

**Носков Анатолий Николаевич**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
ХОЛОДИЛЬНОГО ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА**



Санкт-Петербург  
2018

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**А.Н. Носков**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
ХОЛОДИЛЬНОГО ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА**

**РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО**  
по направлению подготовки 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения» в качестве учебно-методического пособия для реализации основных профессиональных образовательных программ высшего образования бакалавриата

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**Санкт-Петербург**

**2018**

Носков А.Н. – Университет ИТМО, 2018. – 41 с.

Рецензент: А.А. Зимков, канд. техн. наук, ведущий инженер  
ООО “ОК”

Дано описание стенда и приведена методика экспериментального исследования холодильного поршневого компрессора по внешним характеристикам. Приведена методика расчетного определения объемных и энергетических показателей компрессора и сравнения экспериментальных и расчетных данных.

Предназначены для студентов направления бакалавриата 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения» по дисциплине «Объемные компрессоры холодильных машин» всех форм обучения.



**Университет ИТМО** – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 – 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2018

© Носков А.Н., 2018

## ВВЕДЕНИЕ

Курс «Объемные компрессоры холодильных машин» является одним из основных специальных курсов в подготовке бакалавров по направлению 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения».

Дисциплина относится к циклу профессиональных дисциплин.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: «Математика», «Теоретическая механика», «Механика жидкости и газа», «Теоретические основы холодильной техники и низкотемпературные машины» и служит основой для прохождения практики, выполнения выпускной квалификационной работы, а также для формирования компетентности в профессиональной области.

Охлаждением называется процесс отвода теплоты от источника низкой температуры - объекта охлаждения. Этот процесс сопровождается понижением температуры объекта охлаждения ниже температуры окружающей среды. Охлаждение в холодильной технике может быть как естественным, путем аккумуляции естественного холода, так и искусственным.

Искусственный холод производится в холодильной машине, которая забирая теплоту низкого потенциала от источника низкой температуры (ИНТ) – объекта охлаждения, передает ее источнику высокой температуры (ИВТ), которым, как правило, является окружающая среда. Теплота, забираемая от объекта охлаждения, называется холодопроизводительностью холодильной машины  $Q_0$ .

В настоящее время в основном используется искусственный холод, он применяется в различных отраслях промышленности: пищевой, химической, сельском хозяйстве, на транспорте, в установках кондиционирования воздуха и т.д. [8,12,13].

Для получения искусственного холода, согласно со вторым законом термодинамики, необходимо затратить работу. В холодильной машине работа затрачивается на привод компрессора. Компрессор в большой степени определяет эффективность работы холодильной машины, он предназначен для сжатия и перемещения рабочего вещества.

Компрессоры бывают объемного и динамического принципа действия. В компрессорах объемного принципа действия сжатие происходит за счет сокращения объема рабочего пространства. В компрессорах динамического принципа действия сжатие происходит за счет использования сил инерции и преобразования кинетической

энергии в потенциальную. Компрессоры динамического принципа действия, как правило, имеют большую объемную производительность.

В зависимости от агрегатного состояния рабочего вещества холодильные машины подразделяются на парокomppressorные (паровые) и газовые. В газовых холодильных машинах в течение всего рабочего процесса рабочее вещество не изменяет своё агрегатное состояние.

В парокomppressorных холодильных машинах рабочее вещество, совершая обратный цикл, изменяет свое агрегатное состояние и может находиться в состоянии влажного, сухого насыщенного или перегретого пара или жидкости. Парокomppressorные холодильные машины нашли наибольшее применение в холодильной технике в широком интервале температур.

Основными элементами парокomppressorной холодильной машины являются компрессор, конденсатор, испаритель и дроссельное устройство [9].

В области умеренного холода применяются компрессоры объемного принципа действия: поршневые, винтовые, спиральные, ротационные и другие.

Поршневые компрессоры имеют следующие основные достоинства: хорошо отлаженная технология производства и высокая энергетическая эффективность (высокий КПД).

Поршневые компрессоры относятся к типу компрессоров объемного принципа действия и являются наиболее распространенным видом холодильных компрессоров. Холодопроизводительность поршневых компрессоров изменяется в пределах от нескольких десятков ватт до сотен киловатт. Количество поршневых компрессоров, применяемых в настоящее время в холодильных машинах, превышает суммарное число компрессоров всех других типов, так как во всем мире миллионами штук выпускаются домашние холодильники, небольшие кондиционеры, холодильные машины для небольших предприятий торговли. В области холодопроизводительностей до 100-150 кВт практически повсеместно используются поршневые компрессоры. Поршневые холодильные компрессоры имеют более высокую энергетическую эффективность по сравнению с винтовыми компрессорами, хотя и уступают последним по надежности и сроку службы.

В условиях высокой стоимости электрической энергии это преимущество имеет решающее значение при выборе именно поршневого компрессора [5,8,9].

Для оценки эффективности работы поршневого компрессора служат объемные и энергетические коэффициенты. Характеристики компрессора могут быть получены как методом экспериментального исследования, так и расчетным путем. Целью работы является экспериментальное исследование характеристик холодильного поршневого компрессора, сопоставление экспериментальных и расчетных результатов этих исследования, анализ влияния конструктивных параметров компрессора и режима работы на его эффективность.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ХОЛОДИЛЬНОГО ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ СТЕНДЕ

## 1. Общие положения

Эффективность работы холодильных машин обычно оцениваются внешними теплотехническими характеристиками, представляющими собой зависимости холодопроизводительности  $Q_0$ , потребляемой компрессором мощности  $N$  и холодильного коэффициента  $\varepsilon$  ( $\varepsilon = Q_0/N$ ) от температуры внешних источников теплоты (охлаждаемого объекта  $T_{об}$  и окружающей среды  $T_{о.с}$ ):

$$Q_0 = f_1(T_{об}, T_{о.с}); N = f_2(T_{об}, T_{о.с}); \varepsilon = f_3(T_{об}, T_{о.с}). \quad (1)$$

В зависимости от того, рассматривается холодильная машина целиком или ее отдельные агрегаты, значения температуры, входящие в уравнение (1), могут отличаться.

**Характеристики всей холодильной машины** – представляют собой зависимости  $Q_0$ ,  $N$  и  $\varepsilon$  от температуры охлаждаемой среды (рассола  $t_{s2}$  или воздуха  $t_{в2}$ ) при выходе из испарителя и от температуры охлаждающей среды (воды или окружающего воздуха) при входе в конденсатор  $t_{w1}$ ,  $t_{окр.в}$ .

**Характеристики компрессорно-конденсаторных агрегатов** – представляют собой зависимости  $Q_0$ ,  $N$  и  $\varepsilon$  от температуры кипения рабочего вещества  $t_0$  в испарителе и температуры охлаждающей конденсатор среды (воды  $t_{w1}$  или окружающего воздуха  $t_{окр.в}$ ). При расчёте этих характеристик температуру кипения  $t_0$  принимают равной температуре насыщения при давлении всасывания в компрессор. Удельная холодопроизводительность определяется как разность энтальпии сухого насыщенного пара и энтальпии жидкости при входе в испаритель. Эти величины определяются при давлении кипения  $p_0$ .

Для компрессорно-конденсаторного агрегата, работающего в составе одноступенчатой холодильной машины без регенеративного теплообменника, вторая энтальпия – энтальпия жидкости при выходе из конденсатора.

При данном подходе не учитывается сопротивления всасывающего тракта при движении пара от испарителя к компрессору и его

перегрев в испарителе реальной холодильной машины. Поэтому значение холодопроизводительности  $Q_0$  и холодильного коэффициента  $\varepsilon$ , определённые расчётным путём по известному массовому расходу рабочего вещества через компрессор, являются условными и дают приближённое представление о том, какими будут эти параметры в реальной холодильной машине.

В действительности значение холодопроизводительности  $Q_0$ , холодильного коэффициента  $\varepsilon$  и температуры хладоносителя  $t_{s2}$  будет зависеть от конструкций испарителя, длины и диаметра трубопровода, соединяющего его с компрессором, теплофизических свойств и скорости рабочего вещества.

**Характеристики компрессорно-испарительных агрегатов**, в состав которых не входит испаритель и конденсатор, – это зависимости  $Q_0$ ,  $N$  и  $\varepsilon$  от температуры хладоносителя  $t_{s2}$  или воздуха  $t_{в2}$  при выходе из испарителя и температуры конденсатора  $t_k$ .

Так как в этом случае не учитываются потери давления при движении пара от компрессора к конденсатору, считается, что давление конденсации равно давлению нагнетания компрессора.

Энтальпия жидкости при выходе из конденсатора принимается равной энтальпии насыщенной жидкости при давлении конденсации  $t_k$ , при этом не учитывается её переохлаждение в конденсаторе реальной холодильной машины. Поэтому величины  $Q_0$  и  $\varepsilon$  также являются условными и могут отличаться от аналогичных параметров реальных холодильных машин с различными конденсаторами и нагнетательными трубопроводами.

**Характеристики холодильного компрессора** – представляют собой зависимости  $Q_0$ ,  $N$  и  $\varepsilon$  от температуры кипения  $t_0$  и температуры конденсации  $t_k$  (2). При расчёте  $Q_0$  и  $\varepsilon$  считают, что давление кипения равно давлению при всасывании в компрессор, давление конденсации равно давлению на нагнетании компрессора, а рабочее вещество при выходе из испарителя и конденсатора находится в состоянии насыщения. Поэтому определённые расчётным путём холодопроизводительность  $Q_0$  и холодильный коэффициент  $\varepsilon$  также являются условными.

Существенным достоинством характеристик холодильного компрессора является возможность расчёта на их основе характеристик реальной холодильной машины с теплообменными аппаратами любой



конструкции, если известны индивидуальные характеристики этих аппаратов.

Для оценки объёмных и энергетических показателей холодильного компрессора в процессе экспериментального исследования определяют его коэффициенты подачи  $\lambda$  и эффективный  $\eta_e$ , индикаторный  $\eta_i$ , механический  $\eta_{\text{мех}}$  КПД, которые затем представляют в зависимости от температур кипения и конденсации, а также в зависимости от степени сжатия компрессора  $\pi_k$  (2,3):

$$\lambda = f_4(t_0, t_k); \eta_e = f_5(t_0, t_k); \eta_i = f_6(t_0, t_k); \eta_{\text{мех}} = f_7(t_0, t_k); \quad (2)$$

$$\lambda = f_1(\pi_k); \eta_e = f_2(\pi_k); \eta_i = f_3(\pi_k); \eta_{\text{мех}} = f_4(\pi_k). \quad (3)$$

Целью исследования является экспериментальное и расчётное определение характеристик холодильного поршневого компрессора. При наличии этих характеристик и данных о конструкции и коэффициентах теплопередачи теплообменных аппаратов можно определить расчётным путём характеристики компрессорно-конденсаторного, компрессорно-испарительного агрегатов и характеристики комплексной холодильной машины в целом.

