

УДК 532.529

А. В. Дмитриев, Л. В. Круглов, А. И. Хафизова,
О. С. Дмитриева, М. А. Молчанов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТЕКАНИЯ ВОДЫ В СТРУЙНО-ПЛЕНОЧНОМ КОНТАКТНОМ УСТРОЙСТВЕ

Ключевые слова: насадочные устройства, теплообмен, растекание жидкости, градирня.

В настоящее время оборотное водоснабжение нашло широкое применение в энергетической, нефтехимической и других отраслях промышленности. Оборотное водоснабжение позволяет в несколько раз сократить потребление воды на технологические нужды предприятия. Наибольшее распространения при охлаждении воды получило применение контактных охладителей испарительного типа. Существующие конструкции контактных охладителей позволяют эффективно охлаждать жидкость, однако требуют больших капитальных затрат на изготовление и обслуживание. При этом некоторые конструкции не позволяют организовать большую площадь поверхности контакта фаз и имеют большое гидравлическое сопротивление. Эффективность охлаждения испарительного аппарата и интенсивность его работы во многом зависит от равномерности распределения контактирующих фаз – воды и воздуха. В связи с этим необходимо разработать и изготовить новые контактные устройства, которые отвечали бы ряду требований: высокая эффективность охлаждения, низкое гидравлическое сопротивление, небольшие материальные затраты. На основе анализа существующих насадочных контактных устройств были модернизированы перегородки струйно-плёночного контактного устройства. В статье для проверки эффективности работы перегородок была представлена спроектированная экспериментальная установка. Авторами были проведены серии экспериментов, результаты которых подтверждают эффективность работы перегородок. Рассмотрены разные условия образования поверхности воды, с которой происходит испарение, что определяется конструкцией контактных устройств. Предложенная конструкция перегородки позволяет создавать высокоразвитую поверхность контакта между жидкостью и газом с малым гидравлическим сопротивлением. В работе рассмотрены зависимости площади поверхности контакта двух фаз от размера лепестков, скорости истечения жидкости, а также от расположения источника истечения относительно первого лепестка. Выявлена следующая зависимость, что с увеличением размера лепестка увеличивается площадь контакта двух фаз. Однако при дальнейшем увеличении диаметра наблюдается иная тенденция, жидкость начинает проскакивать через отверстие в пластине, тем самым разрушая пленку. Разработанная конструкция струйно-плёночного контактного устройства позволяет обеспечить равномерное распределение жидкости по поверхности, что позволяет применять ее в градирне.

A. V. Dmitriev, L. V. Kruglov, A. I. Khafizova,
O. S. Dmitrieva, M. A. Molchanov

EXPERIMENTAL STUDY OF WATER SPREADING IN A JET-FILM CONTACT DEVICE

Keywords: packing devices, heat and mass transfer, liquid spreading, cooling tower.

Recycled water supply is widely used today in energy, petrochemical, and other industries. Recycled water supply allows several-time reducing the water consumption for the process needs of a company. Evaporative contact coolers are most commonly used in water cooling. The existing contact cooler designs allow efficient cooling the liquid. However, they require high investments in manufacturing and maintenance. At the same time, some designs do not allow arranging a large phase contact area and have a large hydraulic resistance. The cooling efficiency and operation intensity of an evaporative device are largely dependent on the distribution evenness of the contacting phases, i.e., water and air. In this connection, it is necessary to develop and manufacture new contact devices that would meet some requirements, such as high cooling efficiency, low hydraulic resistance, and smaller material expenses. Based on the analysis of the existing packing contact devices, the baffles of the jet-film contact device were modernized. In this paper, an experimental installation designed was presented to evaluate the performance of baffles. The authors performed several series of experiments, the findings of which confirm the high performance of the baffles. We considered different conditions of forming the water surface to evaporate, which is determined by the designs of contact devices. The baffle design proposed allows creating a highly developed surface of the contact between a liquid and a gas with low hydraulic resistance. In this paper, we consider the dependences of the surface area of the two-phase contact on the lobe sizes, flow rate, and the position of flow source regarding the first lobe. The following dependence was found: With the increase in the lobe size, the two-phase contact area increases. However, with further increasing the diameter, another trend is observed: The liquid starts silting through the hole in the plate, breaking the film. The jet-film contact device design developed allows an even distribution of the liquid on the surface, which makes it possible to use it in a cooling tower.

