ротаметров, рассчитанных на различные диапазоны расходов воздуха. Полученная после смешения пара с воздухом смесь нагревалась в пароперегревателе 2 до температуры на 0,5–1 °С выше температуры ее насыщения (в пароперегревателе так же достигается более полное перемешивание паровоздушной смеси). После пароперегревателя смесь поступает в центральный канал испытуемого опытного образца 3, в котором происходит конденсация паровой ее части. Расход образовавшегося в экспериментальном образце конденсата измеряется объемным способом с помощью мерника 5. Далее несконденсированная в экспериментальном образце часть паровоздушной смеси поступает во вспомогательный конденсатор 4. Здесь осуществляется более полная конденсация пара содержащегося в прошедшей через экспериментальный образец паровоздушной смеси, а расход образующегося при этом конденсата определяется с помощью мерника 6. Количество пара содержащегося в уходящем из мерника 6 воздухе рассчитывается по температуре на его выходе и расходу воздуха, в предположении его насыщенности паром.

Охлаждающая вода циркулирует в замкнутом контуре, включающем емкость 10, из которой циркуляционным насосом 11 вода подается в два периферийных канала экспериментального образца и затем в теплообменнике 9 охлаждается до температуры в емкости 10, в которую она возвращается. Это позволяет сохранять постоянную температуру охлаждающей воды в ходе эксперимента. Расход воды измеряется с помощью комплекта сдвоенных диафрагм с дифманометром 12.

Все основные компоненты установки снабжены теплоизоляцией предотвращающей потери тепла в атмосферу. Контрольное измерение температур на входе и выходе из каналов, конденсата в мерниках и поступающего воздуха производится лабораторными термометрами с ценой деления 0,1 °С. Температуры на входе и выходе потоков также измеряются с помощью термопар медь-константан. Термопары медь-константан применяются также для измерения распределения температуры охлаждающей воды и паровоздушного потока по длине каналов. Температура перегрева пара в пароперегревателе

регулюється з допомогою контактної термометра. Вимірювання тиску паровоздушної суміші на вході та виході, а також по довжині каналу дослідного зразка, тиску повітря у ротаметрів проводиться зразковими манометрами класу точності 0,4. При величині перепаду тиску по конденсуючому теплоносію на всьому каналі або на окремих ділянках по довжині каналу менше 0,2 бар він вимірюється з допомогою U-образних трубок, частково заповнених водним конденсатом. Об'ємна частка повітря в поступаючій паровоздушній суміші розраховується по заміреним витратам повітря та пари, а також вимірюється з допомогою аналізу проб

паровоздушної суміші методом виморозивання.

Експериментальна установка дозволяє проводити дослідження процесу конденсації водяного пари з сумішшю з повітрям при стабільних заданих значеннях основних режимних параметрів в діапазоні їх зміни: температура охолоджуючої води 20–95 °С; абсолютний тиск паровоздушної суміші 0,101–0,42 МПа; швидкість охолоджуючої води в каналах 0,11–1,1 м/с; масова швидкість паровоздушної суміші 4–85 кг/(м²·с); об'ємна частка повітря в отриманій паровоздушній суміші 0–0,85.

