

М 364636

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое училище
имени Н.Э.Баумана.

На правах рукописи

КАНЫШЕВ ГЕННАДИЙ АНДРЕЕВИЧ

ОБЪЕМНЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИНТОВОГО МАСЛО-
ЗАПОЛНЕННОГО ХОЛОДИЛЬНОГО КОМПРЕССОРА С УЧЕТОМ СВОЙСТВ
МАСЛЯНЫХ РАСТВОРОВ.

Специальность 05.04.08. Гидравлические машины, машины и
аппараты холодильной и криогенной техники.

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук.

Москва 1980

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое училище
имени Н.Э.Баумана.

На правах рукописи

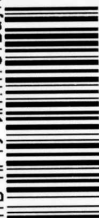
КАНЫШЕВ ГЕННАДИЙ АНДРЕЕВИЧ

ОБЪЕМНЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИНТОВОГО МАСЛО-
ЗАПОЛНЕННОГО ХОЛОДИЛЬНОГО КОМПРЕССОРА С УЧЕТОМ СВОЙСТВ
МАСЛЯНЫХ РАСТВОРОВ.

М 361636
Специальность 05.04.03. Гидравлические машины, машины и
аппараты холодильной и криогенной техники.

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук.

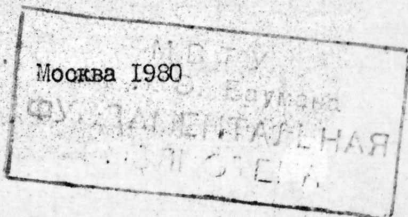
НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1361636

Канышев Г.А. Объемные и эне

Москва 1980



Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском, проектно-конструкторском и технологическом институте холодильного машиностроения (ВНИИхолодмаш).

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Ф.М.Чистяков.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор В.Д.Лубенец
кандидат технических наук, доцент А.М.Коренев.

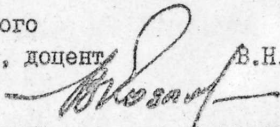
Ведущее предприятие - Московский ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени завод "Компрессор".

Защита состоялась "6" мая, 1980г. в 14 час. 30 мин.
на заседании специализированного Совета по криогенным, холодильным, гидравлическим, вакуумным и компрессорным машинам и аппаратам Московского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища имени Н.Э.Баумана по адресу: 107005, г.Москва, 2-я Бауманская ул. дом 5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просьба направлять по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им. Н.Э.Баумана.

Автореферат разослан "8" мая 1980г.

Ученый секретарь специализированного
Совета, кандидат технических наук, доцент  В.Н.Козлов.

Л- 55844 от 9/УП -1980г. Заказ 95/ Объем 1л.л. Тираж 100 экз.

Типография МВТУ им. Н.Э.Баумана.

М В Т У
им. Н. Э. Баумана
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Винтовые маслозаполненные холодильные компрессоры (ВМХК) — новый вид холодильного оборудования. Благодаря высокой надежности, большой долговечности, хорошей динамической уравновешенности, относительно малой металлоемкости, они получили широкое развитие в холодильном машиностроении в основном в области холодопроизводительностей от 400 до 1700 кВт. В ВМХК подается значительное количество масла. При этом затрачивается энергия на транспортирование его на сторону нагнетания, на гидравлические и механические потери при вращении роторов в паромасляной смеси, в подшипниках, сальнике и уравновешивающих масляных поршнях и др. В холодильных фреоновых машинах в основном применяются холодильный агент R22 и серийное масло ХА-30. Энергетическая эффективность ВМХК по сравнению с поршневыми ниже на 6+10% при степенях повышения давления π_n до 12. При условиях работы ВМХК все фреоны образуют с маслами растворы, свойства которых влияют на величину энергетических и объемных потерь в ВМХК.

Исследование ВМХК с целью повышения объемных и энергетических характеристик за счет применения масел с более благоприятными свойствами является актуальной задачей.

Цель работы. Исследование ВМХК при работе на R22 и новых синтетических маслах с целью выявления свойств масла, позволяющих повысить энергетические и объемные характеристики ВМХК, и выбора масла с наиболее благоприятными свойствами. Создание методик расчета объемных и энергетических характеристик ВМХК с учетом свойств масляных растворов.

Методы исследования. В работе использованы методы теоретического анализа и экспериментального исследования.

Научная новизна. Разработаны методики расчета объемных и энергетических характеристик ВМХК с учетом свойств масляных растворов, позволяющие также анализировать влияние свойств масляных растворов и выбирать масла с наиболее благоприятными свойствами в зависимости от режимных и конструктивных параметров. Получены эмпирические зависимости для коэффициента неравновесности исследуемых масляных растворов, средних показателей политроп сжатия, коэффициента индикаторного давления, учитывающего депрессию на стороне нагнетания, потерь коэффициента подачи от утечек и балластного хладагента.

