

УДК 524.00

КОМПЛЕКСНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ И КОНДЕНСАЦИИ ОЗОНОБЕЗОПАСНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ

А. В. ОВСЯННИК

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

Процессы кипения и конденсация широко применяются в технике: в энергетике (например, в конденсаторах паровых турбин и многочисленных теплообменных аппаратах); в химической технологии (например, при разделении веществ методом фракционированной конденсации); в холодильной и криогенной технике, в опреснительных установках, в системах кондиционирования воздуха и т. д. Особый интерес эти процессы представляют для энергетики как неотъемлемая часть технологического цикла производства различных видов энергии.

В теплообменных аппаратах, применяющихся в различных областях техники, имеет место в основном пленочная конденсация пара. К наиболее исследованным относятся процессы конденсации водяного пара в паровых конденсаторах. Состояние вопроса о теплообмене при пленочной конденсации водяного пара достаточно полно было представлено в [1], [2] и др. Теоретические и экспериментальные результаты, полученные за многие десятилетия развития этой области науки о теплообмене, позволили существенно расширить представления о процессах, происходящих при конденсации пара и создать инженерные методики расчета конденсационных аппаратов.

Еще одна не менее важная задача – процесс конденсации холодильных агентов. В последнее время перед холодильной техникой стоит поиск решения важной проблемы – экономии энергоресурсов и применение озонобезопасных хладагентов. Наиболее традиционное решение – это рациональное использование энергетических ресурсов, что возможно за счет проведения активной энергосберегающей политики и создания эффективного энергооборудования. Системы искусственного охлаждения и кондиционирования являются одними из крупнейших потребителей электроэнергии, поэтому повышение энергетической эффективности холодильного оборудования является актуальной задачей. В связи с этим важное значение приобретает разработка новых эффективных теплообменных аппаратов (испарителей и конденсаторов) и усовершенствование конструкций существующих, так как интенсификация теплообмена в этих устройствах определяет массогабаритные, технические и экономические характеристики холодильных, теплонасосных установок и систем кондиционирования воздуха [3]–[6].

В последнее время активно развивается направление использования низкокипящих рабочих тел (фреонов) в турбодетандерных установках для получения электрической и тепловой энергии. Для расчета испарителей и конденсаторов таких установок, работающих на озонобезопасных хладагентах, необходимо знать расчетные

зависимости для определения коэффициентов теплоотдачи, которые могут быть определены только экспериментальным путем.

Целью настоящей работы является разработка экспериментального стенда для комплексного исследования процессов теплообмена при фазовых переходах в испарителях и конденсаторах в установках, работающих по прямому и обратному циклам.

Основная часть

Для решения этой задачи и для исследования теплообмена при кипении и конденсации жидкостей, озонобезопасных хладагентов и маслореоновых смесей на теплоотдающих поверхностях на кафедре «Промышленная теплоэнергетика и экология» Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого была разработана комплексная экспериментальная установка, представленная на рис. 1. Рабочие камеры установки 1 и 2 изготовлены из нержавеющей стали 1X18H9T и представляют собой цилиндры диаметром 150 мм и длиной 310 мм. Оси рабочей камеры расположены горизонтально. Боковые стенки цилиндра имеют смотровые окна, через которые проводятся визуальные наблюдения процессов кипения и конденсации.

Рабочие камеры 1 и 2 закрыты фланцами 3, 4 и 5, 6. На фланцах 4 и 6 смонтированы разъемы для подвода термопар. Посреди камер предусмотрены смотровые иллюминаторы 7 и 8 для визуального наблюдения процессов кипения и конденсации на поверхности образцов. На рабочей камере 1 (камера конденсации) установлен манометр 9 и предохранительные клапаны 10, а для подачи в камеры газа при проверке на герметичность, при замене образцов, вывода рабочей жидкости и вакуумирования на рабочей камере 2 (камера кипения) установлены вентили 11 и 12.

Необходимое давление в камерах создается и поддерживается с помощью регулировки нагрузки, подаваемой на нагреватель 13 камеры кипения 2 и изменением расхода охлаждающей воды в конденсаторе 1. Расход воды контролируется расходомером 14. Контроль давления осуществляется с помощью манометра и двух термопар, расположенных в объеме жидкости и паровом пространстве. Экспериментальные образцы устанавливаются с помощью резьбового соединения в камере 1 и фланцевого соединения в камере 2. Тепловой поток к образцу подводится электрическим нагревателем 13. Циркуляция пара и жидкости в установке обеспечивается паровым 15 и жидкостным 16 каналами.

