

УДК 621.565.943

В.П. Шайдуллина, Л.В. Дуболазова

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПОРОВ В ИСПАРИТЕЛЯХ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Исследуется влияние температурного напора в испарителях на энергоэффективность холодильной машины. Выведены математические уравнения зависимости удельной холодопроизводительности и работы от температурного напора.

Ключевые слова: температурный напор, холодопроизводительность, холодильный коэффициент.

V.P. Shaidullina, L.V. Dubolazova

THE IMPACT OF EVAPORATOR TEMPERATURE RANGE ON THE REFRIGERATING MACHINE ENERGY EFFICIENCY

The article studies the evaporator temperature range and its impact on the refrigerating machine energy efficiency. We came up with the equation that indicates the dependence of refrigerating capacity and compression strength per unit on temperature range.

Key words: temperature range, compression strength per unit, refrigerating capacity, refrigerating coefficient.

Введение

Для максимального сохранения качества продуктов питания требуется определенная температура и влажность воздуха. Необходимая температура воздуха в холодильной камере поддерживается в зависимости от требуемой температуры хранения продукции. Температура в холодильной камере зависит от многих факторов: теплопритоков через ограждения, теплопритоков от термической обработки продуктов, теплопритоков от открывания дверей, от работающего персонала, электрооборудования, кратности циркуляции воздуха в камере.

В испарителях (воздухоохладителях) холодильных машин происходит процесс кипения холодильного агента. Кипение – процесс парообразования внутри жидкости, температура которой выше температуры насыщения при данном давлении. Для поддержания процесса кипения необходим непрерывный подвод теплоты к кипящей жидкости от охлаждаемой среды.

Количество теплоты, передаваемое хладагенту от охлаждаемой среды, определяется по формуле (1)

$$Q_0 = k \cdot F \cdot \theta_m, \quad (1)$$

где k – коэффициент теплопередачи испарителя, Вт/(м²·°С); F – площадь теплопередающей поверхности, м²; θ_m – температурный напор между средами, °С.

Коэффициент теплопередачи зависит от типа испарителя. При низких температурах работа испарителей всегда приводит к малым значениям коэффициента теплопередачи, так как при низких температурах кипения имеют место невысокие коэффициенты теплоотдачи как на стороне кипящего хладагента, так и на стороне жидкого хладоносителя. С понижением температуры кипения коэффициенты теплопередачи снижаются в 2,5–3 раза, т.е. весьма су-

щественно [1]. К наиболее распространенным причинам понижения коэффициента теплопередачи испарителя в процессе эксплуатации относятся:

- образование значительного слоя инея (снеговой шубы) на наружной поверхности испарителя или образование льда на рабочей поверхности в испарителях, используемых для охлаждения хладоносителей;
- загрязнение маслом внутренней поверхности испарителя;
- уменьшение скорости движения воздуха в воздухоохладителях или хладоносителя в испарителях для охлаждения жидкостей.

Наличие температурного напора θ_m определяет перенос теплоты от охлаждаемого продукта к кипящему холодильному агенту. В холодильных машинах работа теплообменных аппаратов обусловлена малыми температурными напорами [2, 3, 4, 5, 6]. В процессе эксплуатации величина температурного напора зависит в основном от состояния теплопередающей поверхности, заполнения испарителя холодильным агентом и соответствия между холодопроизводительностью компрессора и испарителя.

Правильный выбор величины температурного напора позволяет снизить энергопотребление холодильной машины, поэтому целью данной работы является исследование влияния температурных напоров на параметры холодильной машины.

Методы исследования

На рис. 1 приведена схема холодильной машины и цикл в диаграмме $h-lgp$, по которому проведены сравнительные расчеты параметров холодильного цикла. Термодинамические процессы цикла: 1–2 – адиабатное сжатие в компрессоре; 2–3 – охлаждение, конденсация и переохлаждение сжатого пара в конденсаторе; 3–4 – дросселирование холодильного агента; 4–1 – кипение хладагента в испарителе.