Введение

В химической, нефтехимической отраслях промышленности и энергетике одним из основных видов технологического оборудования являются

градирни, включающие в себя контактные массообменные устройства различных конструкций. Процессы теплообмена требуют значительных материальных и энергетических затрат. От того, насколько эффективно работает градирня, зависит

возможность реализации главных преимуществ оборотного водоснабжения, а также расхода сырья, топлива, электроэнергии в промышленности. Поэтому интенсификация тепло- и массообмена в них является актуальной задачей на сегодняшний день [1–4].

Одним из направлений по интенсификации массообменных процессов, повышения энерго- и ресурсосбережения для процессов, протекающих в аппаратах охлаждения, является создание эффективных не энергоемких, технологичных конструкций контактных устройств. Стремление создать аппараты большой мощности с высокими нагрузками по газу и жидкости привело к росту использования насадочных устройств. Они обладают большой площадью поверхности контакта фаз, малым капельным уносом и низким гидравлическим сопротивлением. Большинство насадок, применяемых в тепломассообменных аппаратах, обладает хорошо развитой поверхностью и работают преимущественно в пленочном режиме [5–7].

На основе обзора и анализа существующих насадочных контактных устройств было модернизировано струйно-пленочное контактное устройство [8], усовершенствованы перегородки.

Описание установки

Перегородки представляют собой металлические пластины с выбитыми на них круговыми сегментами в виде лепестков. Лепестки отогнуты под углом 45°.

Для исследования течения жидкости по данным перегородкам была разработана и создана экспериментальная установка, представленная на рис. 1.

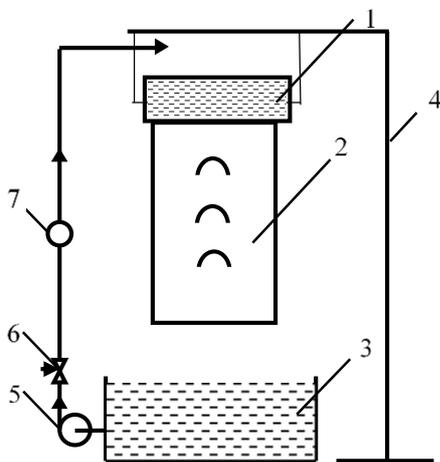


Рис. 1 – Экспериментальная установка: 1 – емкость с подаваемой жидкостью; 2 – пластина с лепестками; 3 – емкость для сбора жидкости; 4 – штатив; 5 – насос для прокачки жидкости; 6 – клапан; 7 – расходомер

Установка представляет собой емкость 1 квадратной формы, прикрепленной к штативу 4 на нитях, в которую заливается жидкость. В днище емкости имеется отверстие, через которое жидкость попадает на металлическую пластину 2 и, соударяясь с лепестками, образует устойчивое пленочное течение. Жидкость, стекая по пластине, попадает в

емкость 3, откуда с помощью насоса 5 фирмы OASIS CRP 15/9 вновь отправляется в емкость 1. Таким образом, наблюдается циркуляция жидкости в устройстве. Регулирующим клапаном 6 происходит управление расходом жидкости, подаваемой в емкость 1, а расходомер 7 фирмы LOUCHEN ZM FS300A G3/4 позволяет контролировать расход жидкости.

Результаты исследований и их обсуждение

В ходе проведения эксперимента вода подавалась в емкость при различных скоростях. Жидкость через отверстие в днище емкости в виде струи движется по металлической пластине и, соударяясь об отогнутый лепесток, распределяется по поверхности образуя пленочное течение (рис. 2).



Рис. 2 – Движение жидкости по пластине с одним лепестком

При проведении эксперимента проводились исследования зависимости образования пленочного течения от многих факторов. Менялось расстояние между источником истечения жидкости и первым лепестком, проверяли, как именно оно влияет на движение жидкости. После многочисленных исследований было выявлено, что первый лепесток следует располагать ближе к источнику, так как в этом случае, жидкость распределяется равномернее и занимает большую площадь на поверхности пластины.

Также проводились исследования с изменением расхода жидкости, полученные результаты растекания пленки жидкости после соударения ее с лепестком представлены на рис. 3. Как видно, с увеличением расхода жидкости увеличивается площадь поверхности покрываемой пленкой. Были проведены исследования с изменением геометрических размеров лепестка.

В ходе экспериментов выявлено, что слишком большой геометрический размер лепестка разрушает пленку жидкости, так как жидкость проскакивает через отверстия, а у слишком маленьких лепестков – напротив, определенной части жидкости не удастся попасть на поверхность перегородки.