Практическая ценность. Рекомендовано новое синтетическое масло ХС-40 для ВМХК при работе на холодильных агентах типа R22, позволяющее значительно повысить объемные и энергетические характеристики по сравнению с работой на серийном масле ХА-30. Определены оптимальные условия работы одноступенчатого ВМХК на R22: температура и относительное количество масла на входе в ВМХК, температура фреона на всасывании ($t_m, \dot{V}_m, t_{вс}$), при которых коэффициент подачи и КПД имеют максимальные значения. Методики расчета коэффициента подачи и КПД могут быть использованы при расчете и проектировании фреоновых ВМХК.

Внедрение и апробация работы. Созданные методики расчета коэффициентов подачи и КПД ВМХК используются во ВНИИхолодмаше при разработке винтовых маслозаполненных холодильных компрессоров и холодильных машин с ВМХК. В новых фреоновых холодильных машинах с ВМХК (МКТ350-2-I, СМКТ, МХМВ и др.), серийно изготавливаемых и осваиваемых Московским заводом "Компрессор", Читинским машиностроительным заводом и Казанским компрессорным заводом, применено новое синтетическое масло ХС-40. Рекомендовано масло ХС-40 вместо ХА-30 для серийных судовых холодильных установок с винтовыми низкотемпературными одноступенчатыми компрессорными агрегатами 5ВХ-350/5FC на супертраулерах типа "Горизонт".

Материалы диссертации докладывались и обсуждались: на IV Всесоюзной научно-технической конференции "Конструирование, технология изготовления и эксплуатация компрессорных машин различного назначения". Сумы, 1974г., на XIV Международном конгрессе по холоду, Москва, 1975г., на V Всесоюзной научно-технической конференции по компрессоростроению, Москва, 1978г., на II Всесоюзной научно-технической конференции по холодильному машиностроению, Мелитополь, 1978г., на научно-технических семинарах кафедры Э-4 МВТУ им. Н.Э.Баумана. Москва, 1980г., на НТС ВНИИхолодмаш, Москва, 1980г.

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в пяти статьях, тезисах докладов трех Всесоюзных научно-технических конференций, в материалах Международного института холода по докладам на XIV Международном конгрессе по холоду и отражены в 4-х авторских свидетельствах СССР.

Объем работы. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и выводов по результатам работы, списка литературы и прило-

жений. Изложена на 134 страницах машинописного текста, содержит 104 рисунка, 15 таблиц, список литературы, включающий 103 наименования, и приложения на 13 страницах.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВМХК нашли большое применение в одноступенчатых холодильных машинах и установках при работе на R22 и высоких T_n — до 15. Это является их отличительной особенностью по сравнению с поршневыми компрессорами ($T_n \leq 12$) и винтовыми "сухого" сжатия ($T_n \leq 4+6$). Масло, пройдя сальник, подшипники и масляные поршни, поступает во всасывающую полость и вместе с холодильным агентом транспортируется ВМХК на сторону нагнетания. Другая часть масла впрыскивается в отсеченные парные полости и вместе с холодильным агентом поступает на сторону нагнетания ВМХК. При условиях работы ВМХК концентрация хладагента в масляном растворе зависит от давления, температуры, времени контакта и свойств хладагента и масла. Из-за очень малого времени протекания процессов в ВМХК растворы не достигают равновесного состояния. Для определения свойств растворов хладагент-масло необходимо иметь диаграммы состояния $i, p, t, \xi; v, p, t, \xi; \rho, p, t, \xi$, а также коэффициенты неравновесности K_p .

В первой главе проведенный обзор литературы показал, что исследованию винтовых маслозаполненных компрессоров посвящены работы И.А.Сакуна, Н.Н.Колкина, В.И.Пекарева в ЛТИХП; П.А.Андреева и Н.Н.Сидоры в ЦКТИ им.И.И.Ползунова; Ю.И.Диментова и Е.Л.Гринпрес-са; В.Д.Лубенца и В.И.Алешина в МВТУ им.Н.Э.Баумана; А.И.Шварца, А.Л.Верного в СКБ-К и др. Из них только одна работа В.И.Пекарева посвящена исследованию винтового маслозаполненного холодильного компрессора. Исследования винтовых компрессоров проводились при степенях повышения давления до 6+8 с использованием объемных коэффициентов, полученных экспериментально при "сухом" сжатии. Влияние свойств масел и их растворов на коэффициенты подачи и КПД не рассматривалось. Эмпирические урзнения, полученные по результатам испытаний Н.Н.Сидорой и Ю.И.Диментовым для определения показателя политроны сжатия, коэффициента подачи и др. могут быть применены при расчетах винтовых маслозаполненных компрессоров, работающих только на воздухе при $T_n \leq 6+8$. Методика, рекомендованная В.И.Алешиним, позволяет определить коэффициент подачи винтового маслозаполненного компрессора при условии, когда количество