## 2. Экспериментальный стенд

Для экспериментального исследования характеристик поршневого холодильного компрессора можно проводить его испытания в составе реальной холодильной машины.

Однако при этом необходимо затрачивать мощность не только на привод компрессора, но и на привод насосов, обеспечивающих циркуляции хладоносителя и охлаждающей среды. Кроме того, необходимо затрачивать мощность на создание холодопроизводительности холодильной машины.

В связи с трудностью и длительностью установления необходимого режима работы, а также большого расходования электроэнергии, исследования характеристик компрессора в составе холодильной машины проводятся не часто. Гораздо удобнее использовать специальный экспериментальный стенд, в котором создаются такие же условия работы компрессора, как и в составе холодильной машины. При этом нет необходимости в выработке холода, а в окружающую среду отводится только тепловой эквивалент мощности компрессора. Поток рабочего вещества в контуре стенда находится в газообразном состоя-

нии, чем и определяется название стенда «газовое кольцо».

Экспериментальный стенд состоит из основного и вспомогательного контуров (рис. 1).

В состав основного контура входят: исследуемый компрессор 1; дроссельный регулируемый газовый вентиль 2, предназначенный для изменения давления нагнетания компрессора  $p$ ; теплообменник 3, в котором тепловой эквивалент мощности, затрачиваемый на сжатие рабочего вещества в компрессоре, отводится в окружающую среду; смеситель 4, в котором рабочее вещество охлаждается до требуемой температуры на всасывании компрессора за счет испарения жидкого рабочего вещества, впрыскиваемого в смеситель из вспомогательного контура. После смесителя рабочее вещество проходит через диафрагму 5, служащую для определения его массового расхода, и направляется в демпфер 6, после чего снова попадает на всасывание в компрессор.

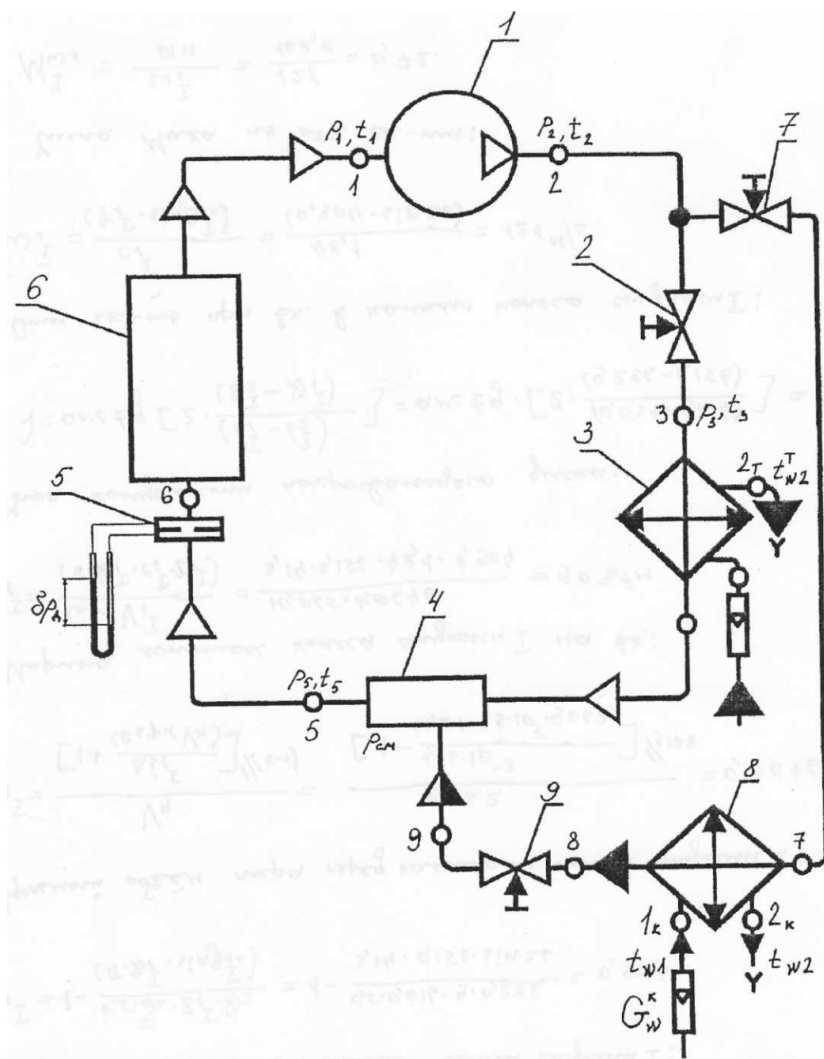


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

Демпфер представляет собой сосуд достаточно большого объема, в котором происходит уменьшение амплитуды колебаний давления, возникающих при периодическом всасывании рабочего вещества в цилиндр компрессора. Это необходимо для обеспечения высокой точности измерения перепада давлений в диафрагме и, значит, массового расхода рабочего вещества через компрессор.

В состав вспомогательного контура входят: дроссельный регулируемый газовый вентиль 7, конденсатор 8 и регулирующий жидкостный вентиль 9, через который жидкость подается в смеситель 4.

Вспомогательный контур выполняет две функции. Во-первых, с помощью вентиля 7 и 9 можно устанавливать необходимое давление при всасывании в компрессор. Если давление требуется повысить, то открывается вентиль 9 и в основной контур добавляется рабочее вещество. Если же его необходимо понизить, то открывается вентиль 7, и рабочее вещество направляется в конденсатор, где и конденсируется. Конденсатор в этом случае выполняет функцию ресивера. Во-вторых, в низкотемпературном режиме температура рабочего вещества при входе в компрессор должна быть близка к температуре кипения.

Однако, при выходе из теплообменника 3 температура рабочего вещества всегда выше температуры охлаждающей воды  $t_{w1}$  при входе в теплообменник. Поэтому дополнительное охлаждение рабочего вещества осуществляется за счет кипения определенного количества жидкости, подаваемой в смеситель из конденсатора через вентиль 9. Расход рабочего вещества через вспомогательный контур устанавливается опытным путем, причем оба вентиля 7 и 9 должны быть открыты настолько, чтобы, с одной стороны, обеспечить необходимую температуру пара при входе в компрессор, а с другой стороны, обеспечить поддержание требуемых давлений всасывания и нагнетания.

В характерных точках схемы стенда измеряются давления  $p$  и температуры  $t$  рабочего вещества. Перепад давлений в диафрагме  $\delta p_d$  измеряется с помощью водяного дифференциального манометра. В теплообменнике и конденсаторе измеряются температуры охлаждающей воды (при входе и выходе) и ее объемный расход.

При подготовке к лабораторной работе необходимо изучить на схеме и непосредственно на стенде порядок движения рабочего вещества и занести в таблицу 1 характеристики установленных на нем измерительных приборов. Таблица сдается с отчетом о лабораторной

работе и протоколом испытаний.

Таблица 1

Характеристики измерительных приборов

№ п/п	Измеряемая величина, обозначение	Тип прибора, марка	Класс точности	Пределы измерений	Число делений	Цена деления
1	Давление при входе в компрессор $p_1$	Манометр образцовый	0,5	0...25 кгс/см <sup>2</sup>	250	0,1 кгс/см <sup>2</sup>
2	...	...	...	...	...	...
3	...	...	...	...	...	...
4	...	...	...	...	...	...
5	...	...	...	...	...	...
6	...	...	...	...	...	...
7	...	...	...	...	...	...

Процессы, протекающие в обоих контурах стенда, показаны в диаграмме  $i-p$  на рис. 2, в диаграмме  $s-T$  на рис. 3.