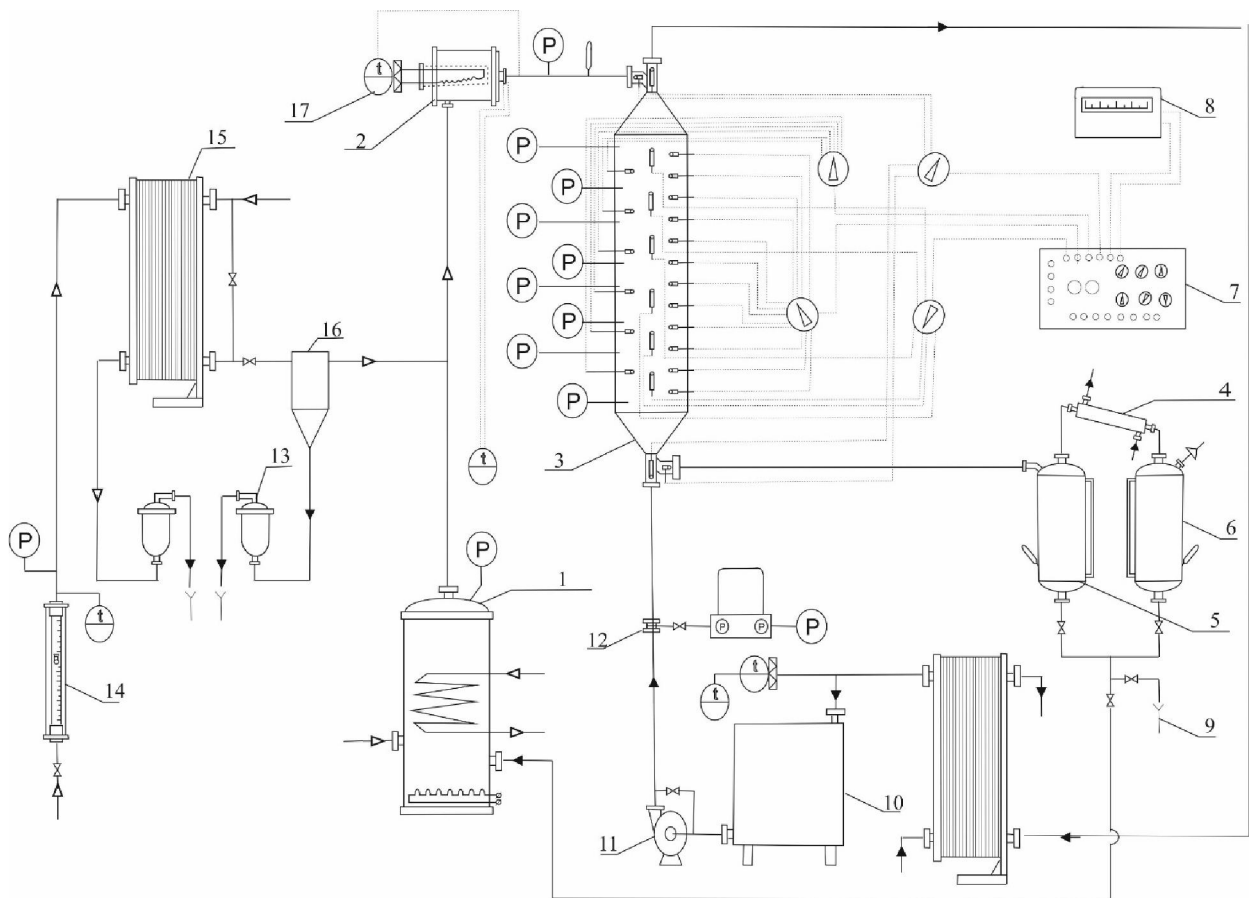


Рис. 1 – Схема експериментальної установки: 1 – іспаратор; 2 – пароперегрівач; 3 – дослідний зразок; 4 – допоміжний конденсатор; 5, 6 – мерники; 7 – потенціометр Р 37-1; 8 – нульгальванометр; 9 – пластинчастий холодильник; 10 – бак охолоджуючої води; 11 – насос; 12 – комплект двохдвохдіафрагм з дифманометром; 13 – конденсаторний горшок; 14 – ротаметр; 15 – пластинчастий підогрівач; 16 – сепаратор; 17 – терморегулятор.

Описание экспериментальных образцов.

Изготовлено пять экспериментальных образцов, которые представляют собой сварные пакеты из четырех гофрированных пластин (рис. 2), соединенных между собой аргонодуговой сваркой таким образом, что направления гофр двух соседних пластин пересекаются. В результате между пластинами имеются три одинаковых канала сетчатопоточного типа. При проведении экспериментов в центральном канале происходит конденсация

паровоздушной смеси. При этом в два периферийных канала противоток подается охлаждающая вода. Эскиз гофрированного поля пластины и схема канала приведены на рис. 3. В экспериментальных образцах применены пластины с треугольными гофрами, сечение которых показано на рис. 3 (4). Пластины и все элементы экспериментальных образцов изготовлены из нержавеющей стали Х18Н10Т. Экспериментальные образцы имеют специальные коллекторы для подачи паровоздушной смеси и