масла, подаваемого в компрессор G_m меньше, чем требуется для уплотнения всех рабочих щелей G_{my} при рабочих условиях, т.е. когда $K_x = \frac{G_m}{G_{my}} < 1$ и при отсутствии растворимости рабочего тела в масле. Исследования рабочих процессов методом индицирования, а также по определению оптимальных условий работы ($t_{m1}, \bar{V}_m, t_{bc}$) ВМХК не проводились. Анализ показал также, что диаграмм растворов R22 - масло $i, P, t, \xi; v, P, t, \xi; p_m, P, t, \xi$ и аналитических методов расчета свойств растворов холодильный агент-масло в опубликованной литературе нет.

Задачи исследования:

- разработать методики расчета коэффициента подачи и КПД ВМХК с учетом свойств растворов хладагентов с маслами и провести расчетный анализ объемных и энергетических характеристик ВМХК при работе на R22 и маслах XC-40, XC-50, XCH-40 и XA-30 в диапазоне температур кипения от -25 до -45°C и при π_n до 15;
- провести экспериментальные исследования ВМХК при работе на R22 и указанных маслах в том же диапазоне температур кипения и температурах конденсации $t_k = 20 + 40^\circ\text{C}$ с целью: определения оптимальных величин t_{m1}, t_{bc} и $\bar{V}_m$; изучения рабочих процессов; получения действительных характеристик компрессора;
- по результатам экспериментальных исследований: определить величины объемных и энергетических коэффициентов ВМХК и сравнить их с расчетными; определить масло с наиболее благоприятными свойствами; обобщить эмпирическими уравнениями зависимости, влияющие на λ и η_e , от основных свойств масляных растворов и др.

Во второй главе анализируются свойства исследуемых масел и их растворов с R22, предлагаются методики расчета объемных и энергетических характеристик ВМХК с учетом свойств масляных растворов, проводится расчетный анализ характеристик ВМХК при работе на R22 и исследуемых маслах. Выведено уравнение для определения коэффициента подачи ВМХК в виде:

$$\lambda = 1 - \frac{U_{bc}}{V_h \cdot T_{bc}} \sum_j G_{myj} B_j T_{yi} - \frac{G_{mb} \cdot B \cdot U_{bc}}{V_h} \cdot \frac{T_b}{T_{bc}} - \frac{C_m}{C_p} \cdot \frac{U_{bc}}{V_h \cdot T_{bc}} \times$$

$$\times \sum_j (1 - B_j) \cdot G_{myj} (T_{yi} - T'_m) - \frac{C_m}{C_p} \cdot \frac{G_{mb} \cdot U_{bc}}{V_h \cdot T_{bc}} (1 - B)(T_b - T'_m) - \frac{V'_m}{V_h}$$

или $\lambda = 1 - \Delta\lambda_{ay} - \Delta\lambda_{ab} - \Delta\lambda_{my} - \Delta\lambda_{mb} - \Delta\lambda_m,$

где $\Delta\lambda_{ay}, \Delta\lambda_{ab}, \Delta\lambda_{my}, \Delta\lambda_{mb}, \Delta\lambda_m$ - соответственно потери коэффици-

ента подачи от утечек хладагента по щелям, от хладагента, выделившегося из балластного масляного раствора, и от влияния масляного раствора утечек и балластного раствора с учетом их объема;

$V_{вс}$ - удельный объем пара во всасывающем патрубке;

V_h - теоретическая производительность компрессора;

$T_{вс}$ - температура пара во всасывающем патрубке компрессора;

G_{myi} - массовая утечка масляного раствора через щель;

B_j - коэффициент, учитывающий изменение массовой доли фреона в масляном растворе при прохождении через щель,

$$B_j = \frac{\xi_{g1} - \xi_{g2}}{1 - \xi_{g2}}; \quad B = B_j \text{ при } \xi_{j1} = \xi_{gij};$$

ξ_{gij}, ξ_{g2} - действительные массовые доли хладагента в масляном растворе до и после щели;

T_{yi}, T_{δ} - температура пара и масляного раствора утечек во всасывающей полости и балластного;

j - (А.И.М.Г.) обозначение полости, из которой происходит утечка;

i - (Б...16) номер щели, через которую происходит утечка;

$G_{мб}$ - количество балластного масляного раствора;

C_m, C_p - удельные теплоемкости масляного раствора и фреона;

T_m - средняя температура масляного раствора в конце процесса всасывания;

V'_m - суммарный расход масляного раствора утечек и балластного.