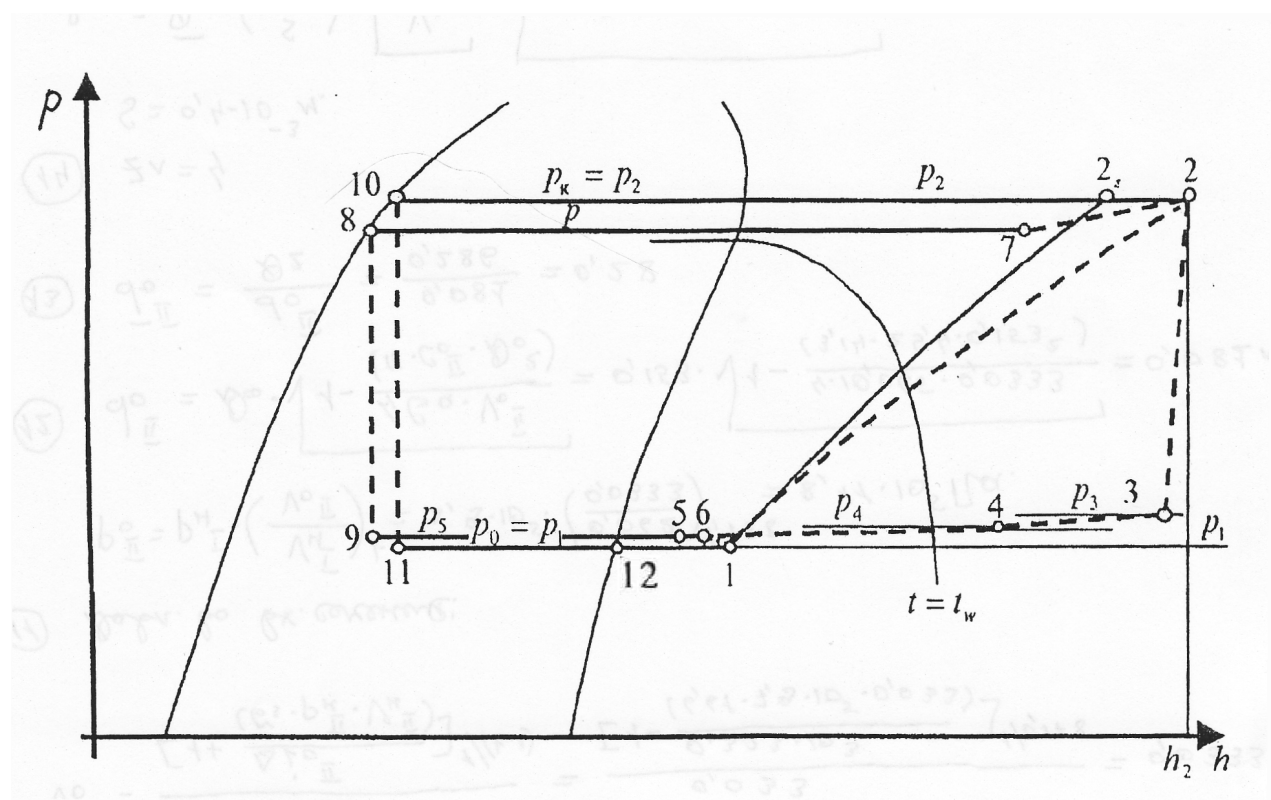


Рис. 2. Цикл экспериментальной установки и холодильной машины в диаграмме  $i-p$

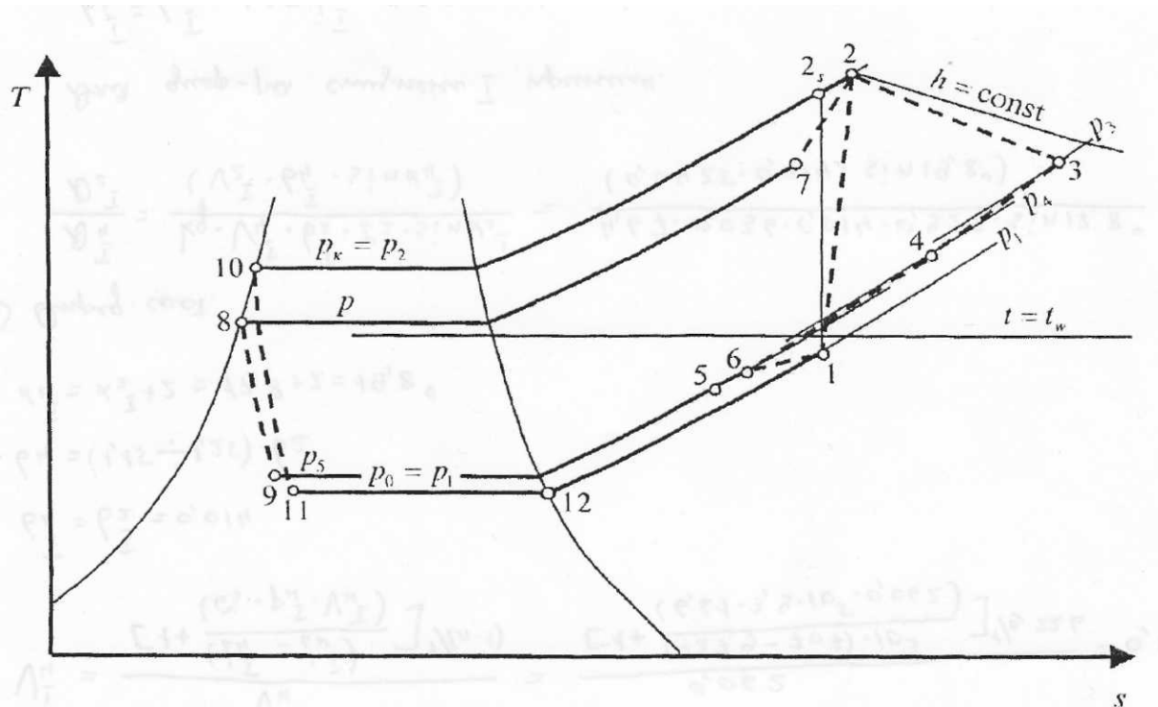


Рис. 3. Цикл экспериментальной установки и холодильной машины в диаграмме  $s-T$

### 3. Методика проведения экспериментального исследования холодильного поршневого компрессора

Перед проведением эксперимента определяют режимы, при которых будут сниматься характеристики компрессора. Выбирается два–три значения температуры конденсации в пределах  $t_k = 20...30$  °С и шесть–восемь значений температур кипения в пределах  $t_0 = +5...-35$  °С и определяются соответствующие им давления конденсации  $p_k$  и кипения  $p_0$ . При установлении режима работы компрессора гидравлическими потерями в трубопроводах между компрессором, испарителем и конденсатором воображаемой холодильной машины, в составе которой может работать компрессор, условно пренебрегают и полагают, что  $p_1 = p_0$ , а  $p_2 = p_k$ . В случае необходимости эти потери могут быть учтены расчетным путем.

Эксперименты проводят, устанавливая последовательно все значения давления кипения при одном и том же значении давления конденсации. После установления давлений компрессор работает 10...15 мин до получения установившегося режима работы, что определяется обычно по показаниям термометров. Установившимся считается режим, при котором изменение показаний термометров лежит

в пределах 0,5–1,0 °С.

Убедившись в том, что режим работы установился, проводят измерения всех параметров работы стенда. Затем устанавливают новое давление всасывания и весь цикл повторяют. После завершения измерений при одном давлении конденсации устанавливают его новое значение и снова проводят измерения, последовательно проходя все запланированные значения давления кипения.

Все результаты измерений, снятые с приборов в виде их показаний, заносятся в протокол испытаний. При этом пересчет одних единиц в другие в протоколе не допускается. В протокол заносятся только те величины, которые считываются непосредственно с приборов.

Протокол испытаний компрессора приведен в приложении 1.

Необходимо отметить, что при испытаниях возможны два режима работы стенда.

При первом режиме температура рабочего вещества при входе в компрессор  $t_1$  определяется по принятой величине перегрева пара и поддерживается во время испытаний путем впрыска жидкости в смеситель из конденсатора. В этом случае требуется значительное время не только на установление параметров при каждом давлении кипения и конденсации, но и на установку вентиля вспомогательного контура, определяющих количество впрыскиваемой жидкости.

При втором режиме температура  $t_1$  определяется температурой охлаждающей воды, подаваемой в теплообменник. Впрыск жидкости в смеситель производится лишь кратковременно при переходе с меньшего давления на большее, после чего вентили вспомогательного контура перекрываются, и работает только основной контур стенда. Этот режим более удобен, так как требует меньше времени на установление параметров каждой точки характеристики.

### 3.1. Обработка результатов испытаний

Все измеренные избыточные давления пересчитываются в абсолютные. Для каждого режима работы в узловых точках цикла 1, 2, 2<sub>s</sub>, 5, 10, 12 определяются термодинамические параметры: давление  $p$ , температура  $t$ , энтальпия  $i$ . Удельный объем  $v$  определяется только для точек 1 и 5. Для точек 2<sub>s</sub>, 10, 12 определяется только энтальпия. Для определения  $i$  и  $v$  используются термодинамические таблицы, приведенные в приложениях 2,3 или в [4,10], а также по диаграммам состояния. Все найденные значения заносятся в таблицу 2.

Таблица 2. Измеряемые параметры

$t_0$	$p_1$	$t_1$	$h_1$	$v_1$	$p_2$	$t_2$	$h_2$	$h_{2s}$	$p_5$	$v_5$	$h_{10}$	$h_{12}$
°C	МПа	°C	кДж/кг	М <sup>3</sup> /кг	МПа	°C	кДж/кг	кДж/кг	МПа	М <sup>3</sup> /кг	кДж/кг	кДж/кг
$t_{к1} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$												
$t_{011}$												
$t_{012}$												
$t_{013}$												
...												
...												
$t_{01n}$												
$t_{к2} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$												
$t_{021}$												
$t_{022}$												
$t_{023}$												
...												
$t_{02n}$												

### 3.2. Определение расхода рабочего вещества через холодильный поршневой компрессор

Расход рабочего вещества определяется по результатам измерений на диафрагме в соответствии с правилами 28–64 по формуле

$$G = 3,478 \cdot 10^{-6} \alpha \varepsilon d^2 \sqrt{\frac{\delta p_d}{v_d}}$$

где  $G$  – массовый расход рабочего вещества, кг/с;  $\alpha$  – коэффициент расхода диафрагмы, определяемый по формуле

$$\alpha = \alpha_n k_2 k_3,$$

здесь  $\alpha_n = f_1(m)$  – исходный коэффициент расхода диафрагмы (6, рис. 4 или прил. 6 [6]);

$k_2 = f_1(m, D)$  – поправочный множитель на шероховатость трубопровода для диафрагмы (6, рис. 6 [6]);

$k_3 = f_2(m, D)$  – поправочный множитель на неостроту входной кромки диафрагмы (6, рис. 8 [6]).

$m = \left(\frac{d}{D}\right)^2$  – модуль диафрагмы;

$D$  – внутренний диаметр трубопровода перед диафрагмой, мм;

$d$  – диаметр отверстия в диафрагме, мм;

$\delta p_d$  – перепад давлений в диафрагме, мм вод. ст. или кГс/м<sup>2</sup>;

$v_d$  – удельный объём измеряемого рабочего вещества перед диафрагмой, м<sup>3</sup>/кг.

Для фактических диаметров отверстия в диафрагме ( $d=31$  мм) и трубопровода перед ней ( $D=50$  мм) модуль диафрагмы и коэффициенты расхода соответственно равны:

$$m = \left(\frac{31}{50}\right)^2 = 0,3844; \alpha_n = 0,6553; k_2 = 1,0107; k_3 = 1,0140;$$

$$\alpha = 0,6553 \cdot 0,0107 \cdot 0,014 = 0,6716.$$

Поправочный множитель на расширение измеряемой среды  $\varepsilon = f_1(m, k, \delta p_d / p_d)$  определяют по номограмме работы [6] или по выражению из работы [11]

$$\varepsilon = 1 - \left(0,41 + 0,35m^2\right) \frac{\delta p_d}{p_d} \frac{1}{k},$$

где  $p_d$  – абсолютное давление рабочего вещества перед диафрагмой, кГс/м<sup>2</sup>;

$k$  – показатель изоэнтропы измеряемого рабочего вещества.

Теоретический объём, описанный поршнями компрессора (4), м<sup>3</sup>/с,



$$V_T = \frac{\pi D^2}{4} S z n \quad (4).$$

Основные геометрические характеристики экспериментального компрессора приведены в таблице 3.

Таблица 3. Основные геометрические характеристики экспериментального компрессора

Диаметр цилиндра компрессора, мм	82
Ход поршня, мм	70
Число цилиндров	2
Частота вращения коленчатого вала компрессора, с <sup>-1</sup>	16
Относительное мертвое пространство	0,45

Отношение давлений и коэффициент подачи

$$\pi_k = \frac{p_2}{p_1}; \quad \lambda = \frac{G v_1}{V_T}.$$

Электрическая мощность, затрачиваемая на привод компрессора, определяется с помощью трёхфазного ваттметра, кВт:

$$N_{эл} = aN,$$

где  $a$  – число делений ваттметра, снятое при измерениях;  $N$  – цена одного деления, кВт/дел.

Эффективная мощность, затрачиваемая на привод компрессора, кВт,

$$N_e = N_{эл} \eta_{эд},$$

где  $\eta_{эд}$  – КПД электродвигателя.

Изоэнтальная (адиабатная) мощность компрессора, кВт

$$N_s = G(h_{2s} - h_1).$$

Индикаторная мощность компрессора, кВт

$$N_i = N_e - N_{\text{тр}},$$

где  $N_{\text{тр}} = N_{\text{xx(к+эд)}} - N_{\text{xx(эд)}}$  – мощность трения компрессора, определяемая как разность мощности холостого хода компрессора вместе с электродвигателем и мощности холостого хода одного только электродвигателя.

Мощность холостого хода компрессора и электродвигателя  $N_{\text{тр}} = N_{\text{xx(к+эд)}} - N_{\text{xx(эд)}}$  кВт; мощность холостого хода электродвигателя  $N_{\text{xx(эд)}} = 0,72$  кВт.

