



УДК 536.423

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ ПРИ КИПЕНИИ НА ГЛАДКОЙ ТРУБЕ В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ R407C И R410A.

© А.Ю. Кузьмин, А.В. Букин

Астраханский государственный технический университет,

Целью работы являлось изучение влияния режимных параметров на теплоотдачу при кипении смесевых холодильных агентов R407C и R410A. Для достижения данной цели был спроектирован и изготовлен экспериментальный стенд, разработана методика проведения исследований.

В статье приведены результаты визуальных наблюдений за процессом кипения различных хладагентов на горизонтальной трубе в большом объеме, установлена взаимосвязь между коэффициентом теплоотдачи и режимными параметрами: плотностью теплового потока и давлением кипения.

Aim of the work was the influence of regime parameters on heat transfer at evaporation of refrigerants R407C and R410 research. To achieve this aim the experimental stand was designed and made.

The article contains results of visual observations for the evaporation process of different refrigerants on horizontal tube in big volume, the connection between heat transfer coefficient and regime parameters, heat flux density and evaporation pressure, was determined.

Ключевые слова: кипение, смесь, хладагент, коэффициент теплоотдачи, экспериментальное исследование, труба

Keywords: evaporation, mixture, refrigerant, heat transfer coefficient, experimental research, tube

Принятые Российской Федерацией обязательства по Монреальскому и Киотскому протоколам [1] обусловили, что выбор хладагента холодильных машин в последние годы производиться не только по термодинамическим и теплофизическим параметрам этих веществ, но и исходя из оценки их влияния на экологию. В нашей стране для реализации этих международных решений по защите озонового слоя создана научно-техническая программа "Озонобезопасные хладоны", предусматривающая разработку и освоение новых холодильных агентов и оборудования.

Последние несколько лет встала задача поиска замены хладагентам класса HCFC (R22 и др.) для использования в холодильном оборудовании и установках кондиционирования воздуха.

Процесс кипения смесей отличается от процесса кипения чистых жидкостей рядом особенностей [2,3]. Поэтому задача по изучению и интенсификации теплообмена при пузырьковом кипении смесей, является актуальна.

Целью экспериментов являлось получение зависимостей коэффициента теплоотдачи при кипении смесевых холодильных агентов от режимных параметров.

В связи с этим, для исследования теплоотдачи при кипении смесей холодильных агентов в большом объеме, был спроектирован и изготовлен экспериментальный стенд и разработана методика проведения исследований.

Эксперименты проводились горизонтальной трубке наружным диаметром 20 мм и длиной 300 мм, изготовленной из меди М3. Внутри трубки располагался электронагреватель, центрированный по ее оси.

Конструкция экспериментального стенда позволяла проводить визуальные наблюдения за процессом кипения. При наивысшем давлении насыщения 632 кПа (+10 °C) развитое пу-

зырьковое кипение R407C началось при плотности теплового потока 2500 Вт/м^2 . Пузырьки пара образовывались и срывались на всей поверхности трубки, причем диаметры срывающихся пузырьков с верхней и средней образующих трубки были меньше диаметров пузырьков срывающихся с нижней образующей. С дальнейшим увеличением плотности теплового потока происходило увеличение количества центров парообразования и возрастала частота отрыва паровых пузырьков.

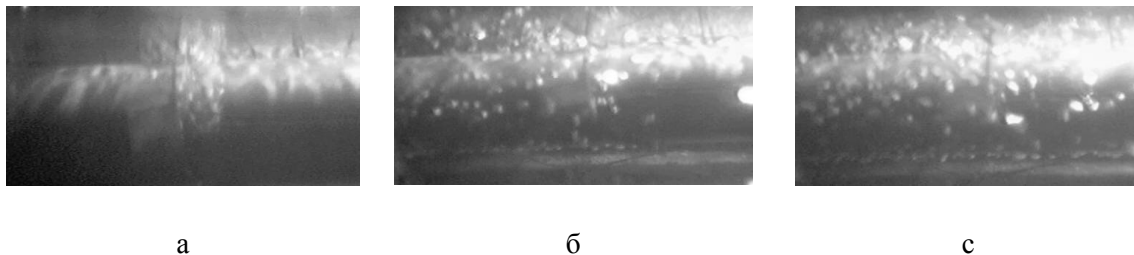


Рис. 1. Кипение R407C на гладкой поверхности, $P_0 = 632$ кПа
а) $q = 2500$ Вт/м²; б) $q = 5000$ Вт/м²; в) $q = 10000$ Вт/м².

