

ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И УПРАВЛЕНИЕ

INFORMATICS,
COMPUTER ENGINEERING
AND CONTROL

УДК 681.58

DOI: 10.17212/1814-1196-2018-1-67-78

Фотофиксация и регулирование переходных параметров газожидкостного потока*

В.И. ГУЖОВ¹, И.А. САЖИН², В.А. ШУМЕЙКО³

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кафедра систем сбора и обработки информации, доктор технических наук, профессор. E-mail: v.guzhov@corp.nstu.ru

² 630005, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кафедра технической теплофизики, кандидат технических наук, доцент. E-mail: sazhin@corp.nstu.ru

³ 630005, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кафедра автономных информационных и управляющих систем, старший преподаватель. E-mail: shumeiko@corp.nstu.ru

Рассмотрены методики Кутателадзе–Сорокина и Бейкера, а также их применение для оптимизации затрат при транспортировке газосодержащих жидкостей. Приведен пример комплексов Кутателадзе–Сорокина к определению вида течения газожидкостного потока. Рассмотрена методика Бейкера для определения вида течения горизонтального двухфазного двухкомпонентного газожидкостного потока. Приведены карты течений Беггза и Брилла. Рассматривается работа экспериментальной установки для установления параметров потока при переходе от одного режима течения к другому. Реализован вертикально восходящий двухфазный газожидкостный поток. Проведена фоторегистрация дисперсного режима течения (жидкая фаза практически отсутствует), формирования пенообразного режима течения, пробкового режима (моменты разрушения пробки), процесса формирования кольцевого режима течения. Выполнен численный анализ изменения параметров двухфазного потока при изменении режима течения. Для перехода от снарядного режима к кольцевому требуется изменение истинной скорости газовой фазы на 18 %, для перехода от снарядного к пенообразному – на 7 %, для перехода от пенообразного к дисперсному – на 67 %. Полученные данные соответствуют картам режимов течения Кутателадзе–Сорокина и Бейкера. Показана возможность синтеза системы управления для реализации определенного режима течения двухфазного потока. Определены значения градиентов давления в контрольных сечениях трубы конденсатора. Проведено сравнение полученных данных с известными картами режимов течения двухфазных сред.

Показана принципиальная возможность реализации системы управления переходами от одного режима течения к другому для газожидкостных смесей разной природы.

Полученные результаты позволяют уточнить параметры системы автоматического регулирования, предназначенной для увеличения холодопроизводительности парокомпрессионной холодильной установки.

* Статья получена 25 августа 2017 г.

Определены относительные величины истинных скоростей газовой фазы, соответствующие переходам от одного режима течения к другому в газожидкостном потоке.

Ключевые слова: двухфазная среда, режимы течения, экспериментальная установка, фотофиксация, граничные параметры потока, система управления, холодильные установки, автоматизация

ВВЕДЕНИЕ

Задача оптимизации затрат на энергопотребление холодильных установок достаточно актуальна. В статье рассмотрен вопрос о снижении затрат при транспортировке газосодержащих жидкостей.

В настоящее время проводятся исследования, в которых рассматриваются эмпирические методы регулирования режимов течения двухфазных сред (жидкость–газ) [1]. Задачи оптимизации тепломассообмена и снижения потерь на трении целесообразно решать с помощью управления режимами течения двухфазных потоков. Наиболее достоверные результаты получены с помощью методик Кутателадзе–Сорокина и Бейкера [1, 2].

В качестве примера рассмотрим реальный цикл парокомпрессионной холодильной установки в координатах $\lg P-i$ (P – давление, i – энтальпия) [2] (рис.1). Энтальпия – это энергия, которая доступна для преобразования в теплоту при определенном постоянном давлении.