Эффективный, индикаторный и механический КПД компрессора

$$\eta_e = \frac{N_s}{N_e}; \quad \eta_i = \frac{N_s}{N_i}; \quad \eta_{\text{мех}} = \frac{N_i}{N_e}.$$

Холодопроизводительность холодильной машины (кВт) и эффективный холодильный коэффициент

$$Q_0 = G(h_{12} - h_{11}); \quad \varepsilon_e = \frac{Q_0}{N_e}.$$

#### **4. Расчёт характеристик холодильного поршневого компрессора.**

Для сравнения экспериментальных и расчетных характеристик холодильного поршневого компрессора проводится расчет основных показателей работы компрессора [1,2,3,7,9].

Выбирается те же два–три значения давлений конденсации и шесть–восемь значений давлений кипения, что и в экспериментальном исследовании и определяются соответствующие им температуры конденсации  $t_k$  и кипения  $t_0$ .

Рассмотрим последовательность определения основных показателей работы компрессора для одной точки (при одном значении температуры конденсации и кипения).

Для регенеративного цикла перегрев рабочего вещества при всасывании в компрессор определяется глубиной регенерации и выбирается в пределах  $\Delta t_{\text{перегр}} = 20 \div 30 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Для корректного сравнения расчетных и экспериментальных характеристик компрессора величины перегрева на всасывании определяем как

$$\Delta t_{\text{перегр}} = t_1 - t_{12}.$$

где  $t_1$  – температура пара при входе в компрессор, определенная в экспериментальном исследовании,  $t_{12}$  – температура насыщения при давлении  $p_1$  (см. рис. 2 и таблицу 2).

Термодинамические параметры узловых точек цикла определяются по таблицам, приведенным в приложениях 2,3 или в [4,10], а также по диаграммам состояния рабочего вещества. Эти параметры заносятся в таблицу 4.

На рис. 4 представлен цикл одноступенчатой паровой холодильной машины в диаграмме  $h$ - $p$ . Обозначения точек такие же, как и на рис. 2.

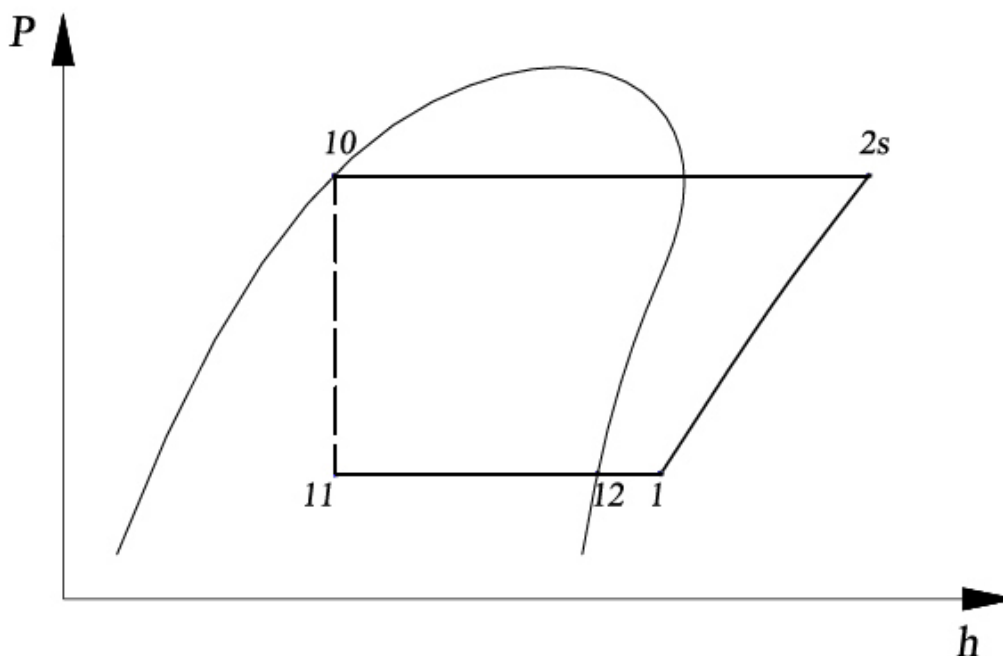


Рис. 4. Цикл одноступенчатой паровой холодильной машины в  $h$ - $p$  диаграмме

Таблица 4. Параметры узловых точек.

Параметр	Узловые точки				
	<i>12</i>	<i>1</i>	<i>2s</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
<i>p</i> , МПа					
<i>t</i> , °С					
<i>h</i> , кДж/кг					
<i>v</i> , м <sup>3</sup> /кг	-		-	-	-

Расчет производится в следующей последовательности.

Удельная массовая холодопроизводительность

$$q_0 = i_{11} - i_{12}.$$

Значение холодопроизводительности носит условный характер, так как не учитывается переохлаждение жидкого рабочего вещества в регенеративном теплообменнике перед регулирующим вентилем.

Теоретическая объёмная производительность определена по формуле.

$$V_T = \frac{\pi D^2}{4} S z n$$

Массовый расход рабочего вещества

$$G = \lambda V_T / v_1$$

Холодопроизводительность компрессора

$$Q_0 = G \cdot q_0$$

Относительный мертвый объём в холодильных поршневых компрессорах средней производительности находится в пределах 0,04÷0,05. В экспериментальном поршневом компрессоре  $c = 0,045$

Относительные осреднённые потери давления в клапанах принимаются в пределах:

во всасывающем клапане для хладоновых компрессоров

$$\kappa_H = 0,03 \div 0,08$$

в нагнетательном клапане для хладоновых компрессоров

$$\kappa_{\text{H}}=0,04\div 0,10$$

Давления всасывания и нагнетания принимаются равными давлениям кипения и конденсации:

$$p_{\text{B}} = p_0; p_{\text{H}} = p_{\text{K}}.$$

Давление, потерянное во всасывающем и нагнетательном клапанах

$$\Delta p_{\text{B}} = \kappa_{\text{B}} p_{\text{B}};$$

$$\Delta p_{\text{H}} = \kappa_{\text{H}} p_{\text{H}}.$$

Отношение давлений в компрессоре

$$\pi_{\text{K}} = p_{\text{H}} / p_{\text{B}}.$$

Внутреннее отношение давлений в компрессоре

$$\pi_{\text{K.ВН}} = \frac{p_{\text{H}} + \Delta p_{\text{H}}}{p_{\text{B}} - \Delta p_{\text{B}}}.$$

Индикаторный коэффициент всасывания (коэффициент видимых объёмных потерь)

$$\lambda_i = \frac{p_{\text{B}} - \Delta p_{\text{B}}}{p_{\text{B}}} - c \left[ \left( \frac{p_{\text{H}} + \Delta p_{\text{H}}}{p_{\text{B}}} \right)^{1/n_p} - \frac{p_{\text{B}} - \Delta p_{\text{B}}}{p_{\text{B}}} \right].$$

Коэффициент подогрева

$$\lambda'_w = T_0 / T_{\text{K}}.$$

Коэффициент подачи компрессора

$$\lambda = \lambda_i \lambda'_w$$

Показатели политроп сжатия и обратного расширения принимаются в пределах:

$$n_c = (0,92 \div 1,00)k; \quad n_p = (0,94 \div 1,00) n_c,$$

где  $k$  – показатель условный показатель изоэнтропы идеализированного газа.

Для фреона R12  $k = 1,12$ .

Не рекомендуется принимать значения меньше или равные единице.

Числа политроп сжатия и обратного расширения

$$\sigma_c = \frac{n_c}{n_c - 1}$$

$$\sigma_p = \frac{n_p}{n_p - 1}$$

Среднее индикаторное давление

$$p_i = (p_B - \Delta p_B) \left[ \sigma_c (1 + c) \left( \pi_{к.вн}^{\frac{1}{\sigma_c}} - 1 \right) - \sigma_p c \left( \pi_{к.вн} - \pi_{к.вн}^{\frac{\sigma_p - 1}{\sigma_p}} \right) \right]$$

Индикаторная мощность

$$N_i = p_i V_T$$

Среднее давление трения принимается для фреоновых поршневых компрессоров

$$p_{тр} = 40 \text{ кПа}$$

Мощность трения

$$N_{тр} = p_{тр} V_T$$

Удельная работа изоэнтропного сжатия

$$l_s = i_2 - i_1$$

Мощность изоэнтропного сжатия

$$N_s = G l_s$$

Эффективная мощность компрессора

$$N_e = N_i + N_{тр}$$

Индикаторный к.п.д. компрессора

$$\eta_i = N_s / N_i$$

Эффективный к.п.д. компрессора

$$\eta_e = N_s / N_e$$

Механический к.п.д. компрессора

$$\eta_{мех} = N_i / N_e$$

Эффективный холодильный коэффициент

$$\varepsilon_e = Q_0 / N_e$$

Все указанные параметры определяются для каждого из режимов, для которых проведено экспериментальное исследование.

По результатам расчёта строятся как экспериментальные, так и расчетные характеристики холодильного поршневого компрессора.

#### **4. Представление и анализ результатов экспериментального исследования холодильного поршневого компрессора**

Для каждой точки характеристики в соответствии с приведенной методикой определяются все необходимые параметры, после чего результаты обработки опытных и расчетных данных сводятся в таблицу 5.

Таблица 5.

$t_{к1}=30\text{ }^{\circ}\text{C}$											
$t_0$	$Q_0$	$\pi_k$	$\lambda$	$G$	$N_s$	$N_i$	$N_e$	$\varepsilon_e$	$\eta_i$	$\eta_e$	$\eta_{\text{мех}}$
$^{\circ}\text{C}$	кВт	-	-	кг/с	кВт	кВт	кВт	-	-	-	-
$t_{011}$											
$t_{012}$											
$t_{013}$											
...											
$t_{01n}$											
$t_{к2}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$											
$t_{021}$											
$t_{022}$											
$t_{023}$											
...											
$t_{02n}$											

Полученные данные наносятся на графики, представленные в виде функций (2) и (3). В результате зависимости  $Q_0$ ;  $\varepsilon$ ;  $N_e$ ;  $N_s = f_i(t_0; t_k)$  представляются в виде семейства кривых, каждая из которых соответствует одной фиксированной температуре конденсации  $t_k$ .

Зависимости вида  $\lambda$ ;  $\eta_i$ ;  $\eta_e$ ;  $\eta_{\text{мех}} = f_i(\pi_k)$  обобщаются для всех исследованных точек. На зависимость  $\lambda = f(\pi_k)$  и  $\eta_e = f_i(\pi_k)$  наносится для сопоставления расчетная зависимость  $\lambda_{\text{расч}} = f(\pi_k)$  и  $\eta_{\text{ерасч}} = f_i(\pi_k)$  и дается оценка соответствия опытной и расчетной зависимости.

Результаты исследования должны быть проанализированы и сопровождены краткими выводами.