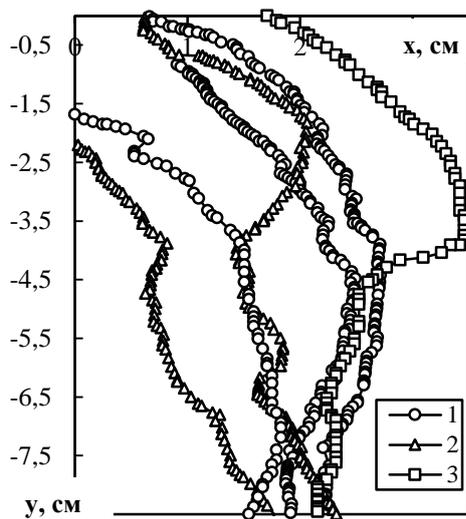


Рис. 3 – Схема движения жидкости по пластине шириной 0,07 м после соударения с лепестком при расстоянии между лепестком и емкостью $l = 40$ мм; уровень жидкости в емкости h , мм: 1 – 6; 2 – 13; 3 – 50

В связи с этим была предложена формула для расчета максимального диаметра лепестка [9]:

$$c_{\max} = \frac{16U^2}{9g},$$

где U – скорость струи жидкости, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с².

Заключение

Предложенная конструкция перегородок насадочного устройства позволяет создавать большую поверхность контакта жидкости и газа. Поверхность контакта двух фаз постоянно

обновляется. В ходе исследований выявлен оптимальный размер лепестка, расстояние между источником истечения и лепестком, а также влияние расхода жидкости на площадь поверхности образующейся пленки. Конструкция устройства является перспективной для использования в испарительных градирнях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-60081 мол_а_дк.

Литература

1. В.Д. Ющенко, Е.В. Лесович, А.В. Зыков, *Вестник науки и образования северо-запада России*, **3**, 2, 75-82 (2017).
2. А.А. Локшин, Д.Н. Володин, А.А. Локшин, *Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья*, **3**, 33-36 (2014).
3. Н.С. Шибитов, Н.В. Шибитова, Д.Р. Александрин, *Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт*, **1** (13), 41-45 (2016).
4. М.Р. Вахитов, Н.М. Нуртдинов, А.Н. Николаев, *Вестник Казанского технологического университета*, **10**, 117-124 (2010).
5. А.В. Полянский, В.Н. Биничев, О.В. Чагин, Я. Кравчик, *Теоретические основы химической технологии*, **51**, 3, 330-337 (2017).
6. И.А. Повтарев, В.Н. Блиничев, О.В. Чагин, Я. Кравчик, *Известия высших учебных заведений. Серия: химия и химическая технология*, **49**, 12, 109-110 (2006).
7. Т.М. Фарахов, М.М. Башаров, И.М. Шигапов, *Электронный научный журнал нефтегазовое дело*, **2**, 192-207 (2011).
8. О.С. Дмитриева, И.Н. Мадышев, А.В. Дмитриев, А.Н. Николаев, *Вестник технологического университета*, **19**, 4, 74-76 (2016).
9. Н.Н. Пашков, Ф.М. Долгачев, Гидравлика. *Основы гидрологии*. Энергоатомиздат, Москва, 1993. 448 с.

© А. В. Дмитриев – д.т.н., доцент, зав. кафедрой ТОТ ФГБОУ ВО «КГЭУ», ieremiada@gmail.com, Л. В. Круглов – старший преподаватель кафедры ТОТ ФГБОУ ВО «КГЭУ», lionel1183@mail.ru, А. И. Хафизова – магистрант ФГБОУ ВО «КГЭУ», aliyahi@mail.ru, О. С. Дмитриева – к.т.н., доцент кафедры ПАХТ ФГБОУ ВО «КНИТУ», ja_deva@mail.ru, М. А. Молчанов – магистрант кафедры ОПП ФГБОУ ВО «КНИТУ», Soosiska@ya.ru.

© A. V. Dmitriev – doctor of technical sciences, associate professor, the head of «Theoretical Bases of Heat Engineering» chair, KSPEU, ieremiada@gmail.com, L. V. Kruglov – senior lecturer of TBH chair, KSPEU, lionel1183@mail.ru, A. I. Khafizova – master student of TBH chair, KSPEU, aliyahi@mail.ru, O. S. Dmitrieva – candidate of technical sciences, associate professor of PACHT chair, Nizhnekamsk Institute of Chemical Technology, ja_deva@mail.ru, M. A. Molchanov – master student of EFI chair, KNRTU, Soosiska@ya.ru.