охлаждающей воды, которые обеспечивают равномерное распределение потоков гидравлических сопротивлений на входе и выходе каналов. Весь канал условно разбит по длине на семь участков, обозначенных на рис. 4 пунктирными линиями. В каждом из обозначенных на рис. 4 сечений экспериментального образца, на центральной оси

соответствующего канала, установлены термопары для замера температур потока теплоносителей. Термопары в центральном канале помещались на держателях из стальной нержавеющей проволоки диаметром 0,5 мм, конструкция которых показана на рисунке 5б.

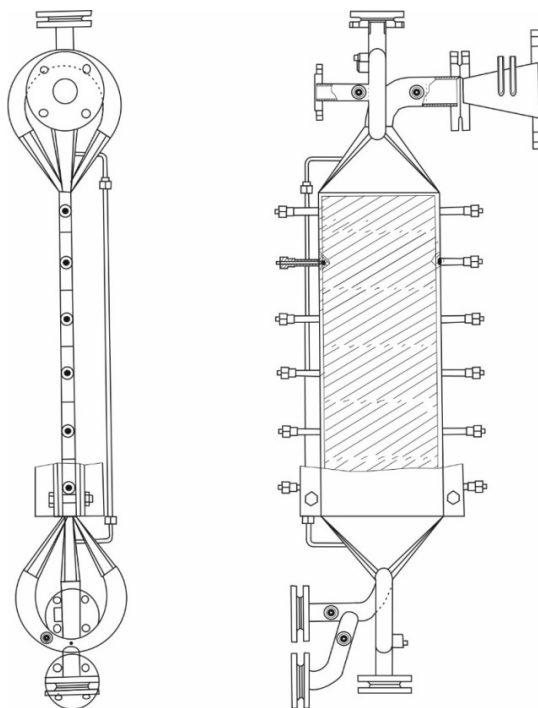


Рис. 2 – Экспериментальный образец

Горячий спай термопары укреплен в центре держателя, с помощью которого он фиксировался в нужной точке посреди канала. Провода термопары приклеены к отводящей проволоке держателя клеем

БФ-2, который затем был подвергнут полимеризации. Снаружи одета трубка из фторопласта Ф-4 диаметром 2 мм. Вывод проводов термопары осуществлен через уплотнение в торце канала.

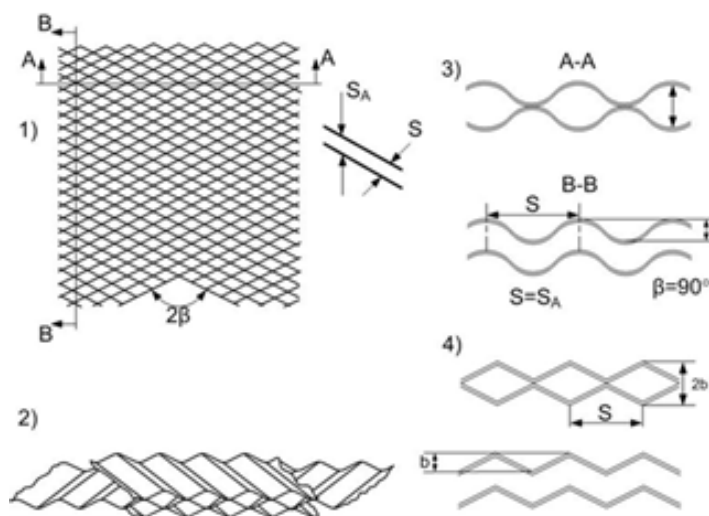


Рис. 3 – Схема гофрированного поля пластин и образуемых ими каналов: 1, 2 – пересечение гофр двух смежных пластин; 3, 4 – поперечное сечение каналов с различной формой гофрировки