Все материалы исследования объединяются в отчет по проделанной работе, куда обязательно должны входить следующие материалы:

1. Все протоколы испытаний, подписанные студентом и преподавателем.



давателем, руководившим работой.

2. Схема стенда, характеристики измерительных приборов и техническая характеристика исследуемого компрессора.

3. Циклы, вписанные в диаграмму состояния рабочего вещества.

4. Таблицы термодинамических параметров, результаты обработки опытных данных и других расчетов.

5. Графики характеристик, выполненные на миллиметровой бумаге.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Носков А.Н. Исследование энергетической эффективности циклов одноступенчатой парокомпрессорной холодильной машины на различных холодильных агентах: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2017. – 32 с.
2. Носков А.Н. Исследование энергетической эффективности циклов двух ступенчатых парокомпрессорных холодильных машин: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2014. – 32 с.
3. Носков А.Н. Объемные компрессоры холодильных машин: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 32 с.
4. Перельштейн И.И. Термодинамические и теплофизические свойства рабочих веществ холодильных машин и теплотрансформаторов / И.И. Перельштейн, Е.Б. Парушин. – М.: Легкая и пищ. пром., 1984. – 232 с.
5. Пластинин, П.И. Поршневые компрессоры. Том 1. Теория и расчет / П.И. Пластинин. - М.: Колос, 2000. - 456 с.
6. Правила 28–64. Измерения расхода жидкостей, газов и паров стандартными диафрагмами и соплами. – М.: Издательство государственного комитета стандартов, мер и измерительных приборов, 1965. – 149 с.
7. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин, тепловых насосов и термотрансформаторов. Ч.2. Расчет роторных компрессоров холодильных машин: учеб. пособие / А.Н. Носков и др.; СПб.: Университет ИТМО, 2016. - 95 с.
8. Холодильные машины: Справочник/Под ред. А.В.Быкова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 224 с.
9. Холодильные машины/Под ред. Л.С.Тимофеевского. – СПб.: Политехника, 2006. – 944 с.
10. Холодильная техника. Кондиционирование воздуха. Свойства веществ: Справочник/Под ред. С.Н.Богданова. – СПб.: ПбГАХИТ, 1999. – 320 с.
11. Ялковский Э.П. Основы практических расчетов диафрагм, мерных сопел и труб Вентури. – М.: Машгиз, 1962. – 315 с.
12. Widell K. N. и Eikevik T., Reducing power consumption in multi-compressor refrigeration system, Norwegian University of Science and Technology, Dep. of energy and process Engineering. // International journal of refrigeration. - Trondheim, Norway, 2009.
13. [http://www.frigodesign.ru/sale/bitzer/epiplooncompr\\_bitzer/](http://www.frigodesign.ru/sale/bitzer/epiplooncompr_bitzer/)

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

Протокол испытания компрессора АВ-22 по газовому кольцу

Ф.И.О. \_\_\_\_\_ Группа \_\_\_\_\_ « \_\_\_\_ » 20 \_\_\_\_ г.

№	Измеряемая величина	Об- ние	Еди- ница	Номер измере- ния					
				1	2	3	4	5	6
1	Атмосферное давление	В	мм рт. ст.						
	<b>1. Рабочее вещество</b>								
2	Давление всасывания	P <sub>1</sub>							
3	Давление нагнетания	P <sub>2</sub>							
4	Давление при входе в теплообменник	P <sub>3</sub>							
5	Давление при выходе из теплообменника	P <sub>4</sub>							
6	Давление перед диафрагмой	P <sub>5</sub>							
7	Температура пара при входе в компрессор	t <sub>1</sub>	°С						
8	Температура пара при выходе из компрессора	t <sub>2</sub>	°С						
9	Температура пара при входе в теплообменник	t <sub>3</sub>	°С						
10	Температура пара при выходе из теплообменника	t <sub>4</sub>	°С						
11	Температура перед диафрагмой	t <sub>5</sub>	°С						
	<b>2. Вода</b>								
12-	Температура при входе в теплообменник	t <sub>w1</sub>	°С						
13	Температура при выходе из теплообменника	t <sub>w2</sub>	°С						
14	Расход через теплообменник		дел						
	<b>3. Прочие измерения</b>								
15	Показания ваттметра		дел						
16	Перепад давления на диафрагме	δ	мм						
17	Температура воздуха в помещении	t <sub>B</sub>	°С						

Приложение 2.

Термодинамические свойства хладагента R12 на линии насыщения

$t$ , °C	$p \cdot 10^{-5}$ , Па	$v' \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	$v'' \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	$h'$ , кДж/кг	$h''$ , кДж/кг	$r$ , кДж/кг	$s'$ , кДж/(кг·К)	$s''$ , кДж/(кг·К)
-30	1,006	0,6717	0,1595	372,29	538,30	166,00	3,8932	4,5759
-29	1,050	0,6730	0,1534	373,19	538,76	165,58	3,8968	4,5750
-28	1,095	0,6744	0,1474	374,10	539,23	165,13	3,9005	4,5741
-27	1,142	0,6757	0,1418	375,00	539,70	164,70	3,9042	4,5733
-26	1,190	0,6771	0,1365	375,91	540,17	164,26	3,9078	4,5725
-25	1,240	0,6784	0,1314	376,81	540,63	163,82	3,9115	4,5716
-24	1,291	0,6798	0,1265	377,73	541,10	163,36	3,9152	4,5709
-23	1,344	0,6812	0,1218	378,64	541,56	162,92	3,9188	4,5701
-22	1,399	0,6826	0,1174	379,56	542,03	162,47	3,9224	4,5693
-21	1,455	0,6840	0,1131	380,47	542,49	162,02	3,9260	4,5686
-20	1,513	0,6854	0,1091	381,38	542,96	161,58	3,9296	4,5679
-19	1,573	0,6869	0,1052	382,30	543,30	161,12	3,9332	4,5672
-18	1,634	0,6883	0,1015	383,22	543,88	160,66	3,9368	4,5665
-17	1,698	0,6898	0,09791	384,14	544,34	160,20	3,9404	4,5658
-16	1,763	0,6913	0,09451	385,06	544,80	159,75	3,9440	4,5652
-15	1,830	0,6927	0,09125	385,98	545,26	159,28	3,9476	4,5646
-14	1,899	0,6942	0,08813	386,91	545,72	158,81	3,9511	4,5639
-13	1,970	0,6957	0,08514	387,83	546,18	158,35	3,9547	4,5633
-12	2,044	0,6972	0,08228	388,76	546,64	157,88	3,9582	4,5628
-11	2,119	0,6988	0,07953	389,70	547,10	157,40	3,9617	4,5622
-10	2,196	0,7003	0,07689	390,63	547,55	156,92	3,9653	4,5616
-9	2,275	0,7019	0,07437	391,56	548,01	156,45	3,9688	4,5611
-8	2,357	0,7034	0,07194	392,48	548,46	155,98	3,9723	4,5605
-7	2,440	0,7050	0,06962	393,42	548,92	155,50	3,9758	4,5600
-6	2,526	0,7066	0,06738	394,36	549,37	155,01	3,9793	4,5595
-5	2,614	0,7082	0,06522	395,30	549,82	154,52	3,9828	4,5590
-4	2,705	0,7098	0,06316	396,23	550,27	154,04	3,9862	4,5585
-3	2,798	0,7114	0,06118	397,17	550,72	153,55	3,9897	4,5580
-2	2,893	0,7131	0,05926	398,12	551,17	153,05	3,9931	4,5576
-1	2,990	0,7147	0,05743	399,06	551,62	152,55	3,9966	4,5571
0	3,091	0,7164	0,05566	400,00	552,06	152,06	4,0000	4,5567
1	3,193	0,7181	0,05396	400,95	552,51	151,56	4,0034	4,5563
2	3,298	0,7198	0,05232	401,90	552,95	151,05	4,0069	4,5558
3	3,406	0,7215	0,05075	402,85	553,39	150,55	4,0103	4,5554
4	3,516	0,7232	0,04923	403,80	553,84	150,04	4,0137	4,5550
5	3,629	0,7250	0,04776	404,75	554,28	149,53	4,0171	4,5547
6	3,745	0,7268	0,04635	405,70	554,71	149,01	4,0205	4,5543
7	3,863	0,7285	0,04499	406,67	555,15	148,48	4,0239	4,5539
8	3,984	0,7303	0,04368	407,62	555,59	147,97	4,0272	4,5536

Продолжение приложения 2.

$t$ , $^{\circ}\text{C}$	$p \cdot 10^{-5}$ , Па	$v' \cdot 10^3$ , $\text{м}^3/\text{кг}$	$v'' \cdot 10^3$ , $\text{м}^3/\text{кг}$	$h'$ , кДж/кг	$h''$ , кДж/кг	$r$ , кДж/кг	$s'$ , кДж/(кг·К)	$s''$ , кДж/(кг·К)
9	4,108	0,7321	0,04242	408,58	556,02	147,44	4,0306	4,5532
10	4,235	0,7340	0,04119	409,54	556,45	146,92	4,0340	4,5528
11	4,365	0,7358	0,04001	410,50	556,88	146,38	4,0374	4,5525
12	4,497	0,7377	0,03888	411,46	557,32	145,86	4,0407	4,5522
13	4,633	0,7396	0,03778	412,42	557,74	145,32	4,0440	4,5519
14	4,772	0,7415	0,03672	413,38	558,17	144,78	4,0473	4,5516
15	4,913	0,7434	0,03569	414,36	558,59	144,23	4,0507	4,5512
16	5,058	0,7453	0,03470	415,32	559,02	143,69	4,0540	4,5510
17	5,206	0,7473	0,03374	416,29	559,44	143,14	4,0573	4,5506
18	5,357	0,7493	0,03282	417,27	559,86	142,58	4,0606	4,5504
19	5,511	0,7513	0,03192	418,24	560,27	142,03	4,0639	4,5501
20	5,669	0,7533	0,03105	419,22	560,69	141,46	4,0672	4,5498
21	5,830	0,7553	0,03022	420,20	561,10	140,90	4,0705	4,5495
22	5,994	0,7574	0,02940	421,18	561,51	140,33	4,0738	4,5493
23	6,162	0,7595	0,02862	422,16	561,92	139,76	4,0771	4,5490
24	6,333	0,7616	0,02786	423,14	562,33	139,18	4,0803	4,5487
25	6,508	0,7637	0,02712	424,13	562,73	138,61	4,0836	4,5485
26	6,686	0,7659	0,02641	425,11	563,13	138,02	4,0868	4,5482
27	6,868	0,7681	0,02571	426,11	563,53	137,42	4,0901	4,5480
28	7,053	0,7703	0,02504	427,10	563,93	136,83	4,0934	4,5478
29	7,242	0,7725	0,02440	428,08	564,33	136,24	4,0966	4,5475
30	7,435	0,7748	0,02376	429,08	564,72	135,64	4,0998	4,5473
31	7,631	0,7770	0,02315	430,08	565,11	135,03	4,1031	4,5470
32	7,832	0,7794	0,02256	431,08	565,49	134,42	4,1063	4,5468
33	8,036	0,7817	0,02198	432,08	565,88	133,80	4,1095	4,5466
34	8,244	0,7840	0,02143	433,09	566,26	133,17	4,1128	4,5463
35	8,456	0,7864	0,02088	434,09	566,64	132,55	4,1160	4,5461
36	8,672	0,7889	0,02036	435,10	567,01	131,91	4,1192	4,5459
37	8,892	0,7913	0,01985	436,11	567,38	131,27	4,1224	4,5456
38	9,116	0,7938	0,01935	437,12	567,75	130,63	4,1256	4,5454
39	9,344	0,7963	0,01887	438,14	568,12	129,98	4,1288	4,5452
40	9,577	0,7989	0,01840	439,16	568,48	129,32	4,1320	4,5450
41	9,814	0,8015	0,01795	440,18	568,84	128,66	4,1352	4,5447
42	10,05	0,8041	0,01750	441,20	569,19	127,99	4,1384	4,5445
43	10,30	0,8067	0,01707	442,22	569,54	127,32	4,1416	4,5443
44	10,55	0,8094	0,01666	443,25	569,89	126,64	4,1448	4,5440
45	10,80	0,8122	0,01625	444,28	570,24	125,95	4,1479	4,5438
46	11,06	0,8149	0,01585	445,32	570,57	125,26	4,1511	4,5436
47	11,33	0,8177	0,01547	446,36	570,91	124,56	4,1543	4,5433
48	11,59	0,8206	0,01509	447,40	571,24	123,84	4,1575	4,5431
49	11,87	0,8235	0,01473	448,44	571,57	123,13	4,1606	5,5428