Суммарная потеря коэффициента подачи ВМХК от влияния масляного раствора утечек, балластного раствора и от объема масла составляет незначительную величину $\beta = 0,03 + 0,05$.

Тогда $\lambda = 1 - \Delta \lambda_{ay} - \Delta \lambda_{a\delta} - \beta$

Количество масляного раствора, необходимое для полного уплотнения щелей в ВМХК

$$G_{my} = \sum G_{myi} = 4 \sum q'_{mi} \cdot f_{wi}$$

Удельный расход масляного раствора через щель при ламинарном режиме определяется по формуле:

$$q'_{mi} = \frac{\Delta P_i \cdot \delta_i}{24 \frac{\delta_i}{2\delta_i} \cdot \nu_{срj}},$$

где ΔP_i - разность давлений до и после щели; δ_i - высота щели;

δ_i - глубина щели; $\nu_{срj}$ - среднеарифметическое значение кинематической вязкости раствора до и после щели; f_{wi} - приведенная площадь щели.

Действительные массовые доли фреона в масле определяют по формуле $\xi_g = \xi_p \cdot K_p$,

где ξ_p – массовая доля фреона в масле при равновесных условиях (определяется из i, p, t, ξ – диаграммы раствора фреон–масло); K_p – коэффициент неравновесности.

Эффективная мощность ВМХК определяется по формуле

$$N_e = N_i + N_{гм} + N_m + N_{тр},$$

где N_i – индикаторная мощность; $N_{гм}$ – мощность гидромеханических потерь; N_m – мощность, затрачиваемая на транспортирование масла в компрессоре, определяется с учетом утечек раствора; $N_{тр}$ – мощность трения в подшипниках, сальнике, масляных поршнях.

Уравнение для определения индикаторной мощности выводится из расчетной индикаторной диаграммы ВМХК. Она включает процессы: всасывания при $P_1 = const$; переноса при $\Delta P_1 = P'_1 - P_1$; сжатия с P'_1 до P_2 с учетом внутреннего сжатия с P'_1 до P_a и депрессии $\Delta P_2 = P'_2 - P_2$ за счет сопротивления окна нагнетания, а также нагнетания при $P'_2 = const$.

$$N_i = (V_h - V'_m) \cdot P'_1 \cdot \left[\frac{\Delta P_1}{P'_1} + \frac{m_2}{m_2 - 1} (\pi_a^{\frac{m_2 - 1}{m_2}} - 1) + \varepsilon_r^{\frac{m_2 - 1}{m_2}} \cdot \frac{m_2''}{m_2'' - 1} \times \right. \\ \left. \times (\pi_{2a}^{\frac{m_2'' - 1}{m_2''}} - 1) + \frac{\Delta P_2}{P'_1} \left(\frac{W_2 - W_m}{W_a - W_m} \right) \right], \quad \text{или}$$

$$N_i = (V_h - V'_m) \cdot P'_1 \left[\frac{\Delta P_1}{P'_1} + \frac{m_2'}{m_2' - 1} (\pi_{m1}^{\frac{m_2' - 1}{m_2'}} - 1) + \frac{\Delta P_2}{P'_1} \left(\frac{W_2 - W_m}{W_a - W_m} \right) \right],$$

где $P_1, P'_1, P_a, P_2, P'_2$ – давления в парной полости соответственно на всасывании, в конце переноса, в конце внутреннего сжатия, в нагнетательном патрубке и в процессе нагнетания; ΔP_1 и ΔP_2 – разности давлений в процессе переноса и из-за депрессии в окне нагнетания; W_a, W_m, W_a', W_2 – объем парной полости соответственно при всасывании, занятый масляным раствором, в конце процесса внутреннего сжатия, при давлении, соответствующем давлению нагнетания; m_2, m_2' и m_2'' – средние показатели политроп соответственно процесса внутреннего сжатия, сжатия от давления P'_1 до P_2 и повышения давления от P_a до P_2 ; $\pi_a = \frac{P_a}{P'_1}$; $\pi_{2a} = \frac{P_2}{P_a}$; $\pi_{m1} = \frac{P_2}{P'_1}$.