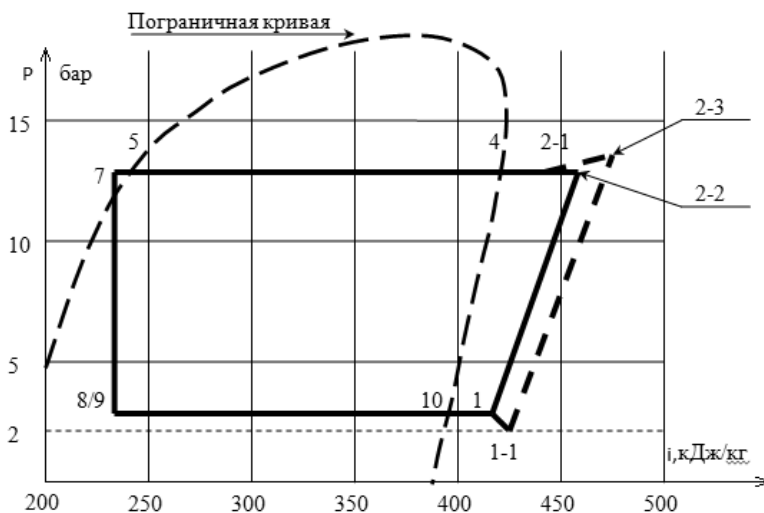


Рис. 1. Цикл холодильной машины, работающей на фрионе R22

Пограничная кривая (подковообразная пунктирная линия) разделяет жидкое и смешанное состояния, а также состояние перегретого пара хладагента. Состояние 1 (точка 1) соответствует всасывающему трубопроводу компрессора. Состояние 2 (точка 2-1) соответствует нагнетательной магистрали компрессора. На практике наблюдается деформация цикла холодильной машины (точки 1-1, 2-2, 2-3), вызванная перегревом хладагента в компрессоре, потерями давления на нагнетательной и всасывающей магистралях. Состояние 4 (точка 4) – вход в конденсатор. Состояние 5 (точка 5) – выход из конденсатора. Состояние 7 (точка 7) – вход в регулирующий вентиль (начало

процесса дросселирования хладагента. Состояние 8–9 (точка 8/9) – выход из регулирующего вентиля (давление и температура рабочего тела уменьшаются) и вход в испаритель. Состояние 10 (точка 10) – выход из испарителя. Массовый расход при холодопроизводительности 32 кВт равен $G_{R22} = 0,179$ кг/с. Площадь сечения трубы конденсатора диаметром $D = 0,025$ м составляет $S_0 = 4,909 \cdot 10^{-4}$ м². В точке 4 цикла [2], соответствующей началу процесса конденсации, температура хладона R22 равна $T_4 = 303$ К, давление $P_4 = 11,92 \cdot 10^5$ Па. Сплошная линия диаграммы цикла, соответствующая процессу конденсации [4], условно разделена на десять участков для анализа состояния газожидкостного потока хладагента. Массовое газосодержание ($X_{\text{газ}}$) изменяется от 1 (точка 4) до 0 (точка 5) с шагом 0,1. Исключение составляет промежуточная точка в первом участке. Относительное массовое газосодержание равно $X_{\text{газ}} = 0,95$. Расчетные значения критической температуры T_{4K} , коэффициента поверхностного натяжения σ_{T4} , удельного объема газовой фазы v_4 , плотности газовой фазы ρ_4 приняты в соответствии с параметрами состояния смеси [4]. Плотность и коэффициент динамической вязкости жидкой фазы R22 вычислены по соотношениям (1) и (2), приведенным в [5]:

$$\rho_{L4} = 4963 + 1,93578(369,28 - T_{4K}) + 173,975(369,28 - T_{4K})^{\frac{1}{3}} - \\ - 0,002(369,28 - T_{4K})^2 - 17,867(369,28 - T_{4K})^{\frac{1}{2}}; \quad (1)$$

$$\mu_{T4} = 10^{-6} \left[23,6136 - 9,5414\tau_{T4} + 1,67446\tau_{T4}^2 \right] (\tau_{T4})^{0.5}, \quad (2)$$

где $\tau_{T4} = T_{4K} / T_4$.

Значения величин плотностей из работ [2, 4] соответствуют вычисленным по соотношениям (1) и (2).

Карта течений газожидкостных систем Кутателадзе–Сорокина построена в координатах комплексов $K-N$ [2] (4) и (5), при вычислении которых необходимо знать (или задать) параметры двухфазного потока (приведенные скорости фаз, их плотности, коэффициент поверхностного натяжения в определенном сечении конденсатора). Рассмотрены два случая возможных комбинаций режимов течения хладагента в конденсаторе. Первый случай – наличие постоянной области кольцевого режима течения (не более 2/3 общей длины трубопровода конденсатора), второй случай – когда в конденсаторе существенно увеличена область кольцевого режима течения двухфазной среды (более 70 % от общей длины).

Ниже рассмотрен пример применения комплексов Кутателадзе–Сорокина к определению вида течения газожидкостного потока. В табл. 1 представлены значения комплексов Кутателадзе–Сорокина.

Таблица 1

Значения комплексов Кутателадзе–Сорокина

$X_{\text{газ}}$	0,1	0,3	0,5	0,6	0,7	0,95
K	1,701	5,103	8,505	10,206	11,907	16,160
N	11,984	10,486	7,490	5,992	4,494	0,749

Следуя [1], приведенные скорости фаз вычислим следующим образом (для газовой и жидкой соответственно):

$$W_{GAS4} = \frac{G_{R22} \cdot X_{\text{газ}}}{\rho_4 \cdot S_4}, \quad W_{\text{жид4}} = \frac{G_{R22}(1 - X_{\text{газ}})}{\rho_{L4} S_0}. \quad (3)$$

Комплексы Кутателадзе–Сорокина имеют вид

$$K = \left(\frac{g \cdot (\rho_{L4} - \rho_4)}{\rho_4^2 \cdot \sigma_{T4}} \right)^{\frac{1}{4}} W_{GAS4}, \quad (4)$$

$$N = \frac{1}{4} \left(\frac{(\rho_{L4} - \rho_4)^4 \sigma_{T4}^2}{\rho_{L4}^2 \cdot g^5 \cdot D^6} \right)^{\frac{1}{4}} \left(1 + 31g \frac{\sigma_{T4}^{\frac{3}{2}}}{\rho_4} \left(\frac{\rho_{L4}}{(\rho_{L4} - \rho_4)} \right)^{0,55} \right) W_{\text{жид4}}, \quad (5)$$

где g – ускорение свободного падения.