Продолжение приложения 2.

50	12,14	0,8264	0,01437	449,49	571,89	122,40	4,1638	4,5426
51	12,43	0,8294	0,01403	450,54	572,21	121,66	4,1670	4,5423
52	12,71	0,8324	0,01369	451,60	572,52	120,92	4,1702	4,5421
53	13,00	0,8355	0,01336	452,66	572,83	120,17	4,1734	4,5418
54	13,30	0,8386	0,01304	453,72	573,13	119,41	4,1765	4,5415
55	13,60	0,8418	0,01273	454,78	573,43	118,64	4,1797	4,5413
56	13,91	0,8450	0,01242	455,86	573,72	117,86	4,1829	4,5410
57	14,22	0,8483	0,01213	456,93	574,01	117,08	4,1861	4,5407
58	14,54	0,8516	0,01184	458,01	574,29	116,28	4,1892	4,5404
59	14,86	0,8550	0,01156	459,09	574,56	115,47	4,1924	4,5401
60	15,19	0,8585	0,01128	460,18	574,83	114,65	4,1956	4,5398
65	16,91	0,8768	0,01000	465,70	576,08	110,39	4,2116	4,5380

Приложение 3.

Термодинамические свойства перегретых паров хладагента R22

$t_s$ , °C	$v$ , м <sup>3</sup> /кг	$h$ , кДж/кг	$s$ , кДж/(кг·К)	$v$ , м <sup>3</sup> /кг	$h$ , кДж/кг	$s$ , кДж/(кг·К)
	$t_s = -30^\circ \text{C}, p = 1,006 \cdot 10^5 \text{ Па}$			$t_s = -25^\circ \text{C}, p = 1,24 \cdot 10^5 \text{ Па}$		
-30	0,1595	538,30	4,5759	-	-	-
-25	0,1633	541,18	4,5876	0,1314	540,63	4,5716
-20	0,1671	544,08	4,5992	0,1345	543,57	4,5834
-15	0,1708	547,00	4,6106	0,1376	546,52	4,5949
-10	0,1745	549,93	4,6219	0,1406	549,48	4,6063
-5	0,1782	552,89	4,6330	0,1436	552,46	4,6175
0	0,1818	555,86	4,6439	0,1466	555,46	4,6286
5	0,1854	558,84	4,6548	0,1496	558,47	4,6395
10	0,1890	561,85	4,6655	0,1526	561,49	4,6503
15	0,1926	564,88	4,6761	0,1556	564,54	4,6609
20	0,1962	567,92	4,6866	0,1585	567,60	4,6715
25	0,1998	570,99	4,6969	0,1614	570,68	4,6819
30	0,2034	574,08	4,7072	0,1644	573,78	4,6922
35	0,2069	577,18	4,7174	0,1673	576,90	4,7024
40	0,2105	580,31	4,7274	0,1702	580,04	4,7125
45	0,2140	583,45	4,7374	0,1731	583,20	4,7225
50	0,2175	586,62	4,7473	0,1760	586,38	4,7324
55	0,2210	589,80	4,7570	0,1789	589,57	4,7422
60	0,2246	593,01	4,7668	0,1817	592,78	4,7520
65	0,2281	596,23	4,7764	0,1846	596,02	4,7616
70	0,2316	599,48	4,7859	0,1875	599,27	4,7711
75	0,2351	602,74	4,7953	0,1903	602,54	4,7806
80	0,2386	606,02	4,8047	0,1932	605,82	4,7900
85	0,2421	609,32	4,8140	0,1960	609,13	4,7992
90	0,2456	612,64	4,8231	0,1989	612,45	4,8085
95	0,2491	615,97	4,8323	0,2018	615,79	4,8176
100	0,2526	619,32	4,8413	0,2046	619,15	4,8266
105	0,2560	622,69	4,8503	0,2074	622,52	4,8356
110	0,2595	626,06	4,8592	0,2103	625,92	4,8446
115	0,2630	629,48	4,8680	0,2131	629,32	4,8534
120	0,2665	632,90	4,8768	0,2159	632,75	4,8622
125	0,2699	636,34	4,8854	0,2188	636,17	4,8708
130	0,2734	639,79	4,8941	0,2216	639,64	4,8795
135	0,2769	643,26	4,9026	0,2244	643,11	4,8880
140	0,2804	646,74	4,9111	0,2272	646,60	4,8965
145	0,2838	650,24	4,9195	0,2301	650,10	4,9049
150	0,2873	653,76	4,9279	0,2329	653,62	4,9133
155	0,2908	657,28	4,9362	0,2357	657,15	4,9216
160	0,2942	660,83	4,9444	0,2385	660,69	4,9298

Продолжение приложения 3.

$t$ , °C	$v$ , м <sup>3</sup> /кг	$h$ , кДж/кг	$s$ , кДж/(кг·К)	$v$ , м <sup>3</sup> /кг	$h$ , кДж/кг	$s$ , кДж/(кг·К)
	$t_s = -20^\circ \text{C}, p = 1,513 \cdot 10^5 \text{ Па}$			$t_s = -15^\circ \text{C}, p = 1,83 \cdot 10^5 \text{ Па}$		
-20	0,1091	542,96	4,5679	-	-	-
-15	0,1116	545,95	4,5796	0,09125	545,26	4,5646
-10	0,1142	548,95	4,5911	0,09343	548,31	4,5762
-5	0,1167	551,96	4,6024	0,09558	551,36	4,5877
0	0,1193	554,98	4,6136	0,09770	554,42	4,5990
5	0,1218	558,02	4,6246	0,09981	557,49	4,6102
10	0,1242	561,07	4,6355	0,1019	560,57	4,6211
15	0,1267	564,14	4,6462	0,1040	563,66	4,6320
20	0,1291	567,22	4,6568	0,1060	566,77	4,6427
25	0,1316	570,32	4,6673	0,1081	569,90	4,6532
30	0,1340	573,44	4,6777	0,1101	573,03	4,6637
35	0,1364	576,57	4,6880	0,1121	576,19	4,6740
40	0,1388	579,73	4,6981	0,1141	579,36	4,6842
45	0,1412	582,90	4,7082	0,1162	582,54	4,6943
50	0,1436	586,09	4,7181	0,1081	585,75	4,7043
55	0,1460	589,29	4,7280	0,1101	588,97	4,7142
60	0,1484	592,52	4,7377	0,1121	592,20	4,7240
65	0,1507	595,76	4,7474	0,1241	595,46	4,7336
70	0,1531	599,02	4,7569	0,1261	598,73	4,7433
75	0,1555	602,30	4,7664	0,1280	602,01	4,7528
80	0,1578	605,59	4,7758	0,1300	605,32	4,7622
85	0,1602	608,90	4,7851	0,1320	608,64	4,7715
90	0,1625	612,23	4,7944	0,1339	611,98	4,7808
95	0,1649	615,58	4,8035	0,1359	615,33	4,7900
100	0,1672	618,94	4,8126	0,1378	618,70	4,7990
105	0,1695	622,32	4,8216	0,1398	622,09	4,8081
110	0,1719	625,72	4,8305	0,1417	625,49	4,8170
115	0,1742	629,13	4,8394	0,1437	628,91	4,8259
120	0,1766	632,56	4,8481	0,1456	632,35	4,8347
125	0,1789	636,01	4,8568	0,1475	635,80	4,8434
130	0,1812	639,47	4,8655	0,1495	639,26	4,8520
135	0,1836	642,94	4,8740	0,1514	642,34	4,8606
140	0,1859	646,43	4,8825	0,1533	646,24	4,8691
145	0,1882	649,94	4,8910	0,1553	649,75	4,8776
150	0,1905	653,46	4,8993	0,1572	653,27	4,8859
155	0,1928	656,99	4,9076	0,1591	656,80	4,8942
160	0,1952	660,54	4,9159	0,1610	660,36	4,9025
165	0,1975	664,10	4,9241	0,1630	663,92	4,9107
170	0,1998	667,68	4,9322	0,1649	667,50	4,9188



Продолжение приложения 3.