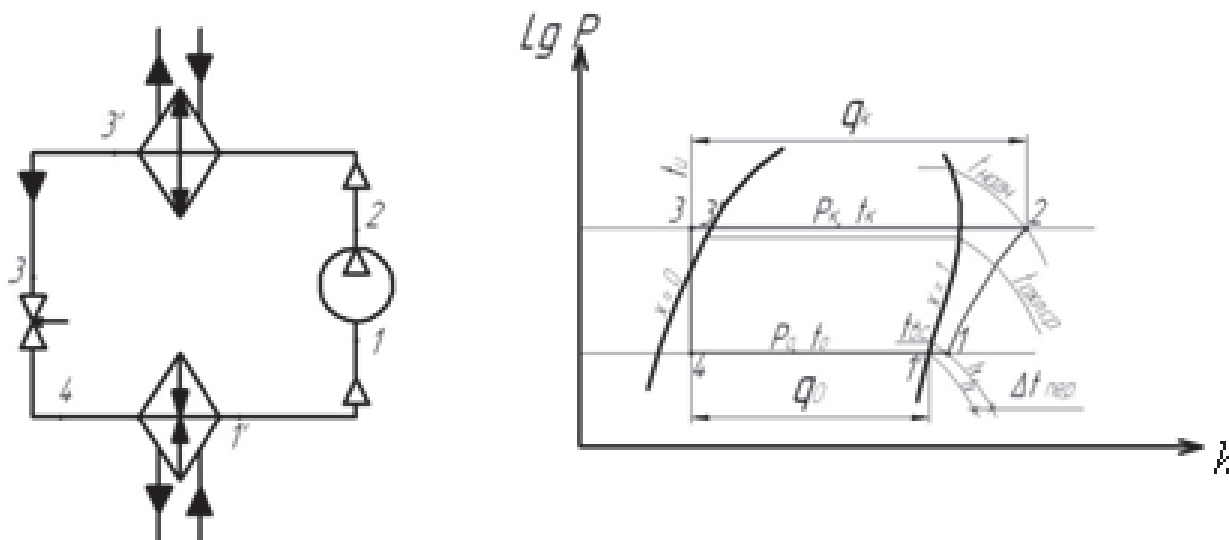


Рис. 1. Схема холодильной машины и цикл в диаграмме $h-lgp$
 Fig. 1. The diagram of refrigeration unit and cycle in diagram $h-lgp$

Удельная массовая холодопроизводительность, кДж/кг

$$q_o = h_1 - h_4. \quad (2)$$

Работа на сжатие 1 кг хладагента, кДж/кг

$$l = (h_2 - h_1). \quad (3)$$

Холодильный коэффициент

$$\varepsilon = \frac{q_0}{h_2 - h_1}. \quad (4)$$

Удельная объемная холодопроизводительность, кДж/м³

$$q_v = \frac{q_0}{v_1}. \quad (5)$$

Результаты исследования

Сравнительные расчеты параметров холодильного цикла для R717, R22, R507, R404a проведены по формулам (2–5) и представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Параметры холодильного цикла при разных температурных напорах

Table 1

Refrigeration cycle parameters according to different temperature drops

Температура конденсации $t_k, ^\circ\text{C}$	Температура кипения $t_0, ^\circ\text{C}$	Удельная массовая холодопроизводительность $q_0, \text{кДж/кг}$	Удельная объемная холодопроизводительность $q_v, \text{кДж/м}^3$	Отклонения, %
R717				
35	-5	1090	3027	
	-10	1080	2571	3,0
	-15	1070	2098	3,6
	-20	1060	1737	3,44
R22				
35	-5	161	2824	
	-10	159	2373	3,2
	-15	158	2025	2,9
	-20	156	1695	3,2
R507				
35	-5	118	3185	
	-10	116	2697	3,0
	-15	114	2235	3,1
	-20	112	1836	3,57
R404a				
35	-5	108	2700	
	-10	107	2276	3,1
	-15	106	1859	3,66
	-20	104	1552	3,3

Таблица 2

Параметры холодильного цикла при разных температурных напорах

Table 2

Refrigeration cycle parameters according to different temperature drops

Температура конденсации t_k , °С	Температура кипения t_o , °С	Работа на сжатие l , кг	Холодильный коэффициент ε	Отклонения, %
R717				
35	-5	190	5,73	
	-10	240	4,5	12,3
	-15	290	3,68	19,3
	-20	301	3,4	7,6
R22				
35	-5	32	5,03	
	-10	34	4,67	7,15
	-15	37	4,27	8,56
	-20	45	3,47	18,7
R507				
35	-5	25	4,72	
	-10	27	4,29	9,1
	-15	29	3,93	8,39
	-20	36	3,11	20,8
R404a				
35	-5	27	4,0	
	-10	29	3,68	8,0
	-15	32	3,3	10,32
	-20	37	2,81	14,84