При снижении давления насыщения развитое пузырьковое кипение началось при больших плотностях теплового потока (так для $p = 314$ кПа этот процесс начинался при $q = 3000$ Вт/м², а для $p = 211$ кПа $q = 4300$ Вт/м²). Произошло увеличение диаметров срывающихся пузырьков пара с верхней и средней образующих трубки.

Визуально отмечалось, что кипение чистого хладагента R22, начиналось при меньших плотностях теплового потока, чем кипение смесового хладагента R407C.

При давлении насыщения 1080 кПа (+10 °С) неразвитое кипение R410A на гладкой трубке началось при $q = 1700 \text{ Вт/м}^2$ и переходило в развитое при достижении q значения 2000 Вт/м^2 . С последующим ростом плотности теплового потока наблюдалось увеличение количества центров парообразования, частоты отрыва и диаметров паровых пузырьков. Пузырьки пара образовывались и срывались на всей поверхности трубки, причем диаметры срывающихся пузырьков с верхней и средней образующих трубки были меньше диаметров пузырьков срывающихся с нижней образующей.

При давлении насыщения 580 кПа (-10 °С) к началу неразвитого кипения значение плотности теплового потока возросло до 2200 Вт/м², а для развитого – 2600 Вт/м². Произошло увеличение диаметров срывающихся пузырьков пара с верхней и средней образующих трубки. Во всем остальном процесс кипения протекал аналогично процессу кипения при давлении 1080 кПа.

При давлении насыщения 400 кПа (-20 °С) развитое пузырьковое кипение началось при плотностях теплового потока 3100 Вт/м². Диаметры срывающихся пузырьков пара с верхней и средней образующих трубки, по сравнению с процессами кипения при давлениях 1080 кПа и 580 кПа, увеличились.

Результаты экспериментов представлены в виде графиков зависимости коэффициента теплоотдачи от плотности теплового потока при различных давлениях насыщения.