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$h, \text{кДж/кг}$	$s, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$h, \text{кДж/кг}$	$s, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$
	$t_s = -10^\circ\text{C}, p = 2,196 \cdot 10^5 \text{ Па}$			$t_s = -5^\circ\text{C}, p = 2,614 \cdot 10^5 \text{ Па}$		
-10	0,07690	547,55	4,5616	-	-	-
-5	0,07874	550,65	4,5733	0,06523	549,82	4,5590
0	0,08056	553,76	4,5847	0,06681	552,98	4,5707
5	0,08236	556,86	4,5960	0,06837	556,14	4,5821
10	0,08414	559,98	4,6071	0,06990	559,30	4,5934
15	0,08591	563,11	4,6181	0,07142	562,46	4,6045
20	0,08766	566,25	4,6289	0,07292	565,63	4,6154
25	0,08940	569,40	4,6395	0,07442	568,81	4,6261
30	0,09112	572,56	4,6500	0,07589	572,01	4,6368
35	0,09283	575,74	4,6604	0,07736	575,21	4,6472
40	0,09454	578,93	4,6707	0,07882	578,42	4,6576
45	0,09624	582,13	4,6809	0,08026	581,65	4,6678
50	0,09792	585,35	4,6909	0,08170	584,89	4,6779
55	0,09960	588,59	4,7008	0,08314	588,15	4,6879
60	0,1013	591,84	4,7107	0,08456	591,42	4,6978
65	0,1029	595,11	4,7204	0,08598	594,70	4,7076
70	0,1046	598,39	4,7300	0,08739	598,00	4,7173
75	0,1062	601,69	4,7396	0,08880	601,31	4,7268
80	0,1079	605,00	4,7490	0,09020	604,64	4,7363
85	0,1096	608,34	4,7584	0,09160	607,96	4,7457
90	0,1112	611,68	4,7677	0,09299	611,34	4,7550
95	0,1128	615,05	4,7769	0,09438	614,72	4,7643
100	0,1145	618,42	4,7860	0,09578	618,10	4,7734
105	0,1161	621,82	4,7950	0,09716	621,51	4,7825
110	0,1177	625,23	4,8040	0,09854	624,93	4,7915
115	0,1194	628,66	4,8129	0,09992	628,36	4,8004
120	0,1210	632,09	4,8217	0,1013	631,81	4,8092
125	0,1226	635,55	4,8304	0,1027	635,27	4,8180
130	0,1243	639,02	4,8391	0,1040	638,75	4,8266
135	0,1259	642,51	4,8477	0,1054	642,24	4,8352
140	0,1275	646,01	4,8562	0,1068	645,75	4,8438
145	0,1291	649,52	4,8647	0,1082	649,27	4,8522
150	0,1307	653,05	4,8731	0,1095	652,80	4,8606
155	0,1323	656,59	4,8814	0,1109	656,35	4,8690
160	0,1340	660,15	4,8896	0,1122	659,91	4,8772
	$t_s = 0^\circ\text{C}, p = 3,091 \cdot 10^5 \text{ Па}$			$t_s = 5^\circ\text{C}, p = 3,629 \cdot 10^5 \text{ Па}$		
0	0,05566	552,06	4,5567	-	-	-
5	0,05703	555,28	4,5684	0,04776	554,28	4,5547

Продолжение приложения 3.

$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{м}^3/\text{кг}$	$h, \text{кДж/кг}$	$s, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	$\nu, \text{м}^3/\text{кг}$	$h, \text{кДж/кг}$	$s, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$
10	0,05837	558,49	4,5798	0,04895	557,55	4,5663
15	0,05970	561,70	4,5911	0,05012	560,82	4,5778
20	0,06100	564,92	4,6021	0,05127	564,09	4,5890
25	0,06229	568,14	4,6130	0,05240	567,36	4,6001
30	0,06358	571,37	4,6237	0,05352	570,62	4,6109
35	0,06484	574,60	4,6343	0,05463	573,90	4,6216
40	0,06610	577,84	4,6448	0,05573	577,17	4,6322
45	0,06735	581,10	4,6551	0,05681	580,46	4,6426
50	0,06858	584,36	4,6653	0,05789	583,75	4,6529
55	0,06982	587,64	4,6753	0,05896	587,06	4,6630
60	0,07104	590,93	4,6853	0,06002	590,37	4,6730
65	0,07226	594,23	4,6951	0,06107	593,70	4,6830
70	0,07347	597,55	4,7048	0,06212	597,03	4,6928
75	0,07468	600,88	4,7145	0,06316	600,38	4,7024
80	0,07588	604,22	4,7240	0,06421	603,74	4,7120
85	0,07708	607,58	4,7334	0,06524	607,12	4,7215
90	0,07827	610,95	4,7428	0,06627	610,50	4,7309
95	0,07946	614,34	4,7521	0,06729	613,90	4,7402
100	0,08064	617,74	4,7612	0,06831	617,32	4,7494
105	0,08182	621,15	4,7703	0,06934	620,74	4,7585
110	0,08301	624,56	4,7793	0,07035	624,18	4,7676
115	0,08419	628,02	4,7883	0,07136	627,64	4,7765
120	0,08536	631,48	4,7971	0,07237	631,11	4,7854
125	0,08653	634,95	4,8059	0,07338	634,59	4,794-2
130	0,08771	638,44	4,8146	0,07439	638,08	4,8029
135	0,08887	641,94	4,8232	0,07539	641,59	4,8116
140	0,09004	645,45	4,8318	0,07639	645,11	4,8201
145	0,09120	648,98	4,8402	0,07739	648,64	4,8286
150	0,09237	652,52	4,8487	0,07839	652,19	4,8371
155	0,09353	656,07	4,8570	0,07939	655,75	4,8454
160	0,09469	659,64	4,8653	0,08038	659,32	4,8537
165	0,09585	663,22	4,8735	0,08138	662,91	4,8620
	$t_s = 10^\circ\text{C}, p = 4,235 \cdot 10^5 \text{ Па}$			$t_s = 15^\circ\text{C}, p = 4,913 \cdot 10^5 \text{ Па}$		
10	0,04119	556,45	4,5528	-	-	-
15	0,04224	559,79	4,5646	0,03569	558,59	4,5512
20	0,04326	563,12	4,5760	0,03661	562,00	4,5630
25	0,04427	566,45	4,5872	0,03752	565,39	4,5744
30	0,04526	569,76	4,5983	0,03840	568,77	4,5857
35	0,04624	573,08	4,6091	0,03928	572,14	4,5967
40	0,04720	576,40	4,6198	0,04014	575,51	4,6076
45	0,04816	579,72	4,6304	0,04098	578,88	4,6182

Продолжение приложения 3.

$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{м}^3/\text{кг}$	$h, \text{кДж/кг}$	$s, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	$\nu, \text{м}^3/\text{кг}$	$h, \text{кДж/кг}$	$s, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$
50	0,04910	583,05	4,6407	0,04182	582,25	4,6287
55	0,05004	586,39	4,6510	0,04265	585,62	4,6391
60	0,05096	589,73	4,6611	0,04347	589,00	4,6493
65	0,05189	593,08	4,6711	0,04428	592,38	4,6594
70	0,05280	596,44	4,6809	0,04509	595,77	4,6693
75	0,05371	599,81	4,6907	0,04589	599,17	4,6792
80	0,05462	603,19	4,7003	0,04669	602,57	4,6889
85	0,05552	606,59	4,7099	0,04748	605,99	4,6985
90	0,05641	609,99	4,7193	0,04826	609,41	4,7080
95	0,05730	613,41	4,7286	0,04904	612,85	4,7174
100	0,05819	616,84	4,7379	0,04981	616,30	4,7267
105	0,05908	620,28	4,7471	0,05059	619,76	4,7359
110	0,05996	623,73	4,7561	0,05136	623,22	4,7450
115	0,06084	627,20	4,7651	0,05213	626,71	4,7540
120	0,06171	630,68	4,7740	0,05289	630,20	4,7630
125	0,06259	634,17	4,7829	0,05366	633,70	4,7718
130	0,06346	637,68	4,7916	0,05441	637,22	4,7806
135	0,06432	641,20	4,8003	0,05517	640,75	4,7893
140	0,06519	644,72	4,8089	0,05593	644,29	4,7979
145	0,06606	648,27	4,8174	0,05668	647,84	4,8065
150	0,06692	651,82	4,8258	0,05743	651,41	4,8150
155	0,06778	655,39	4,8342	0,05818	654,99	4,8234
160	0,06864	658,97	4,8426	0,05893	658,58	4,8317
165	0,06950	662,57	4,8508	0,05968	662,18	4,8400
170	0,07036	666,17	4,8590	0,06042	665,79	4,8482
175	0,07122	669,79	4,8671	0,06117	669,42	4,8563
	$t_s = 20^\circ\text{C}, p = 5,66 \cdot 10^5 \text{ Па}$			$t_s = 25^\circ\text{C}, p = 6,508 \cdot 10^5 \text{ Па}$		
20	0,03105	560,69	4,5498	-	-	-
25	0,03188	564,16	4,5616	0,02712	562,73	4,5485
30	0,03268	567,62	4,5731	0,02786	566,28	4,5603
35	0,03347	571,06	4,5843	0,02858	569,81	4,5718
40	0,03424	574,49	4,5954	0,02928	573,31	4,5831
45	0,03500	577,91	4,6062	0,02997	576,80	4,5942
50	0,03575	581,33	4,6169	0,03065	580,27	4,6050
55	0,03649	584,74	4,6273	0,03132	583,74	4,6156
60	0,03722	588,16	4,6377	0,03198	587,21	4,6261
65	0,03794	591,58	4,6479	0,03263	590,67	4,6364
70	0,03866	595,00	4,6579	0,03327	594,13	4,6466
75	0,03937	598,43	4,6678	0,03390	597,60	4,6566
80	0,04008	601,87	4,6776	0,03453	601,07	4,6665
85	0,04077	605,31	4,6873	0,03515	604,54	4,6763

Продолжение приложения 3.

$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{м}^3/\text{кг}$	$h, \text{кДж/кг}$	$s, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	$\nu, \text{м}^3/\text{кг}$	$h, \text{кДж/кг}$	$s, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$
90	0,04147	608,76	4,6969	0,03577	608,02	4,6859
95	0,04216	612,22	4,7063	0,03639	611,50	4,6955
100	0,04284	615,68	4,7157	0,03700	614,99	4,7049
105	0,04352	619,16	4,7249	0,03760	618,50	4,7142
110	0,04420	622,65	4,7341	0,03820	622,0	4,7234
115	0,04488	626,15	4,7432	0,03880	625,52	4,7326
120	0,04555	629,66	4,7522	0,03939	629,05	4,7416
125	0,04622	633,18	4,7610	0,03998	632,59	4,7505
130	0,04688	636,71	4,7699	0,04058	636,13	4,7594
135	0,04755	640,25	4,7786	0,04116	639,69	4,7681
140	0,04821	643,80	4,7872	0,04175	643,26	4,7768
145	0,04888	647,37	4,7958	0,04233	646,84	4,7854
150	0,04953	650,95	4,8043	0,04291	650,43	4,7940
155	0,05019	654,53	4,8128	0,04349	654,03	4,8024
160	0,05085	658,13	4,8211	0,04407	657,64	4,8108
165	0,05150	661,74	4,8294	0,04464	661,26	4,8191
170	0,05215	665,36	4,8376	0,04522	664,89	4,8274
175	0,05281	668,99	4,8458	0,04580	668,53	4,8355
	$t_s = 30^\circ\text{C}, p = 7,435 \cdot 10^5 \text{ Па}$			$t_s = 35^\circ\text{C}, p = 8,456 \cdot 10^5 \text{ Па}$		
30	0,02376	564,72	4,5473	-	-	-
35	0,02443	568,35	4,5591	0,02088	566,64	4,5461
40	0,02508	571,94	4,5707	0,02149	570,35	4,5581
45	0,02572	575,51	4,5820	0,02209	574,02	4,5697
50	0,02634	579,06	4,5931	0,02266	577,66	4,5811
55	0,02695	582,60	4,6040	0,02322	581,28	4,5922
60	0,02754	586,12	4,6146	0,02377	584,87	4,6030
65	0,02813	589,64	4,6251	0,02431	588,45	4,6137
70	0,02871	593,14	4,6354	0,02484	592,02	4,6242
75	0,02928	596,65	4,6455	0,02536	595,58	4,6345
80	0,02985	600,16	4,6555	0,02588	599,14	4,6446
85	0,03041	603,67	4,6654	0,02638	602,69	4,6546
90	0,03097	607,18	4,6752	0,02688	606,24	4,6644
95	0,03151	610,70	4,6848	0,02738	609,79	4,6742
100	0,03207	614,22	4,6943	0,02787	613,35	4,6837
105	0,03260	617,75	4,7036	0,02836	616,90	4,6932
110	0,03314	621,28	4,7129	0,02884	620,47	4,7026
115	0,03367	624,82	4,7221	0,02932	624,03	4,7118
120	0,03420	628,37	4,7312	0,02980	627,61	4,7210
125	0,03473	631,92	4,7402	0,03027	631,19	4,7300
130	0,03525	635,49	4,7491	0,03074	634,77	4,7390
135	0,03578	639,07	4,7579	0,03121	638,37	4,7478

Продолжение приложения 3.