Снижение температуры кипения хладагента на 1 градус вызывает снижение удельной объемной холодопроизводительности более чем на 3 % (см. табл. 1, 2) вызывает увеличение работы на сжатие 1 кг хладагента (рис. 2) и снижение холодильного коэффициента (рис. 3). При понижении температуры воздуха происходит осушение воздуха, если воздух становится насыщенным, осуществляется конденсация водяных паров из воздуха на теплопередающей поверхности испарителя. Влага, выпадающая на приборах охлаждения, вызывает уменьшение массы продукции и снижение качества. Степень усушки продукции в первую очередь зависит от разности температур кипения и воздуха в камере. Увеличение объемного расхода воздуха при снижении разности температур на входе в воздухоохладитель и выходе из него способствует снижению выпадения влаги.

Используя программу CurveExpert 1.4, получим математические уравнения кривых зависимости изменения удельной объемной холодопроизводительности от температуры кипения для различных холодильных агентов (рис. 2):

$$\text{для R717} - q_v = 3444 + 86,86 t_o;$$

$$\text{для R22} - q_v = 3163 + 74,7 t_o;$$

$$\text{для R507} - q_v = 3615,5 + 90,18 t_o;$$

$$\text{для R404a} - q_v = 3662 + 77,22 t_o.$$

Данные уравнения можно использовать для определения удельной объемной холодопроизводительности в диапазоне температур кипения от -5 °С до -20 °С.

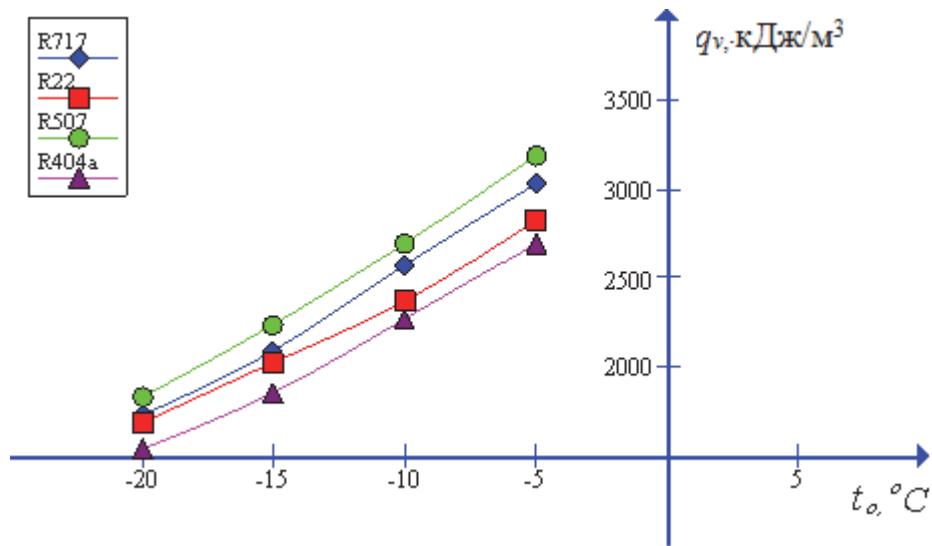


Рис. 2. Изменение удельной объемной холодопроизводительности в зависимости от температуры кипения для различных холодильных агентов
Fig. 2. Change in specific volumetric cooling capacity depending on the boiling point for various refrigerants