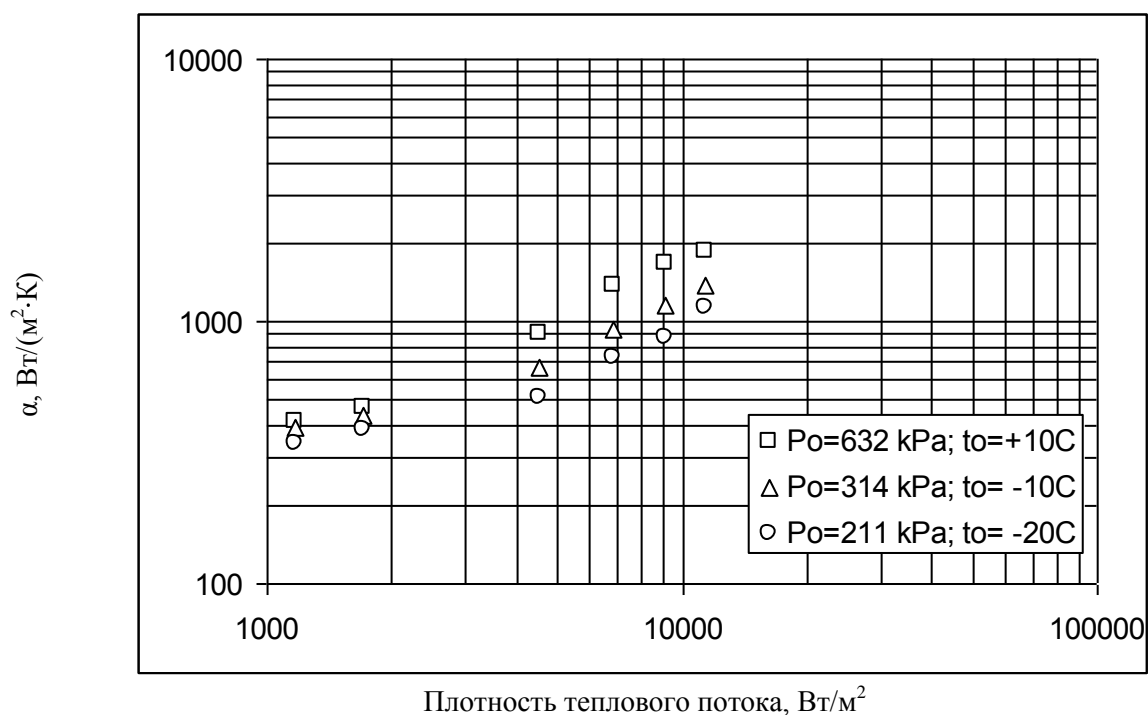


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплоотдачи от плотности теплового потока при кипении R407C для различных давлений насыщения.

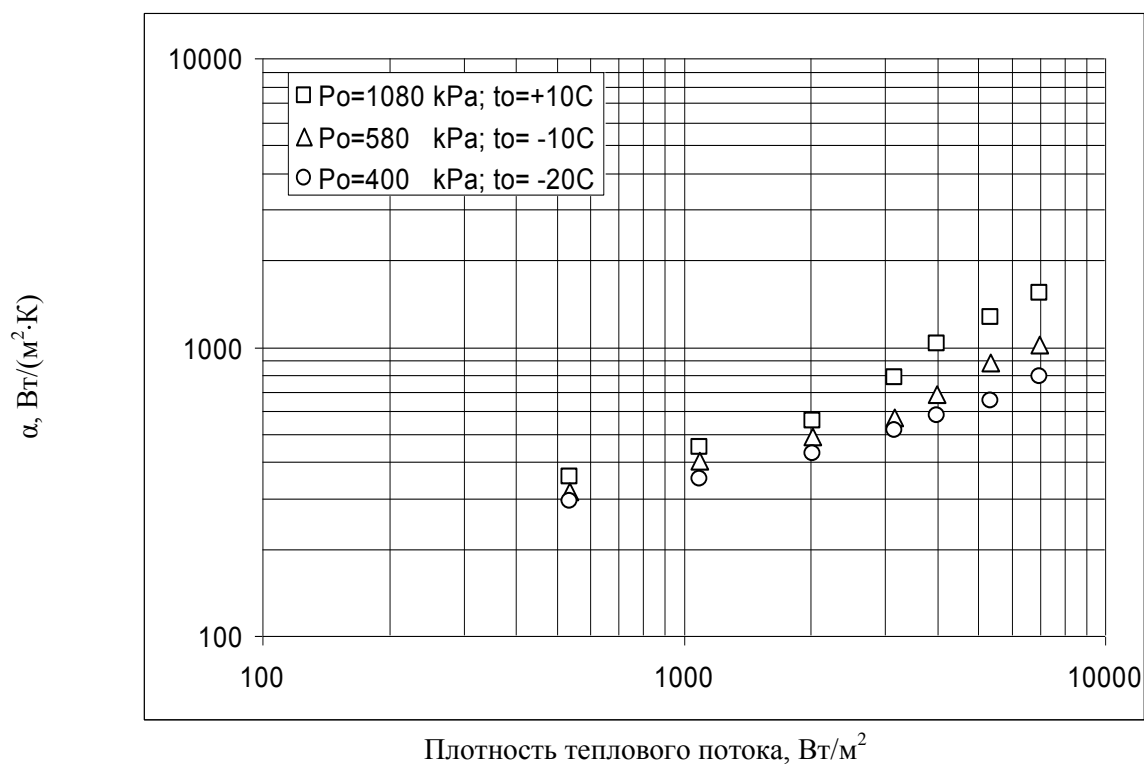


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплоотдачи от плотности теплового потока при кипении R410A для различных давлений насыщения.