На рис. 2 отмечены расчетные точки в координатах комплексов Кутателадзе–Сорокина.

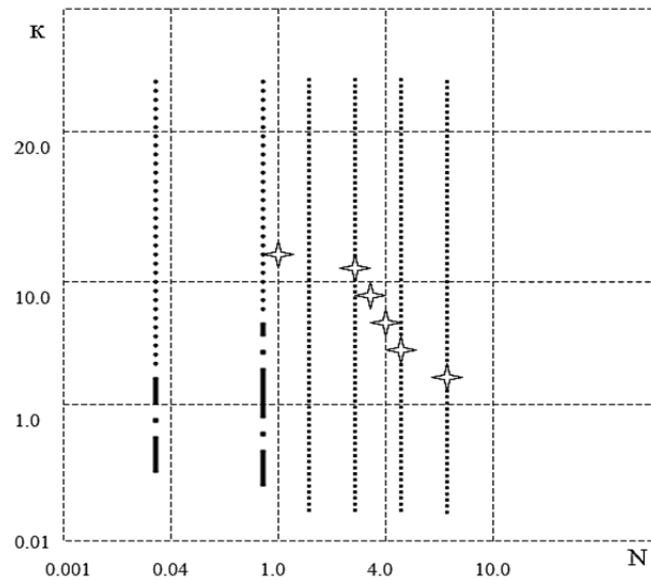


Рис. 2. Диаграмма режимов течения Кутателадзе–Сорокина:

..... – кольцевой режим течения со срывом капель; – дисперсно-кольцевой режим течения; ———— – снарядный режим течения; ☆ – расчетная точка

Следуя [2–4], изменение газосодержания по мере прохождения конденсатора от точки 4 до точки 5 (цикл холодильной машины на рис. 1) носит параболический закон. Полученные значения комплексов позволяют определить координаты точек на карте течений Кутателадзе–Сорокина [2], соответствующие дисперсному режиму течения при газосодержании 0,9...0,7, дисперсно-кольцевому – 0,7...0,1 и 1,0...0,09 – пограничному состоянию ближе к снарядному режиму течения.

Карта течений Беггза и Брилла [6] также показывает наличие разных режимов течения. Соответствующие этой методике комплексы вычисляются следующим образом:

$$\lambda_{B1} = \frac{\rho_4(1 - X_{\text{газ}})}{\rho_{L4} \cdot X_{\text{газ}} + \rho_4(1 - X_{\text{газ}})}, \quad (6)$$

$$L_{B1} = 316\lambda_{B1}^{0,302}, \quad L_{B2} = 0,000925\lambda_{B1}^{-2,468}, \quad L_{B3} = 0,1\lambda_{B1}^{-1,452}. \quad (7)$$

Число Фруда в данном случае принято в виде

$$Fr = \frac{W_{\Sigma LG}^2}{g \cdot D}, \quad (8)$$

где $W_{\Sigma LG}$ – сумма приведенных скоростей фаз

$$W_{\Sigma LG} = W_{GAS4} + W_{\text{жид}4}. \quad (9)$$

Для относительного массового газосодержания $X_{X4} = 0,7$ число Фруда Fr больше L_{B1} и параметр λ_{B1} меньше 0,4, что означает наличие кольцевого режима течения.

На интервале $0,6 < X_{X4} < 0,2$ число Фруда $L_{B3} < Fr < L_{B1}$ и параметр $0,01 < \lambda_{B1} < 0,4$ – пробковый либо снарядный режим течения.

Наличие дисперсного режима течения при относительном газосодержании от 0,95 до 0,8, а также отдельного режима течения при уменьшении относительного газосодержания от 0,2 до 0,0 [2, 6] методикой Беггза и Брилла достоверно не определяется.

Рассмотрим методику Бейкера [8] определения параметров газожидкостного потока. На рис. 3 приведена диаграмма Бейкера режимов горизонтального двухфазного двухкомпонентного потока. В качестве комплексов приняты следующие соотношения:

$$\lambda = \left[\left(\frac{\rho_{L4}}{1000} \right) \left(\frac{\rho_4}{1,2} \right) \right]^{0,5}, \quad \psi = \left[\left(\frac{73}{\sigma_{T4}} \right) \left(\frac{\mu_{T4}}{1} \right) \left(\frac{1000}{\rho_{L4}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{3}}, \quad (10)$$

где $G_f, G_g \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}} \right]$ – массовые расходы жидкой и газовой фаз соответственно.