Экспериментальные образцы представляют собой горизонтальные трубы из дюралюминия Д16, на внешней поверхности которых в необходимых местах устанавливаются термопары.

Перепад температур между поверхностью нагрева и жидкостью в камере 2 и температурой пара и поверхностью в камере 1 измеряются непосредственно дифференциальными термопарами, один спай которых располагается в образце, а второй – в жидкости или паре. Термопарные провода проверяются на однородность. Для перевода значений термоЭДС в градусы используются градуировочные таблицы. Для учета погрешности, возникающей при изготовлении, полагая линейность изменения термоЭДС от температуры в рабочем диапазоне, проводится поверка термопар с помощью электрического милливольтметра В7-16А и образцового платинового термометра сопротивления ТСР-1 по реперным точкам плавления льда и кипения воды. Для измерений используются термопары, у которых отклонение опытных значений термоЭДС от табличных не превышает 1,5 %.

Уровень жидкости над верхней образующей образца камеры 2 составляет ~ 50 мм, что обеспечивает независимость интенсивности теплообмена при кипении относительно столба жидкости над поверхностью нагрева. Перед проведением экспериментов для удаления пузырьков неконденсирующихся газов образцы кипятятся в течение

нескольких часов. После отключения тепловой нагрузки, прекращения кипения на поверхности образцов и установления условий эксперимента включается нагреватель для подвода теплового потока к поверхности исследуемого образца. Условия насыщения в экспериментальной камере 2 поддерживаются регулированием расхода охлаждающей жидкости через конденсатор 1. Температура насыщения определяется двумя термопарами, размещенными в жидкости и паровом пространстве. Контроль давления насыщения осуществляется с помощью образцового манометра 9.

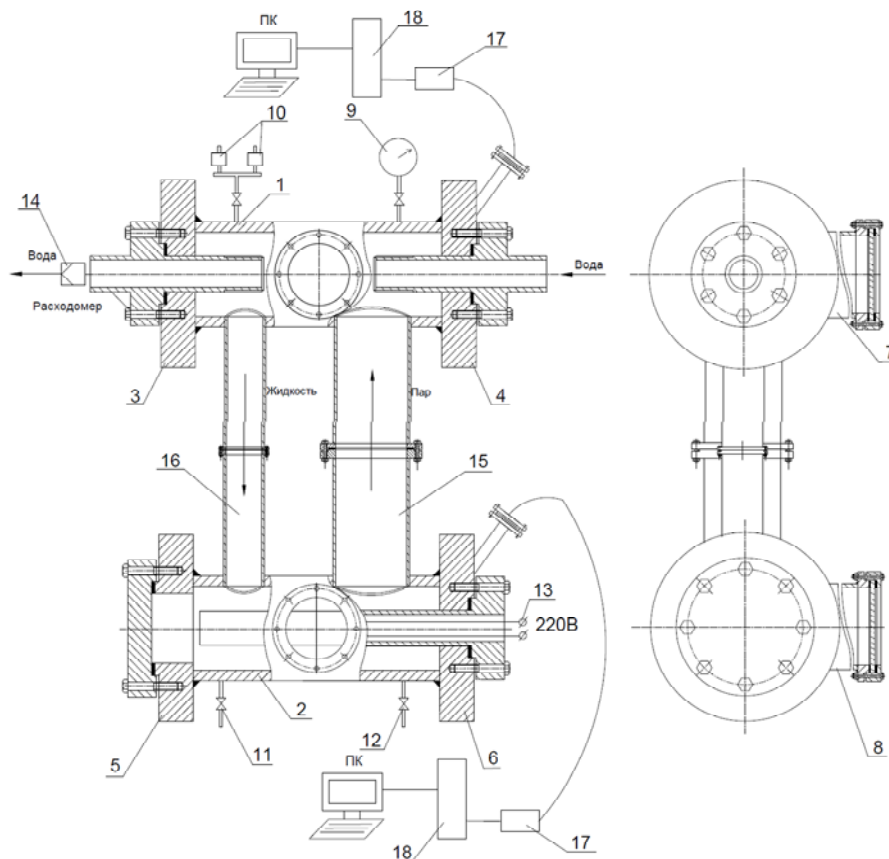


Рис. 1. Комплексный экспериментальный стенд

Измерительная система представляет собой комплекс, состоящий из аналого-цифрового преобразователя 17 и компьютера 18. Управление процессом измерений производится программой обработки данных. Обмен управляющими сигналами и сигналами обратной связи между компьютером и измерительными приборами происходит посредством измерительных шин.

