

Рис. 4. Температуры вспышки

Важным показателем, характеризующим взрывопожароопасность веществ, является температура вспышки. Температурой вспышки называется наименьшая температура горячей жидкости, при которой образовавшиеся над ее поверхностью пары и газы вспыхивают от источника зажигания, при этом сама жидкость не воспламеняется. Из опыта следует, что ПБТ является легковоспламеняющейся жидкостью. Добавление в качестве присадки этанола различной концентрации снижает температуру вспышки, что указывает на повышение взрывоопасности вещества.

#### Литература

1. Вторичные процессы перегонки нефтепродуктов. Топливо. – Режим доступа: [http:// earchive.tru.ru/bitstream/11683/29848/1/TPU199250.pdf](http://earchive.tru.ru/bitstream/11683/29848/1/TPU199250.pdf). – Дата доступа: 29.01.2023.
2. Классификация печного бытового топлива. – Режим доступа: <https://oilselling.ru/2016/10/21/klassifikacia-pechnogo-topliva/>. – Дата доступа: 29.01.2023.
3. Печное бытовое топливо. – Режим доступа: <https://www.ngpedia.ru/id518408p1.html>. – Дата доступа: 29.01.2023.
4. ТУ 38.101656–99. Топливо печное бытовое.

## ТЕПЛОБМЕН ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ОЗОНОБЕЗОПАСНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ И ИХ МАСЛОФРЕОНОВЫХ СМЕСЕЙ

В. П. Никитенко

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

Научный руководитель А. В. Овсянник

*Для обеспечения эффективного теплообмена в конденсаторах теплоэнергоустановок важным становится проведение исследований теплообмена с установлением связи между теплотехническими характеристиками при конденсации, тепловой нагрузкой, давлением насыщения, теплофизическими характеристиками, влияющими на КТО при передаче теплоты.*

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

В настоящее время вновь выпускаемое оборудование для холодильных, теплонасосных установок и систем кондиционирования воздуха должно работать на озонобезопасных с низким потенциалом глобального потепления хладагентах (R404A,

R407C, R410A). Однако при их использовании в установках образуется маслофреоновая смесь, которая приводит к изменению не только интенсивности теплоотдачи при конденсации, но и к изменению механизма этих процессов. Изменение состава хладагента в процессе эксплуатации установки затрудняет также регулирование режимных параметров и ведет к изменению коэффициентов теплоотдачи в испарителе и конденсаторе. В связи с этим становится актуальным проведение теоретических и экспериментальных исследований процессов теплообмена при фазовых переходах чистых хладагентов и их маслофреоновых смесей на гладких и развитых поверхностях различного типа, а также получение обобщенных зависимостей для расчета интенсивности теплоотдачи процесса конденсации. Это возможно только на основе проведения теоретических и экспериментальных исследований с последующим применением их для расчета и разработки теплообменных аппаратов холодильных, теплонасосных установок и систем кондиционирования воздуха.

Исследование процесса теплообмена при конденсации озонобезопасных хладагентов (R404A, R407C, R410A) и их маслофреоновых смесей (с концентрацией масла 0, 5, 10 %) проводились на экспериментальной установке, представленной на рис. 1, при плотностях теплового потока в диапазоне  $1,027\text{--}17,123\text{ кВт/м}^2$  и при давлениях насыщения  $p_n = 0,96\text{--}1,1\text{ МПа}$ .