Размерность коэффициента поверхностного натяжения $\left[\frac{\text{дин}}{\text{см}} \right]$, коэффициента динамической вязкости [спз].

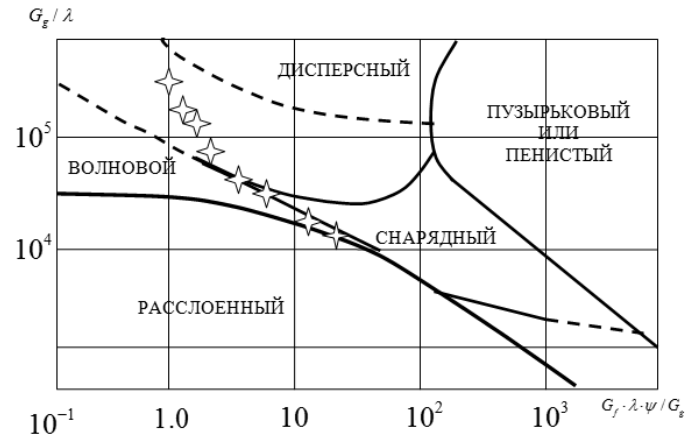


Рис. 3. Диаграмма Бейкера режимов горизонтального двухфазного двухкомпонентного потока (* – отмечены точки, соответствующие значениям из табл. 2)

Таким образом, следуя диаграмме Бейкера и значениям комплексов Бейкера, представленных в табл. 2, в рассматриваемом конденсаторе кольцевой режим течения реализован для значений газосодержания от 0,3 до 0,7, при газосодержании 0,2 и 0,1 – снарядный режим течения. Следует отметить, что возможность реализации снарядного и раздельного режимов течения на выходе из конденсатора установлена аналитически и экспериментально [3, 4]. В целом методики Бейкера и Кутателадзе–Сорокина могут быть использованы для регулирования режимов течения газожидкостного потока хладагента.

Таблица 2

Значения комплексов Бейкера

X_{x4}	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,95
G_g/λ	$1,836 \cdot 10^4$	$3,672 \cdot 10^4$	$5,508 \cdot 10^4$	$7,343 \cdot 10^4$	$9,179 \cdot 10^4$	$11,02 \cdot 10^4$	$12,85 \cdot 10^4$	$17,44 \cdot 10^4$
$G_f \lambda \psi / G_g$	31,349	13,933	8,128	5,225	3,483	2,322	1,493	0,189

В задачах динамики двухфазных сред, как правило, рассматриваются следующие режимы течения: дисперсный, пенообразный, снарядный (пробковый), кольцевой, раздельный. Каждый из режимов характеризуется соответствующим газосодержанием, потерей давления, скоростью потока и другими параметрами. На практике важно реализовать такие теплофизические параметры двухфазного потока, которые позволяют получить необходимый в данном конкретном случае режим течения (дисперсный, пенообразный, снарядный, пробковый, кольцевой, раздельный). Однако переход от одного к другому режиму течения происходит при незначительных изменениях параметров потока [2, 8, 15]. Поэтому практически важными являются задачи обеспечения строго определенного режима течения в процессе эксплуатации систем, содержащих многофазные среды. Например, недопустимо наличие

снарядного, пенообразного, пробкового режимов течения в магистральных трубопроводах в силу возникающих вибрационных нагрузок и скачков давлений [9–14]. Таким образом, представляется целесообразным изучение теплофизических параметров газожидкостных сред в процессах перехода от одного режима течения к другому.

В данной статье рассмотрена работа экспериментальной установки для наблюдения и измерения параметров двухфазной смеси при переходе от одного режима течения к другому. В процессе работы варьировались газосодержание и давление потока. Представлены результаты исследований зависимости варьируемых параметров и режимов течения двухфазного потока жидкость–газ, проведен анализ изменения теплофизических параметров смеси в процессах перехода от одного режима течения к другому.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Исследование возможности регулирования переходных процессов в восходящем газожидкостном потоке проведено на экспериментальной установке с замкнутым циклом движения жидкости (рис. 4).