$t_s$ , °C	$\nu$ , м <sup>3</sup> /кг	$h$ , кДж/кг	$s$ , кДж/(кг·К)	$\nu$ , м <sup>3</sup> /кг	$h$ , кДж/кг	$s$ , кДж/(кг·К)
140	0,03630	642,65	4,7666	0,03168	641,97	4,7566
145	0,03682	646,24	4,7753	0,03214	645,58	4,7653
150	0,03733	649,85	4,7838	0,03260	649,20	4,7739
155	0,03785	653,46	4,7923	0,03306	652,83	4,7824
160	0,03836	657,08	4,8007	0,03352	656,47	4,7909
165	0,03887	660,72	4,8091	0,03397	660,12	4,7992
170	0,03938	664,36	4,8174	0,03443	663,77	4,8076
175	0,03989	668,01	4,8255	0,03488	667,44	4,8158
	$t_s = 40^\circ \text{C}, p = 9,577 \cdot 10^5 \text{ Па}$			$t_s = 45^\circ \text{C}, p = 10,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$		
40	0,01840	568,48	4,5450	-	-	-
45	0,01896	572,29	4,5570	0,01625	570,24	4,5438
50	0,01950	576,04	4,5687	0,01677	574,14	4,5560
55	0,02003	579,76	4,5802	0,01727	577,99	4,5678
60	0,02054	583,44	4,5913	0,01775	581,79	4,5793
65	0,02104	587,10	4,6022	0,01822	585,54	4,5905
70	0,02153	590,74	4,6129	0,01867	589,27	4,6014
75	0,02201	594,36	4,6234	0,01912	592,97	4,6121
80	0,02248	597,97	4,6337	0,01955	596,65	4,6226
85	0,02294	601,58	4,6438	0,01998	600,32	4,6330
90	0,02340	605,18	4,6538	0,02040	603,97	4,6431
95	0,02385	608,77	4,6636	0,02082	607,62	4,6530
100	0,02430	612,36	4,6733	0,02123	611,26	4,6629
105	0,02474	615,96	4,6829	0,02163	614,90	4,6726
110	0,02518	619,55	4,6923	0,02203	618,53	4,6821
115	0,02561	623,15	4,7016	0,02243	622,17	4,6915
120	0,02604	626,75	4,7109	0,02282	625,80	4,7008
125	0,02647	630,36	4,7200	0,02321	629,44	4,7100
130	0,02689	633,97	4,7290	0,02359	633,08	4,7191
135	0,02732	637,59	4,7379	0,02398	636,73	4,7281
140	0,02773	641,22	4,7467	0,02435	640,38	4,7370
145	0,02815	644,85	4,7555	0,02473	644,03	4,7458
150	0,02856	648,47	4,7641	0,02511	647,69	4,7545
155	0,02898	652,13	4,7727	0,02548	651,36	4,7631
160	0,02939	655,79	4,7812	0,02585	655,03	4,7716
165	0,02980	659,45	4,7896	0,02622	658,71	4,7801
170	0,03021	663,12	4,7979	0,02658	662,40	4,7885
175	0,03061	666,80	4,8062	0,02695	666,10	4,7968
180	0,03101	670,49	4,8144	0,02731	669,80	4,8050
	$t_s = 50^\circ \text{C}, p = 12,14 \cdot 10^5 \text{ Па}$			$t_s = 55^\circ \text{C}, p = 13,6 \cdot 10^5 \text{ Па}$		
50	0,01437	571,89	4,5426	-	-	-

Продолжение приложения 3.

$t, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{м}^3/\text{кг}$	$h, \text{кДж/кг}$	$s, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	$\nu, \text{м}^3/\text{кг}$	$h, \text{кДж/кг}$	$s, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$
55	0,01486	575,91	4,5550	0,01273	573,43	4,5413
60	0,01532	579,86	4,5669	0,01318	577,58	4,5538
65	0,01576	583,74	4,5785	0,01362	581,64	4,5659
70	0,01620	547,58	4,5897	0,01403	585,62	4,5776
75	0,01662	591,38	4,6007	0,01443	589,54	4,5890
80	0,01702	595,15	4,6115	0,01482	593,42	4,6000
85	0,01742	598,89	4,6220	0,01520	597,26	4,6108
90	0,01782	602,61	4,6323	0,01556	601,07	4,6214
95	0,01820	606,32	4,6424	0,01592	604,85	4,6317
100	0,01858	610,02	4,6524	0,01628	608,62	4,6419
105	0,01895	613,71	4,6622	0,01662	612,37	4,6518
110	0,01932	617,39	4,6719	0,01696	616,10	4,6617
115	0,01968	621,07	4,6814	0,01730	619,83	4,6713
120	0,02004	624,74	4,6908	0,01763	623,56	4,6809
125	0,02040	628,42	4,7001	0,01796	627,27	4,6903
130	0,02075	632,09	4,7093	0,01828	630,99	4,6995
135	0,02110	635,77	4,7184	0,01860	634,70	4,7087
140	0,02144	639,44	4,7273	0,01892	638,41	4,7177
145	0,02178	643,13	4,7362	0,01923	642,12	4,7266
150	0,02213	646,81	4,7450	0,01954	645,84	4,7355
155	0,02246	650,50	4,7536	0,01985	649,56	4,7442
160	0,02280	654,20	4,7622	0,02016	653,28	4,7529
165	0,02314	657,90	4,7707	0,02047	657,01	4,7614
170	0,02347	661,61	4,7791	0,02077	660,74	4,7699
175	0,02380	665,33	4,7875	0,02107	664,47	4,7783
180	0,02413	669,05	4,7957	0,02137	668,22	4,7866
185	0,02446	672,78	4,8039	0,02167	671,96	4,7948
	$t_s = 60^\circ\text{C}, p = 15,19 \cdot 10^5 \text{ Па}$			$t_s = 65^\circ\text{C}, p = 16,91 \cdot 10^5 \text{ Па}$		
60	0,01128	574,83	4,5398	-	-	-
65	0,01171	579,13	4,5526	0,01000	576,08	4,5380
70	0,01212	583,31	4,5649	0,01042	580,55	4,5512
75	0,01251	587,41	4,5767	0,01081	584,88	4,5637
80	0,01289	591,43	4,5882	0,01117	589,09	4,5757
85	0,01325	595,39	4,5993	0,01152	593,22	4,5873
90	0,01360	599,30	4,6102	0,01186	597,27	4,5985
95	0,01394	603,18	4,6208	0,01219	601,27	4,6095
100	0,01427	607,03	4,6312	0,01250	605,23	4,6202
105	0,01459	610,86	4,6413	0,01281	609,14	4,6306
110	0,01491	614,66	4,6513	0,01311	613,03	4,6408
115	0,01523	618,45	4,6612	0,01341	616,90	4,6508
120	0,01553	622,23	4,6708	0,01370	620,74	4,6607

Продолжение приложения 3.

$t,$ $^{\circ}C$	$\nu,$ $м^3/кг$	$h,$ $кДж/кг$	$s,$ $кДж/(кг \cdot K)$	$\nu,$ $м^3/кг$	$h,$ $кДж/кг$	$s,$ $кДж/(кг \cdot K)$
125	0,01584	626,00	4,6803	0,01398	624,57	4,6703
130	0,01614	629,76	4,6897	0,01426	628,39	4,6799
135	0,01643	633,51	4,6990	0,01454	632,19	4,6892
140	0,01672	637,26	4,7081	0,01481	635,99	4,6985
145	0,01701	641,01	4,7172	0,01508	639,78	4,7076
150	0,01730	644,76	4,7261	0,01534	643,57	4,7166
155	0,01758	648,51	4,7349	0,01560	647,36	4,7255
160	0,01787	648,51	4,7436	0,01586	651,14	4,7343
165	0,01815	652,26	4,7522	0,01612	654,93	4,7430
170	0,01842	656,02	4,7607	0,01638	658,72	4,7516
175	0,01870	663,54	4,7692	0,01663	662,50	4,7601
180	0,01898	667,30	4,7775	0,01688	666,30	4,7685
185	0,01925	671,07	4,7858	0,01713	670,09	4,7768

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ХОЛОДИЛЬНОГО ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ СТЕНДЕ .....	6
1. Общие положения .....	6
2. Экспериментальный стенд .....	8
3. Методика проведения экспериментального исследования холодильного поршневого компрессора .....	12
3.1. Обработка результатов испытаний .....	13
3.2. Определение расхода рабочего вещества через холодильный поршневой компрессор .....	14
4. Расчёт характеристик холодильного поршневого компрессора .....	17
5. Представление и анализ результатов экспериментального исследования холодильного поршневого компрессора .....	22
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	25
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	26



Миссия университета – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

---

### **ФАКУЛЬТЕТ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Современная цивилизация не может существовать и развиваться без техники низких температур. Факультет низкотемпературной энергетики один из старейших факультетов университета. Факультет выпускает бакалавров и магистров по направлениям, связанным с производством и применением искусственного холода. Студенты факультета широко привлекаются к работе в студенческом научно-техническом обществе. На факультете имеется аспирантура и докторантура. Основное направление работы факультета – научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы, направленные на совершенствование систем производства и использования холода в различных областях народного хозяйства. Факультет проводит научно-исследовательские работы и в области низкопотенциальной энергетики – использования вторичных энергетических ресурсов. Абсорбционные теплоиспользующие преобразователи теплоты широко применяются в системах кондиционирования воздуха, установках совместного получения холода и теплоты в тепловых насосах.

Носков Анатолий Николаевич

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
ХОЛОДИЛЬНОГО ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА**

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции  
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО.  
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова  
Подписано к печати  
Заказ №  
Тираж 20 экз.  
Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел  
Университета ИТМО  
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д.49