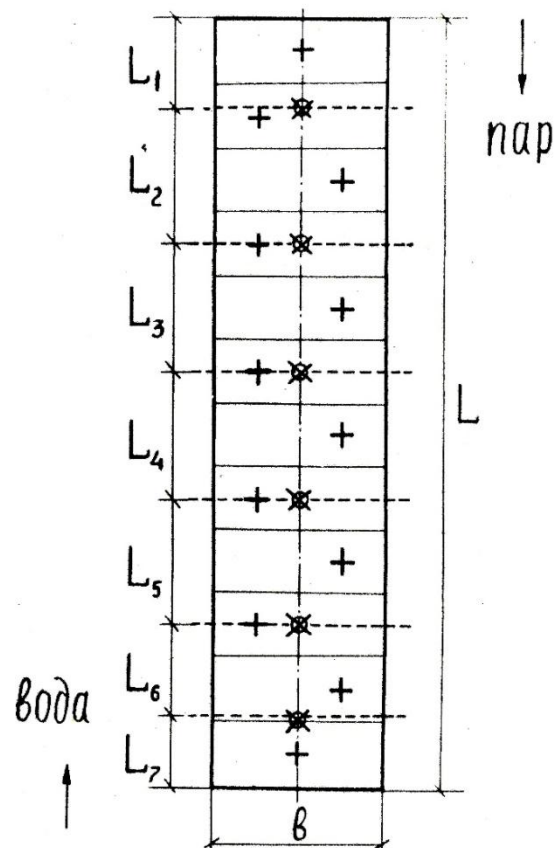


Рис. 4 – Схема расположения термопар в каналах опытного образца: x - термопары в центральном канале (температура смеси); o - термопары в одном из крайних каналов (температура охлаждающей воды)

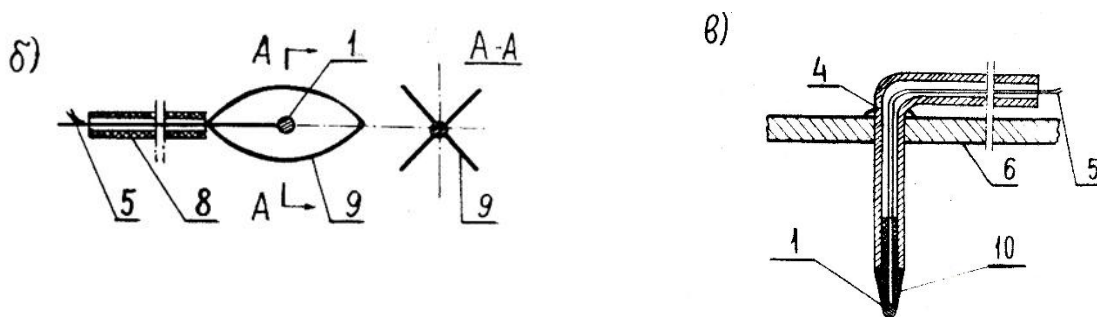


Рис. 5 – Способ установки термопар: б) в центральном канале; в) в одном из крайних каналов. 1 – слай; 4 – медная трубка; 5 – провода термопары; 6 – пластина; 8 – фторопластовая трубка; 9 – нержавеющая проволока; 10 – пластмасса

Схема установки термопар в одном из крайних каналов пакета пластин показана на рис. 5в. Провода термопары помещены в медный капилляр диаметром 2 мм, уплотненный эпоксидной смолой. Горячий слай выступает на 3–3.5 мм.

Капилляр вводится в заданную точку внутри канала через отверстие посередине наклонной части гофры одной из крайних пластин пакета, навстречу

направлению течения охлаждающей воды. Затем это место запаивается.

Для замера давления и перепада давления по высоте центрального канала в каждом из обозначенных на рис. 4 сечений в торцах канала приварены аргонодуговой сваркой штуцера.

При проведении экспериментов пакет пластин зажимается болтами между двумя коробчатыми плитами с прокладками из листовой резины. Чтобы исключить потери тепла в окружающую среду, снаружи опытный образец закрыт теплоизоляционным материалом.