Из рисунков 2 и 3 видно, что с ростом плотности теплового потока коэффициент теплоотдачи при кипении смесевых хладагентов R407C и R410A увеличивается. Этот эффект можно объяснить так же как и для однокомпонентных веществ: с ростом плотности теплового потока (соответственно с ростом перегрева жидкости) появляется возможность компенсации большего перепада давления, обусловленного эффектами Лапласа и Томсона. Следовательно, с ростом перегрева, жидкость может испаряться в пузыри с меньшим радиусом. Это значит, что становятся активными зародыши паровой фазы с меньшим радиусом кривизны, что приводит к повышению интенсивности теплообмена.

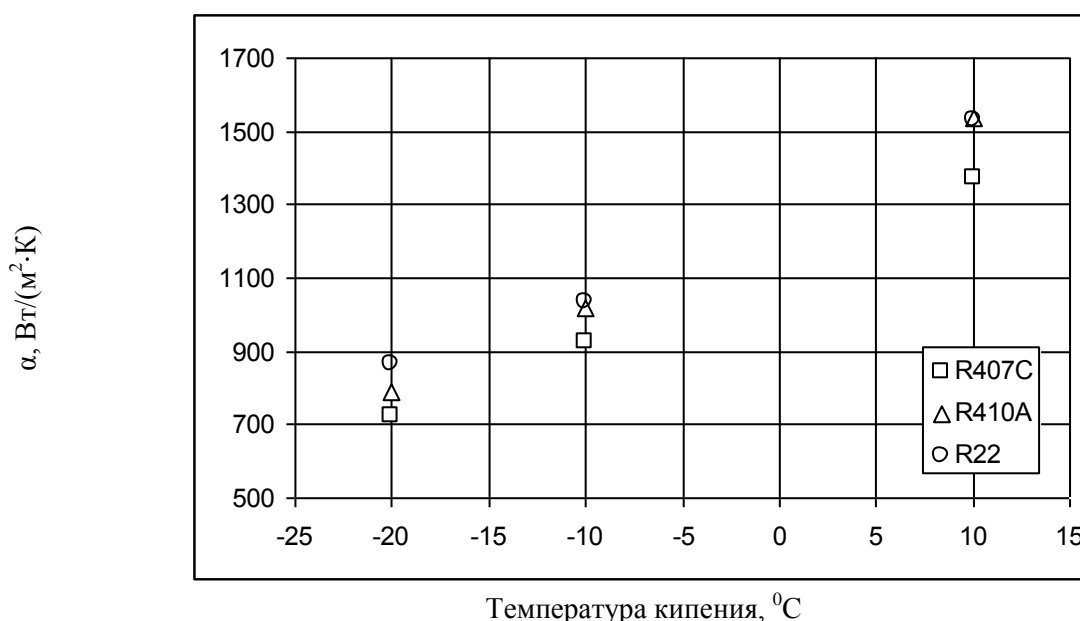


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплоотдачи от температуры насыщения при кипении R407C, R410A и R22; плотность теплового потока $q = 7 \text{ кВт/м}^2$.

Из рис.4 видно, что с ростом температуры (давления) кипения значение коэффициента теплоотдачи увеличивается. Это объясняется тем, что с ростом давления вследствие повышения температуры насыщения увеличивается кинетическая энергия молекул жидкости, а сила сцепления между молекулами ослабевает. Таким образом, с ростом давления облегчаются условия зарождения и роста паровых пузырей, уменьшается критический радиус зародыша паровой фазы и соответственно растет число действующих на единице площади поверхности центров парообразования.

Библиографический список

1. Солянова А.А. Венская конвенция, Монреальский протокол и сегодняшние реалии России// “Холодильная техника”, 1997, №1.
2. Букин В.Г., Шуршев В.Ф., Данилова Г.Н. Экспериментальное исследование теплообмена при кипении смеси R22/R142b в испарителях холодильных машин.// “Холодильная техника”, 1996, №3.
3. Данилова Г.Н., Букин В.Г., Шуршев В.Ф. Теплоотдача при кипении неазеотропных смесей холодильных агентов внутри горизонтальной трубы. Труды второй Российской национальной конференции по теплообмену. Москва, 1998, т.4, с.84-87.