

Исследование области перегретого пара в кожухотрубном испарителе парокомпрессионной холодильной машины

М.С. Чурсова, К.В. Зубов

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

Обоснование. На данный момент доля отечественного производства холодильной техники на рынке требует дальнейшего роста в связи с уходом многих зарубежных производителей. Перед промышленностью стоит задача по усовершенствованию технологий, наращиванию объемов производства и расширению возможностей, чтобы закрыть увеличивающийся спрос. Таким образом, повышаются и требования к проектированию систем холодоснабжения и оборудования и хладоносителям.

В отечественной литературе не приводятся методики, которые бы учитывали все особенности двухфазного теплообмена при кипении фреона. По большей части они основываются на влиянии падения давления на свойства хладоносителей. Для современных фреонов такой подход не совсем верен, т. к. множество из них являются составными из других фреонов, что порождает «температурный глайд», возникающий из-за разных температур насыщения составляющих смеси. Также малое внимание уделяется доле пара, которая меняется от нуля до полного высыхания. Таким образом, появляются существенные погрешности.

Цель — рассмотреть область перегрева в кожухотрубном испарителе и найти оптимальную методику расчета.

Методы. В данной работе однофазный теплообмен встречается в зоне перегретого пара, поэтому для данного случая справедливо применять формулы Гнилинского и Петухова и Попова [1].

Формула Петухова и Попова:

$$\alpha_{1\phi} = \frac{Re \cdot Pr(f/2)(\lambda/d)}{1,07 + 12,7(Pr^{2/3} - 1)(f/2)^{0,5}},$$

при $0,5 \leq Pr \leq 2000$ и $10^4 \leq Re \leq 5 \cdot 10^6$.

Формула Гнилинского:

$$\alpha_{1\phi} = \frac{Re \cdot Pr(f/2)(\lambda/d)}{1,07 + 12,7(Pr^{2/3} - 1)(f/2)^{0,5}},$$

при $0,5 \leq Pr \leq 2000$ и $2300 \leq Re < 10^4$,

где Re — число Рейнольдса, определяемое по массовому расходу через единицу площади; Pr — число Прандтля теплоносителя, определяемое по температуре и давлению; f — коэффициент трения; λ — коэффициент теплопроводности теплоносителя при данных температуре и давлении; d — внутренний диаметр трубки.

Коэффициент трения f определяется следующим образом:

$$f = (1,58 \ln(Re) - 3,28)^{-2}.$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{G \cdot d}{\mu},$$

где μ — коэффициент динамической вязкости при данном давлении и температуре.

Результаты. Для подтверждения правильности выбора методики были проведены расчеты на основе экспериментальных данных, полученных в ходе испытаний парокомпрессионной холодильной машины с испарителем DH1-164 компании Bitzer. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Расчет коэффициента теплоотдачи в области перегретого пара

№ замера	$\alpha_{1\text{ф}}^{\text{пп}}, \text{Вт/м}^2\text{К}$	$\text{Re}_{\text{пп}}$
1	685,5917	221274
2	660,487	215319
3	608,9036	200051
4	581,2456	189405
5	584,7419	192036
6	561,2962	184916
7	532,5575	172128
8	536,127	175934
9	536,6434	177699
10	568,0869	187565
11	546,6849	180359
12	553,5111	183367
13	557,3345	184460
14	566,4009	190523
15	545,4191	182412

Далее был рассчитан коэффициент теплопередачи и мощность теплообменника с учетом области перегрева, результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2. Расчет коэффициента теплопередачи в области перегретого пара

№ замера	$k_{\text{пп}}, \text{Вт/м}^2\text{К}$	$Q_{\text{пп}}, \text{кВт}$
1	621,3575	4,389702
2	600,6656	3,694051
3	556,9505	2,45631
4	533,9744	3,321239
5	536,5667	4,555624
6	516,4819	3,708162
7	491,4236	3,897452
8	494,3296	3,616105
9	494,5736	3,175152
10	509,5802	2,705739
11	492,0331	2,512197
12	497,2842	2,577024
13	499,8861	1,492107
14	507,0018	1,272245
15	489,8956	1,064748

Выводы. Разница между расчетными и экспериментальными значениями составляет 6,61 % и 4,11 % с учетом перегрева (табл. 3) для двух выбранных испытаний аппарата DH1-164 на хладагенте R404A, что является приемлемым для использования модели расчета в дальнейшем.

Таблица 3. Сравнение результатов

Мощность экспериментальная, кВт	Мощность расчетная, кВт	Расхождение, %
87,89	94,1	6,61
85,01	88,7	4,11

Ключевые слова: фреон; парокомпрессионная холодильная машина; область перегрева; кипение в малых каналах; испаритель холодильной машины.

Список литературы

1. Kandlikar S.G., Shoji M., Dhir V.K. Handbook of Phase change: boiling and condensation. New York: Taylor & Francis, 1999. 784 p. doi: 10.1201/9780203752654

Сведения об авторах:

Мария Сергеевна Чурсова — студентка, группа ЭНМ-140903, кафедра теплоэнергетики и теплотехники; Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия. E-mail: 89638630658@mail.ru

Кирилл Витальевич Zubov — студент, ЭНМ-140903, кафедра теплоэнергетики и теплотехники; Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия. E-mail: kirillka.zubov@gmail.com

Сведения о научном руководителе:

Алексей Евгеньевич Кувалдин — старший преподаватель; Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия. E-mail: a.e.kuvaldin@urfu.ru