Основные геометрические размеры изготовленных для проведения экспериментов пластин, а также характеристики гофр и каналов между пластинами приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Геометрические характеристики экспериментальных образцов

№/№ / обр.	S, мм	h, мм	β , град	L, мм	в, мм	б, мм	F _{пл} , м ²	f _к *10 ² , м
1	18	5	60	1000	225	1	0,250	0,113
2	18	5	30	1000	225	1	0,250	0,113
3	36	10	60	1000	225	1,2	0,250	0,225
4	27	7,5	60	1000	225	1	0,250	0,165
5	18	5	45	1000	225	1	0,250	0,109

Выводы и перспективы дальнейшего развития данного направления.

Разработанная экспериментальная установка позволяет проводить исследования конденсации водяного пара из смеси с воздухом в широком диапазоне изменения основных параметров процесса: скоростей движения теплоносителей в каналах, содержания воздуха в смеси, тепловых нагрузок.

В экспериментах определяются температуры и давления в процессе конденсации на входе и выходе каналов, а также на восьми участках по их длине.

Экспериментальные образцы пакетов пластин позволяют изучить влияние на интенсивность процесса конденсации пара из паровоздушной смеси геометрической формы гофрировки теплопередающих пластин исследовать влияние угла

наклона гофр к вертикальной оси пластины и их шага. Угол при вершине гофры для всех пластин постоянный и равный 120 градусам.

В дальнейшем полученные экспериментальные результаты будут использоваться для проверки адекватности математических моделей процесса конденсации пара из парогазовой смеси в каналах пластинчатых теплообменников с различной формой гофрировки теплопередающих пластин.

Дальнейшая проверка и доработка моделей планируется по данным промышленных испытаний пластинчатых теплообменников. Это позволит разработать метод и программы расчета пластинчатых конденсаторов пара из парогазовой смеси для химической и других отраслей промышленности.

Список литературы

- IEA. 2008. Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency. www.iea.org/publications/freepublications/publication/Indicators_2008.pdf (Accessed 20th March 2014).
- Капустенко П. А., Кузин А. К., Макаровский Е. Л., Тovaжнiянский Л. Л., Ульев Л. М., Черная Е. Б., 2004. Альтернативная энергетика и энергосбережение: современное состояние и перспективы. ООО Издательский дом «Вокруг цвета, Харьков, Украина.
- Тovaжнiянский Л. Л., Анипко О.Б., Маляренко В.А., Абрамов Ю. А., Кривцова В. И., Капустенко П. А., 2002. Основы энерготехнологии промышленности. НТУ «ХПИ», Харьков, Украина.
- Arsenyeva O.P., Čuček L., Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.O., Savchenko Y.A., Kusakov S.K., Matsegora O.I., 2016. Utilisation of waste heat from exhaust gases of drying process, Front. Chem. Sci. Eng. 10 (1) (2016) 131–138.
- Klemeš J. J., Arsenyeva O., Kapustenko P., Tovazhnyansky L., 2015. Compact Heat Exchangers for Energy Transfer Intensification: Low Grade Heat and Fouling Mitigation. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Huang J., Zhang J. and Wang L., 2015. Review of vapor condensation heat and mass transfer in the presence of non-condensable gas. Applied thermal engineering, 89, 469–484.
- Kharangate C.R., Mudawar, I., 2017. Review of computational studies on boiling and condensation. International Journal of Heat and Mass Transfer, 108, 1164–1196.
- Kapustenko P., Boldyryev S., Arsenyeva O., Khavin G., 2009. The use of plate heat exchangers to improve energy efficiency in phosphoric acid production. Journal of Cleaner Production, 17(10), 951–958.
- Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.O., Nagorna O.G., Perevertaylenko O.Y., 2004. The simulation of multicomponent mixtures condensation in plate condensers. Heat transfer engineering, 25(5), 16–22.
- Тovaжнiянский Л.Л., Капустенко П.А., 1989. Теоретические основы расчета и разработки сварных пластинчатых теплообменников для агрегатов синтеза аммиака. Химическая промышленность, 8, 17–22.