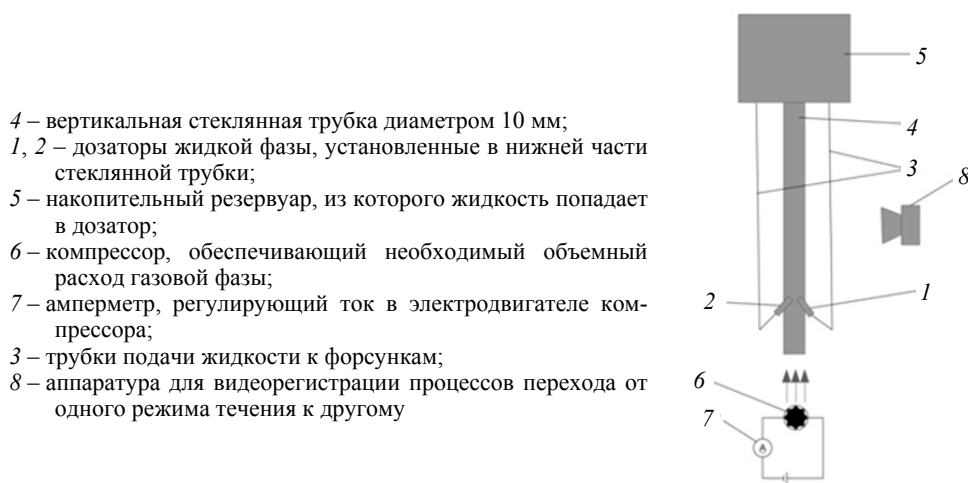


Рис. 4. Схема экспериментальной установки

На первом этапе исследования выбраны рабочие интервалы величин расходов газовой фазы, реализуемых компрессором, при которых можно получить основные режимы течения двухфазной среды (дисперсный, пенообразный, снарядный, пробковый, кольцевой). Проведена калибровка форсунок (поз. 1, 2, рис. 1) в соответствии с величиной расхода газовой фазы. Выполнена настройка аппаратуры видеофиксации.

На втором этапе проведена видеорегистрация переходных процессов течения двухфазного потока. Наиболее характерные из них, по мнению авторов, представлены на рис. 5.

Зафиксированы соответствующие значения величин расходов газовой фазы. Результаты измерений скорости потока для разных режимов течения смеси сведены в табл. 3.

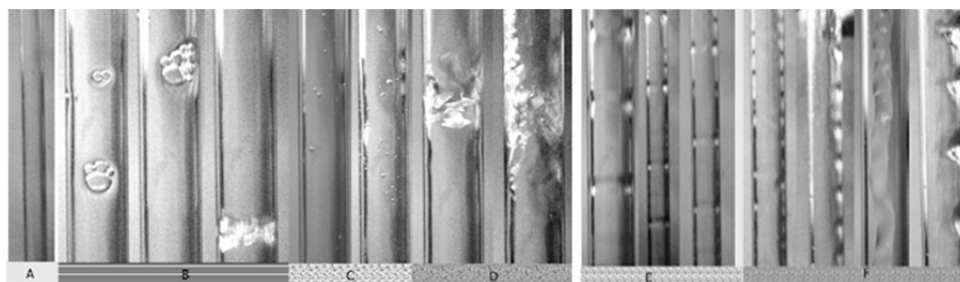


Рис. 5. Режимы течения:

А – дисперсный режим течения (жидкая фаза практически отсутствует); В – формирование пенообразного режима течения; С – пузырьковый режим течения; D – пробковый режим (сняты моменты разрушения пробки); Е – снарядный режим течения; F – кольцевой режим течения и процесс его формирования

Таблица 3

Результаты измерений скорости потока

Тип течения	Изменение скорости газовой фазы в %
Пробковый режим	23,81
Пенообразный режим	33,52
Снарядный режим	40,36
Кольцевой режим	58,78
Дисперсный режим	100

В правом столбце таблицы величины давления двухфазного потока выражены относительно величины, полученной при реализации дисперсного течения. Например, для перехода от снарядного режима течения к кольцевому требуется изменение истинной скорости газовой фазы на 18 %, для перехода от снарядного к пенообразному – на 7 %, для перехода от пенообразного к дисперсному – на 67 %.

В работе [16] показана возможная реализация системы автоматического регулирования режимов течения.

Принципиальная схема системы регулирования режимов течения приведена на рис. 6.

Для увеличения эффективности работы конденсатора (или испарителя) парокомпрессионных теплообменных установок предлагается применить систему регулирования режимов течения газожидкостного потока, состоящую из следующих блоков:

- датчики измерения параметров газожидкостного потока;
- цифровой или аналоговый блок обработки и преобразования поступающей информации, а также формирования команд управления, поступающих от компьютера;
- устройства для изменения концентрации фаз;
- компьютер.

