

УДК 658.261:621.56

ТЕПЛООБМЕН ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ОЗОНОБЕЗОПАСНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ И ИХ МАСЛОФРЕОНОВЫХ СМЕСЕЙ В КОНДЕНСАТОРАХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

А. В. Овсянник, В. П. Ключинский, В. П. Никитенко

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого,
г. Гомель, Беларусь*

Разработана методика проведения экспериментального исследования конденсации озонобезопасных хладагентов (R404A, R407C, R410A) и их маслофреоновых смесей. Для решения этой задачи и для исследования теплообмена при конденсации фреонов и их маслофреоновых смесей на теплоотдающих поверхностях на кафедре «Промышленная теплоэнергетика и экология» ГГТУ имени П.О. Сухого разработана экспериментальная установка [1].

Исследуемая поверхность гладкая и продольно ребрѐнная с трапецевидной формой ребра. В ходе проведения эксперимента определены температуры основной поверхности и ребра на вершине, в середине и у основания. По результатам измерений температур и тепловых потоков рассчитан коэффициент теплоотдачи при конденсации фреонов и их маслофреоновых смесей с концентрацией масла 0, 5 и 10% на гладких и ребрѐнных поверхностях. Анализ полученных данных свидетельствует о влиянии концентрации масла на коэффициент теплоотдачи при различных значениях плотности теплового потока.

Ключевые слова: озонобезопасные хладагенты, маслофреоновые смеси, теплообмен, конденсация.

Исследование процессов теплообмена при конденсации озонобезопасных хладагентов и их маслофреоновых смесей является важным и перспективным направлением в области исследования работы энергетического оборудования. Холодильная промышленность оказывает весьма заметное влияние на глобальные климатические изменения по двум причинам. Во-первых, при производстве искусственного холода используется значительное количество электрической энергии, большая часть которой генерируется при сжигании органического топлива. Во-вторых, гидрофторуглероды, которые используются в настоящее время в качестве рабочих тел в холодильном и теплонасосном оборудовании, являются парниковыми газами. По-прежнему серьёзной технологической проблемой при внедрении новой холодильной техники остаётся её переход на озонобезопасные хладагенты с низким потенциалом глобального потепления. Следовательно, актуальной становится работа по исследованию процессов фазовых переходов маслофреоновых смесей в холодильных, теплонасосных установках с целью повышения интенсивности процессов кипения и конденсации на поверхностях теплообмена.

Цель работы – теоретическое и экспериментальное исследование процессов теплообмена при конденсации озонобезопасных хладагентов и их маслофреоновых смесей на теплообменных поверхностях, установление зависимостей между режимными параметрами и теплофизическими свойствами жидкостей, определяющих интенсивность теплообмена при конденсации на охлаждающих поверхностях.

Исследования процесса теплообмена при конденсации озонобезопасных хладагентов (R404A, R407C, R410A) и их маслофреоновых смесей с концентрацией масла 0, 5 и 10% проводились на экспериментальной установке, представленной на рис. 1, при плотностях теплового потока 2,896–61,413 кВт/м² и давлениях насыщения $p_n = 0,96–1,1$ МПа.

Расположение термодатчиков, фиксирующих изменение температуры при заданной тепловой нагрузке, на исследуемом образце изображено на рис. 2.

Оребрение труб пучка позволяет, во-первых, увеличить общую площадь поверхности конденсации, а во-вторых – использовать силы поверхностного натяжения, которые стяги-

вают образующуюся плёнку конденсата к основанию рёбер. Оба фактора приводят к существенной интенсификации процесса теплопереноса в горизонтальных конденсаторах с оребрёнными трубами.

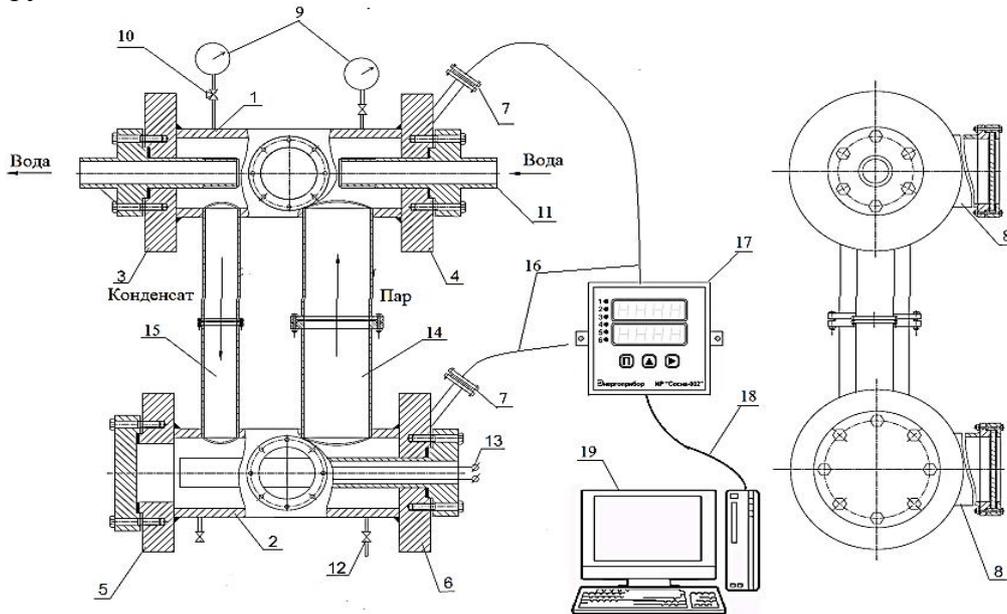


Рис. 1. Экспериментальный стенд: 1, 2 – рабочая камера конденсации и кипения; 3–6 – фланцы; 7 – разъем для подвода термодатчиков; 8 – смотровой иллюминатор; 9 – манометр; 10, 12 – кран; 11 – штуцер; 13 – электрический нагреватель; 14, 15 – паровой и жидкостной каналы; 16, 18 – кабель; 17 – аналого – цифровой преобразователь; 19 – персональный компьютер