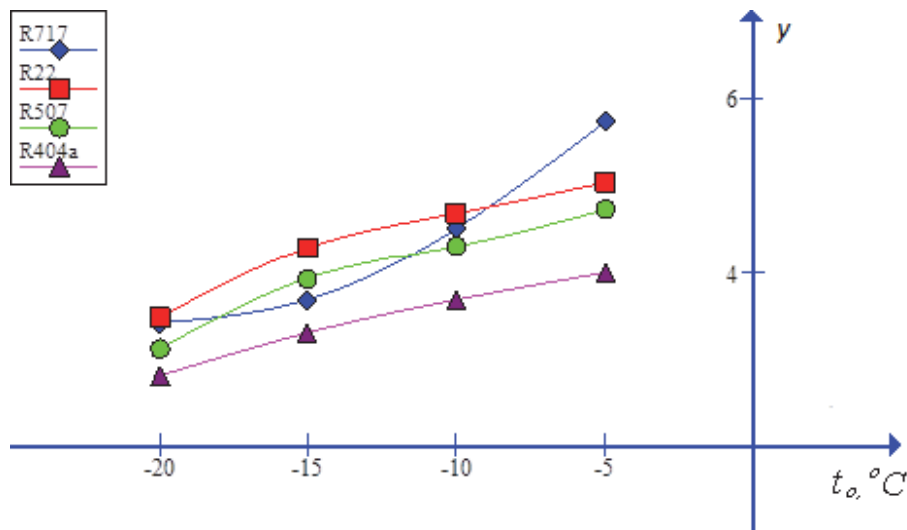


Рис. 3. Изменение холодильного коэффициента в зависимости от температуры кипения для различных холодильных агентов
Fig. 3. Change in the refrigeration coefficient depending on the boiling point for various refrigerants

Используя программу CurveExpert 1.4, получим математические уравнения кривых зависимостей изменения коэффициента в зависимости от температуры кипения для различных холодильных агентов (рис. 3):

$$\text{для R717} - \epsilon = 7,4675 + 0,3937 t_0 + 0,0095 t_0^2;$$

$$\text{для R22} - \epsilon = 5,08 - 0,0084 t_0 - 0,0044 t_0^2;$$

$$\text{для R507} - \epsilon = 4,8225 + 0,0063 t_0 + 0,0039 t_0^2;$$

$$\text{для R404a} - \epsilon = 4,2225 + 0,0365 t_0 - 0,0017 t_0^2.$$

Данные уравнения можно использовать для определения удельной объемной холодопроизводительности в диапазоне температур кипения от -5°C до -20°C .

Выводы

Таким образом, рассмотрено влияние изменения температурного напора в испарителях на параметры холодильной машины.

Выведены математические уравнения зависимостей удельной холодопроизводительности, работы на сжатие 1 кг хладагента, от температурного напора.

Сокращать размеры испарителя, увеличивая температурный напор между средами, экономически нецелесообразно, несмотря на снижение капитальных затрат на испаритель, поскольку это приводит к повышению энергетических затрат на производство искусственного холода из-за понижения температуры кипения хладагента. Снижение эффективности работы испарителя, вызывая понижение температуры кипения хладагента, приводит, в свою очередь, к уменьшению холодопроизводительности компрессора, увеличению удельного расхода электроэнергии при одновременном ухудшении условий работы компрессора, так как при этом повышается температура нагнетания.

Список литературы

1. Курылев Е.С., Оносовский В.В., Румянцев Ю.Д. Холодильные установки. СПб.: Политехника, 2000. 576 с.
2. Шишов В.В. Температурный напор в конденсаторах с воздушным охлаждением // Холодильная техника. 2014. № 9. С. 35–37.
3. Идельт П., Арндт У. Кондиционирование воздуха. Сплит и VRF-мультисплит системы. М.: Техносфера, 2011. 335 с.
4. Симдянкин А.А., Назаренко А.В. Исследование влияния изменения температурного напора в воздушных конденсаторах на параметры холодильных установок // Науч. тр. Дальрыбвтуза. 2019. Т. 48, № 2. С. 62–66.
5. Шишов В.В. Рекомендации по температурным напорам // Холодильная техника. 2014. № 9. С. 41–43.
6. Шайдуллина В.П., Дуболазова Л.В. Анализ температурных напоров в конденсаторах холодильных машин, их влияние на энергоэффективность // Науч. тр. Дальрыбвтуза. 2019. Т. 49, № 3. С. 55–61.

Сведения об авторах: Шайдуллина Валентина Павловна, кандидат технических наук, доцент; e-mail: kafedra_XTKuT@mail.ru;

Дуболазова Людмила Васильевна, старший преподаватель.