11. Arsenyeva O., Tovazhnyansky L., Kapustenko P., Perevertaylenko O., Khavin, G., 2011. Investigation of the new corrugation pattern for low pressure plate condensers. *Applied Thermal Engineering*, 31(13), 2146–2152.
12. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Капустенко П.О., Арсен'єва О.П., Ольховська О.І., Орлова Є.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (підручник з грифом МОНУ), Київ: Центр учбової літератури, 2011. – 832 с.
13. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Денисова А.Є., Демидов І.М., Капустенко П.О., Арсен'єва О.П., та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи). 2-ге вид. доп. [текст] підручник. – Київ: Центр учбової літератури, 2016. – 470 с.
6. Huang J., Zhang J. and Wang L., 2015. Review of vapor condensation heat and mass transfer in the presence of non-condensable gas. *Applied thermal engineering*, 89, 469–484.
7. Kharangate C.R., Mudawar, I., 2017. Review of computational studies on boiling and condensation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 108, 1164–1196.
8. Kapustenko P., Boldyryev S., Arsenyeva O., Khavin G., 2009. The use of plate heat exchangers to improve energy efficiency in phosphoric acid production. *Journal of Cleaner Production*, 17(10), 951–958.
9. Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.O., Nagorna O.G., Perevertaylenko O.Y., 2004. The simulation of multicomponent mixtures condensation in plate condensers. *Heat transfer engineering*, 25(5), 16–22.
10. Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.O., 1989, Theoretical foundations for design and development of welded plate cold exchangers for ammonia synthesis units. *Chemical Industry (Khimicheskaya promyshlennost)*, 8, 17–22. (In Russian).
11. Arsenyeva O., Tovazhnyansky L., Kapustenko P., Perevertaylenko O., Khavin, G., 2011. Investigation of the new corrugation pattern for low pressure plate condensers. *Applied Thermal Engineering*, 31(13), 2146–2152.
12. Tovazhnyansky L.L., Bukhhalo S. I., Kapustenko P.O., Arsen'eva O.P., Ol'hov's'ka O.I., Orlova Є.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (pidruchnik z grifom MONU), Kiiv: Centr uchbovoї literaturi, 2011. – 832 p.
13. Tovazhnyansky L.L., Bukhhalo S.I., Denisova A.Є., Demidov I.M., Kapustenko P.O., Arsen'eva O.P., та ін. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi). 2-ge vid. dop. [tekst] pidruchnik. – Kiiv: Centr uchbovoї literaturi, 2016. – 470 p.

Bibliography (transliterated)

1. IEA. 2008. Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency. www.iea.org/publications/freepublications/publication/Indicators_2008.pdf (Accessed 20th March 2014).
2. Kapustenko P.O., Kuzin A. K., Makarovskiy E. L., Tovazhnyansky L.L., Ulyev L. M., Chernaya E. B., 2004. *Alternativnaya energetika I energosberezhenie: sovremennoe sostoyanie i perspektivi*. OOO Izdatelskiy dom «Vokrug tsвета».
3. Tovazhnyansky L.L., Anipko O.B., Malyarenko V.A., Abramov Y.A., Krivzova V.I., Kapustenko P.A., 2002. The basics of energy saving technologies in industry. NTU «KhPI», Kharkiv, Ukraine.
4. Arsenyeva O.P., Čuček L., Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.O., Savchenko Y.A., Kusakov S.K., Matsegora O.I., 2016. Utilisation of waste heat from exhaust gases of drying process, *Front. Chem. Sci. Eng.* 10 (1) (2016) 131–138.
5. Klemeš J. J., Arsenyeva O., Kapustenko P., Tovazhnyansky L., 2015. *Compact Heat Exchangers for Energy Transfer Intensification: Low Grade Heat and Fouling Mitigation*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Надійшла (received) 23.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Василенко Олександр Анатолійович (Василенко Александр Анатольевич, Vasilenko Aleksandr. Anatolevich) – аспірант кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4054-6588>; e-mail: kirgleb1969@gmail.com

Товажнянський Леонід Леонідович (Товажнянский Леонид. Леонидович, Tovazhnyansky Leonid Leonidovich) – почесний ректор Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9000-3824>; e-mail: cfe.ukraine@gmail.com

Кусаков Сергій Константинович (Кусаков Сергей Константинович, Kusakov Sergey Konstantinovich) – аспірант кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7192-7784>; e-mail: sergey.kusakov@gmail.com