Автоматический опрос термопар осуществляется с помощью аналого-цифрового преобразователя и далее измеренное значение температур в виде термоЭДС поступает на компьютер, где программой обработки данных производится перевод значений термоЭДС в градусы. Холодные спаи термопар, по которым поддерживается температура насыщения внутри экспериментальной камеры, помещаются в термостат, где поддерживается температура 0 °С. Нагреватель подключается к сети 220 В через лабораторный автотрансформатор. Для определения подводимой мощности сила тока измеряется амперметром, напряжение – вольтметром. Регулировка мощности, подводимой к нагревателю, производится лабораторным автотрансформатором.

Измерительная система работает в циклическом режиме опроса термодатчиков через определенный промежуток времени. Скорость опроса составляет 10 измерений в секунду. Длительность выхода температуры поверхности нагрева на стационарный режим составляет 15–60 мин. После достижения установившегося режима теплообмена, определяемого по выводимым данным на дисплей, производится регистрация показаний термодатчиков. Перед установкой образца внутренние стенки экспериментальных камер и теплообменная поверхность тщательно очищаются и протираются этиловым спиртом. После герметизации из камеры с помощью вакуумного насоса удаляется воздух, затем исследуемая жидкость заливается в объем рабочей камеры 2. Затем величина подводимого теплового потока изменяется и процедура повторяется для следующей экспериментальной точки. Исследования проводятся при постепенном увеличении тепловой нагрузки до достижения максимально возможной ее величины, потом тепловой поток уменьшается. Погрешность определения коэффициента теплоотдачи не превышает 15 %.

Измерительная система для камеры конденсации 1 выполнена аналогично измерительной системе камеры кипения 2.

Коэффициенты теплоотдачи кипения и конденсации определяются по результатам измерений температур и тепловых потоков следующим образом:

– при кипении $\alpha_* = q_* / (t_n - t_s)$;

– при конденсации $\alpha_k = q_k / (t_s - t_n)$,

где t_n , t_s – соответственно, температура поверхности и насыщения; q_* , q_k – плотность теплового потока в камере кипения и конденсации, соответственно.

Начало кипения жидкости на поверхности нагрева определяется визуально в момент активации первых центров парообразования и по резкому снижению перегрева поверхности.

Заключение

В результате анализа процессов теплообмена при кипении и конденсации низкотемпературных жидкостей и разработки комплексного экспериментального стенда можно сделать следующие выводы:

1. Разработан и изготовлен комплексный экспериментальный стенд для одновременного исследования процессов теплообмена при кипении и конденсации чистых озонобезопасных хладагентов и их маслофреоновых смесей в широком диапазоне режимных параметров (давление насыщения – 0,1–2,0 МПа; плотность теплового потока – до 100 кВт/м²). Теплообмен при первом кризисе кипения может быть исследован при условии, если критическое давление исследуемых жидкостей не превышает 2,0 МПа.

2. Представленный экспериментальный стенд может быть использован при проведении исследований по теплообмену при фазовых переходах и других чистых и загрязненных жидкостей при давлении насыщения до 2,0 МПа.

Литература

1. Букин, В. Г. Холодильные машины, работающие на неазеотропных смесях хладагентов : учеб. пособие / В. Г. Букин, А. Ю. Кузьмин. – Астрахань : Изд-во АГТУ, 2003. – 156 с.
2. Усачев, А. М. Влияние поверхностных сил на тепло- и массообмен при конденсации и методика их учета при расчете поверхностных конденсаторов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. М. Усачев. – Киев, 1991. – 17 с.

3. Кузьмин, А. Ю. Закономерности теплообмена при конденсации смесей холодильных агентов R142b–R22 и R12–R22 : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. Ю. Кузьмин. – СПб., 1994. – 16 с.
4. Поволоцкий, В. М. Интенсификация теплообмена при конденсации пара на вертикальных продольно оребренных трубах в аппаратах низкотемпературных установок : дис. ... канд. техн. наук / В. М. Поволоцкий. – Л., 1984. – 151 с.
5. Букин, В. Г. Результаты экспериментального исследования интенсификации теплообмена при кипении на трубах смесового хладагента / В. Г. Букин, Саид Ахмед эль Саид, Ахмед эль Рефай Мохаммед Эмам // Вестн. Астрах. гос. техн. ун-та. – 2008. – № 2. – С. 179–184.
6. Овсянник, А. В. Моделирование процессов теплообмена при кипении жидкостей / А. В. Овсянник. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – 284 с.

Получено 29.11.2016 г.