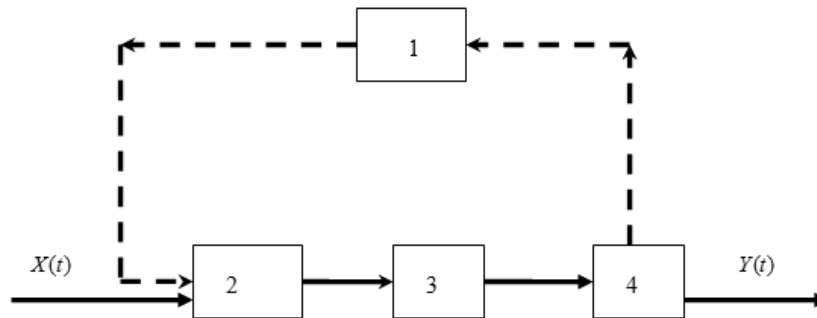


Рис. 6. Схема системы регулирования режимов течения:

1 – датчики; 2 – компьютер; 3 – преобразователь сигнала; 4 – исполнительный блок (устройства изменения газосодержания потока); $X(t)$, $Y(t)$ – сигналы входа и выхода

Существующие контроллеры способны обработать входные сигналы, соответствующие расходам жидкой и газовой фаз, а также выработать сигнал управления дозаторами, что позволяет обеспечить необходимый режим течения двухфазной смеси в трубопроводе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По методикам [8, 11, 12] определены значения градиентов давления в контрольных сечениях трубы конденсатора. Наименьшие потери (доли процента от общих потерь) наблюдаются в газовой фазе. Градиенты давления потока хладагента в жидком состоянии и в режиме двухфазного потока отличаются на 18 %. Наличие снарядного режима течения на выходе из конденсатора может увеличить градиент давления на 35 % по сравнению с жидкой фазой. В целом общая величина потерь давления не превосходит 3 % от рабочего давления в конденсаторе холодильной установки.

Измерение величины давления, скорости, температуры хладагента в контрольных сечениях совместно с анализом комплексов карт режимов течения позволяет достоверно определить состояние хладагента в конденсаторе [8]. Зафиксированные режимы течения двухфазной среды соответствуют картам режимов течения Кутателадзе–Сорокина и Бейкера [1, 2, 8].

Приведена схема экспериментальной установки для регистрации моментов переходов от одного режима течения к другому в газожидкостном потоке, определены относительные величины истинных скоростей газовой фазы, соответствующие этим переходам. Проведено сравнение полученных данных с известными картами режимов течения двухфазных сред. Показана принципиальная возможность реализации системы управления переходами от одного режима течения к другому для газожидкостных смесей разной природы.

Полученные результаты позволяют оптимизировать параметры системы автоматического регулирования [16], предназначенной для увеличения холодопроизводительности парокомпрессионной холодильной установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метод регулирования процессом теплоотдачи в конденсаторе холодильной установки / В.И. Гужов, И.А. Сажин, А.И. Сажин, В.А. Шумейко // Автоматика и программная инженерия. – 2014. – № 1 (7). – С. 13–19.
2. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – 5-е изд., доп. – М.: Атомиздат, 1979. – 416 с.
3. Rifert V.G., Ozimay S.S. The analysis of the regimes of phases flow and of methods of calculation of heat transfer during the condensation inside the horizontal tubes // Heat Transfer in Condensation: Proceedings of the Eurotherm Seminar 47, October 4–5, Paris, France. – Paris, 1995. – P. 78–85.
4. Маке В., Эккерт Г.-Ю., Кошпен Ж.-Л. Польманн: учебник по холодильной технике: пер. с фр. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 1529 с.
5. Лэнгли Б.К. Холодильная техника и кондиционирование воздуха. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 479 с.
6. Борис А.А., Лягов А.В. Определение режима течения потоков газожидкостной смеси в трубопроводах на установках путевого сброса воды Арланской группы месторождений ОАО «АНК Башнефть» [Электронный ресурс] // Нефтегазовое дело. – 2012. – № 2. – С. 66–78. – URL: http://ogbus.ru/authors/Boris/Boris_1.pdf (дата обращения: 16.03.2018).
7. Теплофизические свойства фреонов. Т. 1. Фреоны метанового ряда: справочные данные / В.В. Алтунин, В.З. Геллер, Е.К. Петров, Д.С. Рассказов, Г.А. Спиридонов; под ред. С.А. Ривкина. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 232 с.
8. Хьюитт Дж., Холл-Тейлор Н. Кольцевые двухфазные течения / пер. с англ. В.Я. Сидорова. – М.: Энергия, 1974. – 408 с.
9. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергия, 1975. – 486 с.
10. Бердников В.С., Митин К.А. Сопряженный конвективный теплообмен в вертикальном слое жидкости // Вестник НГУ. Серия: Физика. – 2012. – Т. 7, вып. 1. – С. 70–79.
11. Кутателадзе С.С., Волчков Э.П., Терехов В.И. Аэродинамика и тепломассообмен в ограниченных вихревых потоках. – Новосибирск: ИТФ, 1987. – 282 с.
12. Уоллис Г. Одномерные двухфазные течения. – М.: Мир, 1972. – 440 с.
13. Choi S.U.S. Nanofluids: from vision to reality through research // Journal of Heat Transfer. – 2009. – Vol. 131. – P. 033106-1–033106-9.
14. Terekhov V.I., Ekaid A.L. Natural convection between vertical parallel plates with asymmetric heating and cooling // Proceedings of the 6th Baltic Heat Transfer Conference BHTC 2011, August 24–26, 2011, Tampere, Finland. – Tampere, 2011. – N 185. – P. 1–11.
15. Review and comparison of nanofluid thermal conductivity and heat transfer enhancements / W.Yu., D.M. France, J.L. Routbort, S.U.S. Choi // Heat Transfer Engineering. – 2008. – Vol. 29, N 5. – P. 432–460.
16. Патент 159644 Российская Федерация. Система автоматического регулирования процессом теплоотдачи холодильной установки / В.И. Гужов, А.И. Сажин, В.А. Шумейко, И.А. Сажин. – № 2015142833/06; заявл. 07.10.2015; опубл. 20.02.2016, Бюл. № 5.