Принимаем, что весь процесс сжатия идет с показателем политропы m_2 . Переменное для отдельных участков процесса сжатия значение показателя политропы определяется из выведенного для ВМХК уравнения

$$m_2 = - \frac{V dP}{P dV} = 1 + \frac{R[d(z \cdot T) + z \cdot T \cdot \frac{dG}{G}]}{du + dq - dq_{тр} - RZT \frac{dG}{G}}$$

Для конечных параметров

$$m_2 = 1 + \frac{R \Delta(ZT) + R Z_1 T_1' \frac{\Delta G}{G_h}}{\Delta U + \Delta q - \Delta q_{тр} - R Z_1 T_1' \frac{\Delta G}{G_h}},$$

где Δq – удельная теплота, отведенная от пара в ВМХ;
 $\Delta q_{тр}$ – удельная теплота гидромеханических потерь; ΔU – изменение удельной внутренней энергии пара в ВМХ; R – газовая постоянная для хладагента; Z – коэффициент сжимаемости; T_1' и V_1' – температура и удельный объем хладагента в начале сжатия; ΔG и G_h – массовое количество хладагента от утечек в процессе внутреннего сжатия и в полости компрессора в конце процесса всасывания. Величины Δq , $\Delta q_{тр}$, ΔU определяются расчетным путем. Величина m_2 рассчитывается методом последовательного приближения. При $\pi_n = \frac{P_2}{P_1} = 4,5 + i4,4$ величина m_2 равна $1,062 + i1,045$. Приведенная величина P_2' определялась в виде

$$P_2' = P_2 + \Delta P_2 = P_2 + \frac{W_0}{W_2} P_{1-г} (\rho_{1-г} - 1)$$

Коэффициент индикаторного давления, учитывающий только величину депрессии на стороне нагнетания $\rho_{1-г} = \frac{P_{1-г}}{P_{1-г} - T}$, где $P_{1-г}$ – среднее индикаторное давление теоретического ВМХ с учетом только величины депрессии на нагнетании, $P_{1-г}$ – среднее индикаторное давление теоретического ВМХ

Мощность, затрачиваемая на преодоление трения роторов о паромасляную смесь, определяется по формуле $N_{гм} = \rho_{см} (C_1 \cdot V_{см} + D \cdot V_{см}^{0,2})$, где $\rho_{см}$, $V_{см}$ – средние величины плотности и кинематической вязкости паромасляной смеси, кг/м^3 и $\text{м}^2/\text{с}$; C_1 , D – коэффициенты, учитывающие геометрические характеристики ВМХ и частоту вращения. Для исследуемого ВМХ с $V_h = 0,21 \text{ м}^3/\text{с}$ эти коэффициенты соответственно равны $14,1 \cdot 10^3$ и $0,67$.

Удельное количество теплоты, отведенной от компрессора, определяется в виде $q_{1-г} = \frac{N_c}{G_a} - \Delta i_{1-г}$, где $\Delta i_{1-г}$ – повышение энтальпии фреона в компрессоре, G_a – действительный массовый расход хладагента.

Новые синтетические масла: ХС-40, ХС-50 и ХСН-40 и лучшее серийное минеральное масло ХА-30 отличаются кинематической вязкостью, растворимостью R22, теплоемкостью, плотностью и другими свойствами.

Расчет объемных и энергетических характеристик для ВМХ с $V_h = 0,21 \text{ м}^3/\text{с}$ производился на 8 режимах для каждого масла: $t_0 = -25, -35$ и -45°C , $t_k = 20, 30$ и 40°C (кроме режима $t_0 = -45$ и $t_k = 40^\circ\text{C}$) при работе ВМХ на R22, что соответствовало $\pi_n = 4,54 + i4,4$

и разности между давлениями нагнетания и всасывания $0,73 \pm 1,45$ МПа. На основании расчетов были построены зависимости $V_{cp} = f(P)$; $B_g = f(P)$; G_{my} и $G_{ay} = f(t_0, t_k)$; $\Delta \lambda_{ay}$ и $\Delta \lambda_{as} = f(t_0, t_k)$; $\lambda = f(T_n, t_k)$, а также величин ΔP_2 и ΔP_1 ; N_{gm} ; N_m ; N_{tr} ; N_e ; механического КПД η_m , адиабатного внутреннего $\eta_{ad, вн}$ и эффективного η_e от T_n и t_0 для исследуемых масел, а также q_T и относительного количества масла подаваемого в компрессор $g_m = \frac{G_m}{G_a}$. Величина G_{my} на всех исследуемых маслах и режимах получена меньше количества масла, подаваемого в компрессор G_m . Расчет показал, что наиболее высокие значения λ и η_e получены для ВМХ при работе на масле ХС-40. Наименьшие значения λ и η_e получены при работе на маслах ХСН-10 и ХЛ-30. В третьей главе описываются объекты экспериментальных исследований, схема стенда, средства измерения, методы проведения исследований и обработки их результатов и определяется точность измерений и полученных результатов. Экспериментальные исследования были проведены на стенде с паровым кольцом на двух винтовых маслозаполненных компрессорах типа ВХ350 и АВХ-160М. Компрессор типа ВХ350 с $V_h = 0,21$ м³/с, с наружным диаметром роторов $De_1 = De_2 = 0,204$ м, относительной длиной роторов $L = 1,05$, геометрической степенью сжатия $\varepsilon_r = 3,7$ испытывался с частотой вращения ведущего ротора $n_1 = 49,3$ I/c. Мощность компрессора определялась при помощи измерительного комплекса К-50 с учетом зависимости $\eta_s = f(N_s)$, полученной при испытании электродвигателя. Рзход R22 определялся при помощи диафрагм и по балансу теплообменника, расход масляного раствора - при помощи счетчиков типа ШКУ. Давления замерялись образцовыми манометрами, температуры - ртутными термометрами с ценой деления $0,1^\circ\text{C}$ и термопарами хромель-копель. Концентрация R22 в масляном растворе определялась в соевом методом по пробам, отобраным на стороне нагнетания после маслоохладителя и из всасывающей камеры компрессора. Компрессор АВХ-160М: $V_h = 0,05 \pm 0,086$ м³/с; $\varepsilon_r = 2,6$ и $4,0$; $L \approx 0,9$; $De_1 = De_2 = 0,125$ м; $n_1 = 66,7$ I/c ($U_1 = 26,2$ м/с) и $n_2 = 103,2$ I/c ($U_2 = 40,5$ м/с), профиль асимметричный. Он был оборудован измерительным комплексом для проведения исследований рабочих процессов методом индицирования. В измерительный комплекс в числе других приборов входили пьезокерамические датчики, установленные на роторах и ртутные токосъемники. На корпусе компрессора были установлены тензометрические датчики давления. Результаты измерений определялись с учетом погрешностей.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований ВМХК и обобщения их.