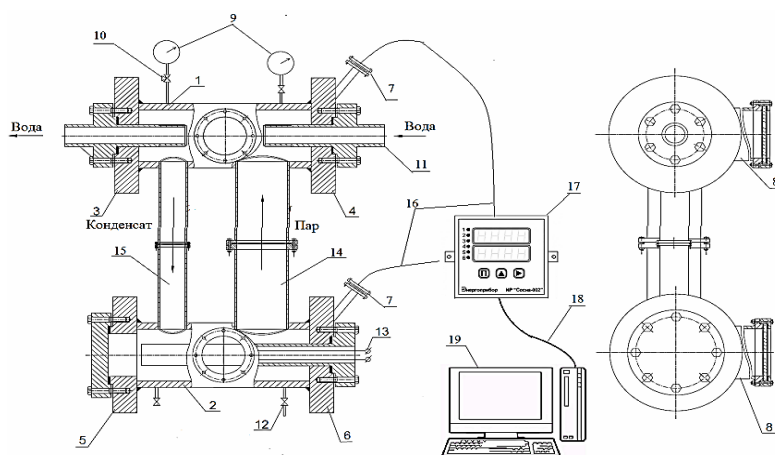


Рис. 1. Экспериментальный стенд

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

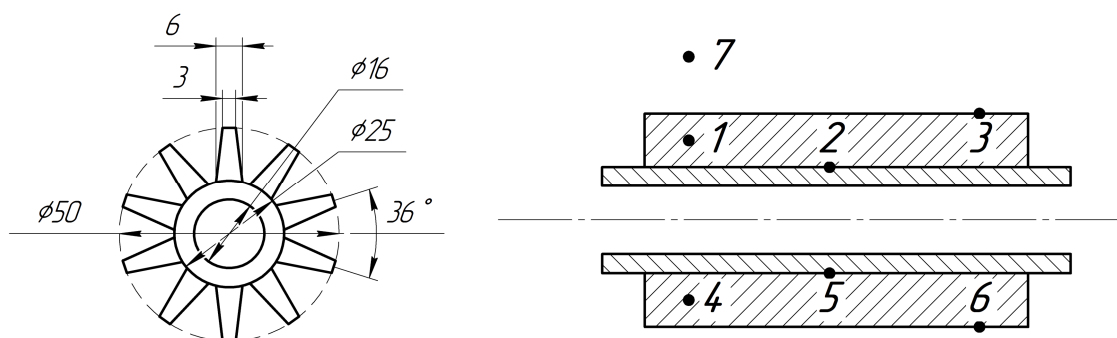


Рис. 2. Расположение термопар на исследуемом образце

Оребрение труб пучка позволяет, во-первых, увеличить общую площадь поверхности конденсации, а во-вторых – использовать силы поверхностного натяжения, которые стягивают образующуюся пленку конденсата к основанию ребер. Оба фактора приводят к существенной интенсификации процесса теплопереноса в горизонтальных конденсаторах с оребренными трубами.

Экспериментальные исследования теплофизических свойств фреонов при конденсации их паров в конденсаторах холодильных машин проводились как для чистых фреонов, так и для фреонов в смеси с компрессорным маслом. В отличие от хладагента масло не подвергается фазовым изменениям, происходящим в теплообменниках. Концентрация масла составляет 5 и 10 % от общей массы рабочего тела.

Плотность теплового потока  $q$  принималась в расчете на площадь несущей (основной) поверхности образца. Плотность теплового потока определяется по формуле

$$q = \frac{Q}{F},$$

где  $Q$  – количество тепловой энергии, подводимое к образцу в установившемся стационарном режиме теплообмена;  $F$  – площадь тепловоспринимающей поверхности [1].

Результаты экспериментальных исследований по конденсации чистых озонобезопасных хладагентов R404a, R407c, R410a и их маслофреоновых смесей на исследуемом образце даны на рис. 3, 4 соответственно. Графические зависимости описывают изменение коэффициента теплоотдачи от плотности теплового потока, подводимого к поверхности, в межреберном пространстве и на ребре исследуемого образца.

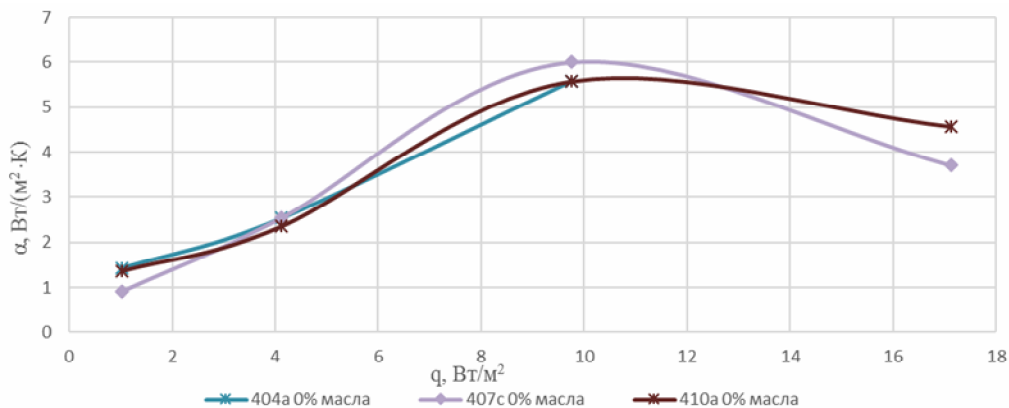


Рис. 3. Графические зависимости  $\alpha = f(q)$  в среднем по поверхности образца

Графические зависимости, представленные на рис. 3, описывают процесс теплообмена при конденсации паров исследуемых хладагентов на всей поверхности образца.