Гужов Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры систем сбора и обработки данных Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – оптические методы исследований материалов. Имеет более 200 публикаций. E-mail: v.guzhov@corp.nstu.ru

Сажин Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры технической теплофизики Новосибирского государственного технического университета. Основное направление исследований – теплофизические свойства жидкостей. Имеет более 50 публикаций. E-mail: sazhin@corp.nstu.ru

Шумейко Владимир Александрович, старший преподаватель кафедры автономных информационных и управляющих систем Новосибирского государственного технического университета. Основное направление исследований – автоматизация и управление. Имеет более 20 публикаций. E-mail: shumeyko@corp.nstu.ru

DOI: 10.17212/1814-1196-2018-1-67-78

Photorecording and control of transient parameters of the gas-liquid flow*V.I. GUZHOV¹, I.A. SAZHIN², V.A. SHUMEYKO³¹ Novosibirsk State Technical University, department of data acquisition and processing systems, D. Sc. (Eng.), professor, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk 630073, Russia E-mail: v.guzhov@corp.nstu.ru² Novosibirsk State Technical University, department of engineering thermal physics, associate professor, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk 630005, Russia E-mail: sazhin@corp.nstu.ru³ Novosibirsk State Technical University, department of autonomous information and control systems, senior lecturer, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk 630005. E-mail: shumeyko@corp.nstu.ru

The Kutateladze-Sorokin and Baker procedures and their application for the optimization of costs during gassy liquids transportation are addressed in the paper. An example of the Kutateladze-Sorokin complexes to determine the kind of the gas-liquid flow is also given. The Baker method of determining the kind of a horizontal two-phase flow is considered. The Beggs and Brill flow maps are shown. An experimental setup for determining flow parameters in transition from one flow to another is described. Vertically upward two-phase gas-liquid flow is implemented. Photographic recording of the dispersed flow (the liquid phase is practically absent), of the formation of the foam flow, of the plug flow (moments of the plug destruction), and of the process of forming the annular flow is made. A numerical analysis of changing the parameters of a two-phase flow when it changes is also made. For the plug flow to change over to the annular flow a change in the true speed of the gas phase by 18 % is required. For the plug flow to change over to the foam flow a change in the true speed of the gas phase by 7 % is required while for the foam flow to change over to the dispersed flow a change in the true speed of the gas phase by 67 % is required. The data obtained correspond to the values of Kutateladze-Sorokin and Baker maps. A possibility of synthesizing a control system for the implementation of a certain two-phase flow is demonstrated. The values of the pressure gradients in the test section of the condenser pipe are found. The data obtained are compared with the known two-phase flow medium maps.

A possibility of implementing control system transitions from one flow regime to another for liquid mixtures of different nature is demonstrated.

The obtained results make it possible to specify the parameters of an automatic control system intended to increase the cooling capacity of vapor compression refrigeration systems.

Relative values of the true velocity of the gas phase corresponding to transitions from one flow regime to another in the gas-liquid flow are determined.

Keywords: Two-phase environment, flow regime, experimental setup, photorecording, flow boundary parameters, control system, refrigerating plant, automation

REFERENCES

1. Guzhov V.I., Sazhin I.A., Sazhin A.I., Shumeyko V.A. Metod regulirovaniya protsessom teplootdachi v kondensatore kholodil'noi ustanovki [Method of control heat transfer in condenser freezer]. *Avtomatika i programnaya inzheneriya – Automatics & Software Engineering*, 2014, no. 1 (7), pp. 13–19.
2. Kutateladze S.S. *Osnovy teorii teploobmena* [Fundamentals of the theory of heat transfer]. 5th ed. Moscow, Atomizdat Publ., 1979. 416 p.
3. Rifert V.G., Ozimay S.S. The analysis of the regimes of phases flow and of methods of calculation of heat transfer during the condensation inside the horizontal tubes. *Heat Transfer in Condensation: Proceedings of the Eurotherm Seminar 47*, Paris, France, 1995, pp. 78–85.
4. Maake W., Eckert H.-J., Cauchepin J.-L. *Le Pohlmann : manuel technique du froid*. Ivry-sur-Seine, Pyc Edition, 1993 (Russ. ed.: Make V., Ekkert G.-Yu., Koshpen Zh.-L. *Pol'mann: uchebnik po kholodil'noi tekhnike*. Moscow, MSU Publ., 1998. 1529 p.).