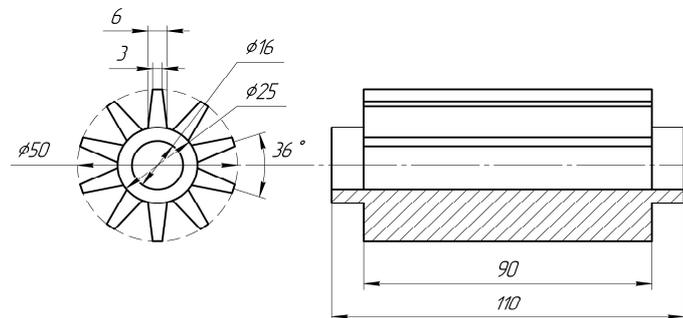


Рис. 2. Расположение термодатчиков на исследуемом образце

Исходные данные, полученные в ходе проведения эксперимента: температуры на гладкой и оребрённой поверхностях; габаритные размеры исследуемой поверхности теплообмена; плотность теплового потока; температура насыщения.

Коэффициент теплоотдачи при конденсации фреонов на горизонтальных поверхностях определялся по известной зависимости

$$\alpha_{\text{общ}} = \frac{q_{\text{общ}}}{\Delta t_{\text{общ}}},$$

где $q_{\text{общ}}$ – плотность теплового потока, воспринимаемая поверхностью; $\Delta t_{\text{общ}}$ – общий температурный напор теплоотдающей поверхности.

Также определялись коэффициенты теплоотдачи для межрёберной поверхности и ребра.

На основании полученных результатов были построены зависимости коэффициентов теплоотдачи от температурного напора для масложидкостных смесей при различных концентрациях масла в смеси 0, 5 и 10%, представленные на рис. 3. Экспериментальные данные

свидетельствуют о влиянии концентрации масла на коэффициент теплоотдачи от температурного напора. Наибольшее значение коэффициента теплоотдачи для маслофреоновых смесей наблюдается при меньших значениях температурного напора, чем для чистых фреонов. Дальнейшее увеличение концентрации масла приводит к снижению коэффициента теплоотдачи на ребре и на общей поверхности [2].

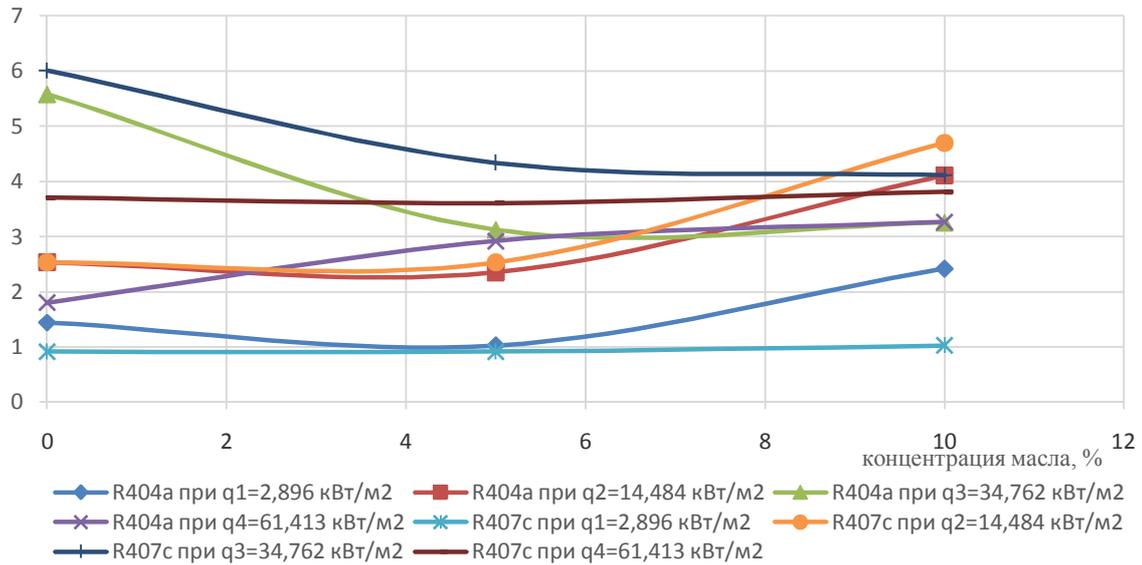


Рис. 3. Графические зависимости $\alpha = f(\omega_{\text{масла}})$ для фреонов R404a, R407c

Добавление масла негативно сказывается на процессе конденсации паров фреонов, уменьшение коэффициента теплоотдачи связано с увеличением толщины плёнки конденсата за счёт дополнительного термического сопротивления масляной плёнки. Масло захватывается парами хладагента и уносится из камеры кипения в камеру конденсации. Визуально было замечено наличие масляного тумана при исследовании процесса конденсации маслофреоновой смеси рассмотренных фреонов.

Литература

1. Овсянник А. В. Теплообмен и моделирование при кипении на теплоотдающих поверхностях. LAMBERT Academic Publishing, 2018. – 348 с.
2. Овсянник А. В., Ключинский В. П., Никитенко В. П. Экспериментальное исследование теплообмена при конденсации смесевых хладагентов и их маслофреоновых смесей на горизонтальных теплообменных поверхностях // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П.О. Сухого. 2023. № 3. С. 58–66.