Степень влияния масла на процесс теплоотдачи при конденсации описана графическими зависимостями, для конкретного стационарного режима течения процесса конденсации, приведенными на рис. 4.

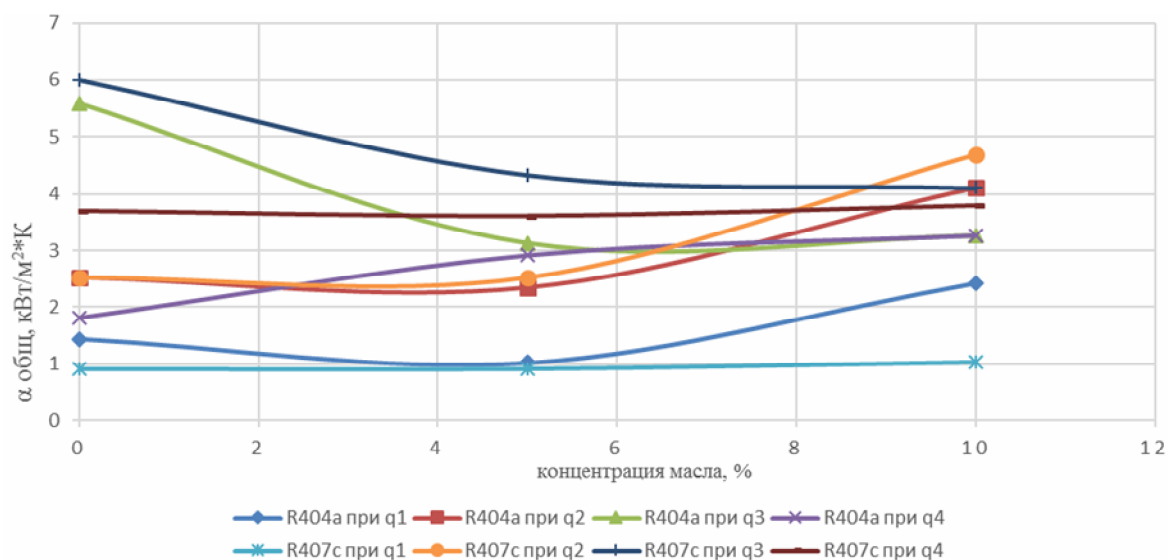


Рис. 4. Графические зависимости  $\alpha = f(\omega_{\text{масла}})$  для фреонов R404a, R407c

Добавление масла негативно сказывается на процессе конденсации паров рассмотренных фреонов, уменьшение коэффициента теплоотдачи связано с увеличением толщины пленки конденсата за счет дополнительного термического сопротивления масляной пленки. 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.

С увеличением интенсивности парообразования в камере конденсации на первых этапах начнет конденсироваться масло, уносимое парами фреона из камеры кипения, при этом на исследуемом образце образуется масляная пленка. На поверхности масляной пленки при дальнейшей интенсификации парообразования образуется слой конденсата фреона. Масло несущественно влияет на коэффициент теплоотдачи в рассмотренном диапазоне тепловых нагрузок, связано это с тем, что данный тип масла хорошо растворяется в парах фреона и не образует существенного термического сопротивления пленки конденсата.

#### Литература

1. Кутателадзе, С. С. Теплопередача при конденсации и кипении / С. С. Кутателадзе. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. – Л. : Машгиз, 1952. – 232 с.
2. Бабакин, Б. С. Хладагенты, масла, сервис холодильных систем : монография / Б. С. Бабакин. – Рязань : Узоречье. – 470 с.
3. Цветков, О. Б. Свойства холодильных масел и маслофреоновых растворов : учеб. пособие / О. Б. Цветков, О. Н. Цветков, Ю. А. Лаптев. – СПб. : СПбГУНиПТ, 2010. – 188 с.
4. Овсянник, А. В. Теплообмен и моделирование при кипении на теплоотдающих поверхностях / А. В. Овсянник. – Lambert Academic Publishing, 2018. – 348 с.