* Received 25 August 2017.

5. Langley B.C. *Refrigeration and air conditioning*. Reston, Va, Reston Pub. Co, 1978 (Russ. ed.: Lengli B.K. *Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovanie vozdukh*. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost' Publ., 1981. 479 p.).
6. Boris A.A., Lyagov A.V. Opredelenie rezhima techeniya potokov gazozhidkostnoi smesi v truboprovodakh na ustanovkakh putevogo sbrosa vody Arlanskoï gruppy mestorozhdenii OAO "ANK Bashneft" [The determination of current gas-liquid mix stream mode at the pipeline in oil and petroleum gas gathering system of JSC ANK «Bashneft» on Arlan group of oilfields]. *Neftegazovoe delo – Oil and Gas Business*, 2012, no. 2, pp. 66–78. Available at: http://ogbus.ru/authors/Boris/Boris_1.pdf (accessed 16.03.2018).
7. Altunin V.V., Geller V.Z., Petrov E.K., Rasskazov D.S., Spiridonov G.A. *Teplofizicheskie svoystva freonov*. T. 1. *Freony metanovogo ryada: spravochnye dannye*. Ed. by S.A. Rivkin. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1980. 232 p.
8. Hewitt G.F., Holl-Taylor N.S. *Annular two-phase flow*. Oxford, Pergamon Press, 1972 (Russ. ed.: Kh'yuit Dzh., Khol-Teilor N. *Kol'tsevye dvukhfaznye techeniya*. Moscow, Energiya Publ., 1974. 408 p.).
9. Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. *Teploperedacha* [Heat transfer]. Moscow, Energiya Publ., 1975. 486 p.
10. Berdnikov V.S., Mitin K.A. Sopryazhenniy konvektivnyy teploobmen v vertikal'nom sloe zhidkosti [The convective conjugate heat transfer in a vertical liquid layer]. *Vestnik NGU. Seriya: Fizika – Vestnik NSU. Series: Physics*, 2012, vol. 7, iss. 1, pp. 70–79.
11. Kutateladze S.S., Volchkov E.P., Terekhov V.I. *Aerodinamika i teplomassoobmen v ogranichennykh vikhrevykh potokakh* [Aerodynamics and heat and mass transfer in confined vortex flows]. Novosibirsk, Institut teplofiziki Publ., 1987. 282 p.
12. Wallis G. One dimensional two-phase flow. New York, McGraw-Hill, 1969 (Russ. ed.: Uollis G. *Odnomernye dvukhfaznye techeniya*. Moscow, Mir Publ., 1972. 440 p.).
13. Choi S.U.S. Nanofluids: from vision to reality through research. *Journal of Heat Transfer*, 2009, vol. 131, pp. 033106-1–033106-9.
14. Terekhov V.I., Ekaïd A.L. Natural convection between vertical parallel plates with asymmetric heating and cooling. // *Proceedings of the 6th Baltic Heat Transfer Conference BHTC 2011*, August 24–26, 2011, Tampere, Finland, no. 185, pp. 1–11.
15. Yu W., France D.M., Routbort J.L., Choi S.U.S. Review and comparison of nanofluid thermal conductivity and heat transfer enhancements. *Heat Transfer Engineering*, 2008, vol. 29, no. 5, pp. 432–460.
16. Guzhov V.I., Sazhin A.I., Shumeyko V.A., Sazhin I.A. *Sistema avtomaticheskogo regulirovaniya protsessom teplootdachi kholodil'noi ustanovki* []. Patent RF, no. 159644, 2016.

Для цитирования:

Гужов В.И., Сажин И.А., Шумейко В.А. Фотофиксация и регулирование переходных параметров газожидкостного потока // Научный вестник НГТУ. – 2018. – № 1 (70). – С. 67–78. – doi: 10.17212/1814-1196-2018-1-67-78.

For citation:

Guzhov V.I., Sazhin I.A., Shumeyko V.A. Fotofiksatsiya i regulirovanie perekhodnykh parametrov gazozhidkostnogo potoka [Photorecording and control of transient parameters of the gas-liquid flow]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2018, no. 1 (70), pp. 67–78. doi: 10.17212/1814-1196-2018-1-67-78.