Максимальные значения λ и η_e ВМХК получены при работе на всех маслах при оптимальных условиях: $t_{m1} = 30+40^\circ\text{C}$, $\dot{V}_m = (0,85+0,9) \times 10^{-2}$ и $t_{bc} = 10^\circ\text{C}$. Наибольшие коэффициенты подачи λ и КПД η_e и $\eta_{ag. \text{ вк}}$ получены при работе ВМХК на масле ХС-40. Коэффициенты подачи ВМХК в основном зависят от объемных потерь, вызываемых утечками $\Delta\lambda_{ay}$ и балластным агентом — $\Delta\lambda_{ob}$. Бóльшее влияние на λ оказывает величина $\Delta\lambda_{ob}$. Величина $\Delta\lambda_{ay}$ зависит от величины коэффициента $B_{cp} = \frac{\gamma_{ay}}{\gamma_{my}}$, учитывающего растворимость R22 в масле, от отношения $\bar{\tau}_y = \frac{\tau_y}{\tau_{bc}}$ и от средних значений кинематической вязкости масляного раствора ν_{mcp} . Величина $\Delta\lambda_{ob}$ зависит от коэффициента B и отношения $\bar{\tau}_b = \frac{\tau_b}{\tau_{bc}}$. Получены зависимости $\Delta\lambda_{ay}$, $\Delta\lambda_{ob}$ от t_{bc} , t_{m1} , $\dot{V}_m$, τ_m . Основное влияние на η_e при работе на различных маслах оказывают величины N_{gm} и N_{tr} , которые зависят в основном от плотности и кинематической вязкости паромасляной смеси и растворов при прочих равных условиях.

При повышении температуры R22 на всасывании в компрессор, объемные и энергетические характеристики ВМХК улучшаются.

Анализ экспериментальных исследований ВМХК при оптимальных условиях работы (t_{bc} , t_{m1} , $\dot{V}_m$) показал, что при $t_k = \text{const}$ величины коэффициентов подачи и КПД ВМХК с повышением τ_m понижаются. Это связано с изменением величин B_{cp} , $\bar{\tau}_y$, $\bar{\tau}_b$, B , ν_{mcp} , γ_{cm} и ρ_{cm} , зависящих от τ_m и от сорта масла. На величину коэффициента подачи и КПД влияет также разность давлений. Действительные массовые доли фреона в исследуемых масляных растворах имеют меньшие величины, чем при равновесных условиях. Полученные значения коэффициентов неравновесности для исследуемых растворов существенно зависят от режимных условий ВМХК и от свойств масел. Изменение величины Π , в пределах 49,3+103,2 л/с не повлияло на величину K_p . Наименьшие величины K_p получены для растворов с маслом ХСН-40, наибольшие — с маслами ЛА-30 и ХС-50. Температура пара фреона на стороне нагнетания на всех режимах не превышала 75°C и почти одинакова при работе на всех исследованных маслах при одних и тех же режимных условиях.

Анализ индикаторных диаграмм рабочих процессов ВМХК, полученных экспериментально, позволил установить: отсутствие падения давления (депрессии) в парных полостях в процессе всасывания; повышение давления из парной полости в процессе переноса;

переменность показателя политропы при сжатии пара; наличие депрессии в окне нагнетания. Анализ показал, что значения m_2 и m'_2 незначительно понижаются с повышением π_n и почти не изменяются при изменении ε_r с 2,6 до 4,0 и u_1 с 26,6 до 40,5 м/с. Величина m'_2 во всем диапазоне исследованных π_n больше величины m_2 . Величина m'_2 имеет почти постоянное значение порядка 1,60. В диапазоне $\pi_n = 4,5+14,5$ величина m_2 изменяется в пределах от 1,055 до 1,045; m'_2 — от 1,10 до 1,09. При $P_2 > P_0$ величина m'_2 зависит от перетечек R22 в парную полость ВМХК из нагнетательной полости. Были получены средние индикаторные давления, учитывающие только влияние депрессии на стороне нагнетания P_{i-g} , которые позволили получить зависимость P_{i-g} от степени повышения давления π_n для различных ε_r и u_1 при $t_k = 20 + 40^\circ\text{C}$. На рис. 1 и 2 показаны изменения экспериментальных и расчетных коэффициентов подачи λ и КПД η_e ВМХК при работе на R22 и исследованных маслах в зависимости от π_n при $t_k = 20$ и 30°C . На рис. 3 и 4 приведены зависимости изменения коэффициентов подачи и эффективных КПД при работе на новых маслах по отношению к значениям λ и КПД η_e ВМХК при работе на серийном масле ХА-30, от степени повышения давления π_n .

Анализ результатов экспериментальных исследований ВМХК позволил представить эмпирическими уравнениями отдельные величины, влияющие на объемные и энергетические характеристики ВМХК:

1) действительная температура балластного масляного раствора $T_\delta = T_{\delta p} - (8+10)$, где $T_{\delta p}$ — температура при равновесных условиях,

$$2) m_2 = 1 + \frac{4,0}{q_m^{1,6} + 18,5}; \quad m'_2 = 1 + \frac{6,0}{q_m^{1,5} + 25},$$

где q_m — удельный расход масляного раствора, подваемого компрессором в л. на м³ действительной производительности компрессора,

$$3) P_{i-g} = 1 + 3,03 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_{смг} \cdot \varepsilon_r^{0,96} \cdot u_1^{0,54},$$

где $\rho_{смг}$ — плотность паромасляной смеси перед окном нагнетания,

$$4) K_p = 41 \cdot \gamma_m^{0,3} \left(\frac{M_m}{1000} \right)^2,$$

где γ_m , M_m — кинематическая вязкость и молекулярная масса синтетического масла, соответственно в м²/с и кг/кмоль,

$$5) \Delta \lambda_{\delta\delta} = 5,6 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{V_{\delta\delta}}{V_m} \cdot T_\delta \cdot B;$$

$$6) \Delta \lambda_{ay} = 2,61 \cdot 10^{-4} \cdot R_{еср}^{0,5} \cdot V_{ср} \cdot T_y \cdot \frac{V_{\delta\delta}}{V_m}$$

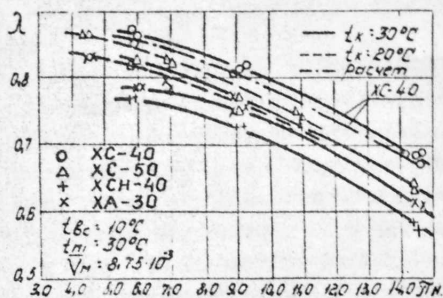


Рис. 1.

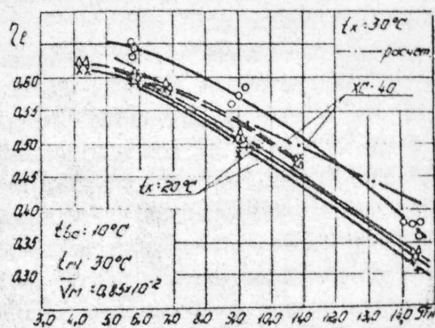


Рис. 2.

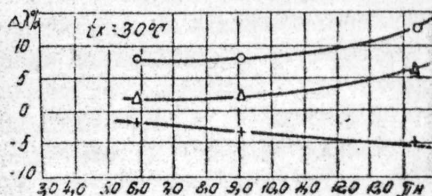


Рис. 3.

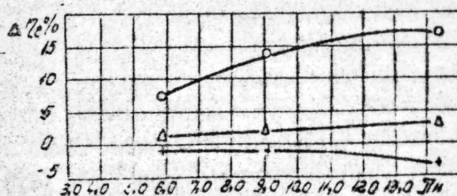


Рис. 4.

Среднее значение числа Рейнольдса при прохождении масляного раствора через щели

$$R_{\text{ср}} = \frac{\sum Re_i \cdot q'_{mi}}{\sum q'_{mi}}$$

ВЫВОДЫ:

1. Разработаны методики определения объемных и энергетических характеристик винтовых маслозаполненных холодильных фреоновых компрессоров с учетом действительных рабочих процессов, свойств фреона и растворов фреон-масло, режимов работы, геометрических характеристик и особенностей конструктивной схемы ВМХК.

Впервые предложено объемные и энергетические коэффициенты определять методом разделения потерь в ВМХК, с использованием уравнений рабочих процессов, диаграмм масляных растворов фреон-масло и коэффициента неравновесности, учитывающего динамику процессов в растворах.

2. Проведен расчетный анализ объемных и энергетических характеристик ВМХК при работе на R22, новых синтетических маслах и серийном масле ХА-30 в диапазоне температур кипения от -25°C до -45°C при T_H до 14,5, который показал, что свойства масляных растворов значительно влияют на характеристики ВМХК.

3. Проведены экспериментальные исследования ВМХК с применением современных методов и средств измерения. Экспериментально определены оптимальные условия работы ВМХК на R22, при которых коэффициенты подачи и КПД максимальны. Установлено, что перегрев паров R22 на стороне всасывания улучшает объемные и энергетические характеристики ВМХК.

Доказано с помощью индиферирования рабочих процессов в ВМХК, что: депрессия на стороне всасывания очень мала; давление пара в процессе переноса повышается; процесс сжатия в целом идет по политропе с показателем более высоким, чем для процесса внутреннего сжатия; депрессия на стороне нагнетания достигает больших значений.

4. Впервые экспериментально получены объемные и энергетические характеристики ВМХК при работе на R22 и маслах ХС-40, ХС-50, ХСН-40 и для сравнения - на ХА-30 при оптимальных условиях работы и T_H до 14,5.

Наиболее высокие объемные и энергетические характеристики ВМХК получены при работе на масле ХС-40. С повышением T_H эффективность работы ВМХК на R22 и масле ХС-40 по сравнению с работой на масле ХА-30 возрастает. При $T_H = 14,5$ и $t_k = 30^{\circ}\text{C}$ λ увели-

чивается на 13%, а η_e на 17%.

Составление расчетных и экспериментальных результатов показало хорошую сходимость их. Наибольшие расхождения по объемным коэффициентам не превышали 7%, по энергетическим - 9,5%. 5. На основании экспериментальных исследований получены эмпирические зависимости для: коэффициента индикаторного давления, учитывающего только влияние депрессии на стороне нагнетания ВМХК; средних показателей политропы процессов сжатия; коэффициентов неравновесности раствора R22-масло; величин потерь коэффициента подачи от утечек R22 и балластного R22.

6. Предложенные методики расчета объемных и энергетических характеристик ВМХК используются во ВНИИхолодмаш при проектировании новых винтовых фреоновых холодильных машин.

С учетом проведенных исследований серийно выпускаются холодильные машины типа МКТ, СМКТ, МХМВ с винтовыми компрессорами при работе на R22 и новом масле ХС-40. Рекомендовано для применения масло ХС-40 вместо ХА-30 в судовых холодильных установках с ВМХК, серийно изготавливаемых, а также находящихся в эксплуатации на супертраулерах типа "Горизонт". Масло ХС-40 рекомендовано для применения во всех вновь проектируемых холодильных машинах и установках с ВМХК при работе на R22.

Экономический эффект от внедрения холодильных машин и установок с ВМХК, работающих на R22 и масле ХС-40 вместо масла ХА-30, составил около 2,0 млн. рублей.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

1. Быков А.В., Калнинь И.М., Канышев Г.А. и др. Создание ряда роторных холодильных компрессоров производительностью 100-250 тыс.ст.ккал/ч. Отчет ВНИИхолодмаш. В Государственной регистрации Б 725479. М., 1979.
2. Быков А.В., Канышев Г.А., Прякин Р.В., Криничский Д.Г. Особочности винтового бессальникового холодильного компрессора с электродвигателем на стороне нагнетания. М., Холодильная техника № 8. 1978.
3. Канышев Г.А., Вужва Д.А. Экспериментальные исследования по оптимизации работы винтового маслозаполненного компрессора. Труды ВНИИхолодмаш Исследовательские работы по повышению эффективности холодильного оборудования. ЦИТИХИМНЕТЕМАШ, М., 1976.
4. Канышев Г.А., Вужва Д.А., Курьянов А.П., Хромов В.А.,

- Чистяков Ф.М. Исследование эффективности рабочих процессов винтового маслозаполненного холодильного компрессора методом индцирования. Труды ВНИХолодмаш, М., 1978.
5. Каньшев Г.А., Курьянов А.П., Вужва Д.А. Влияние отдельных факторов на теплоэнергетические характеристики холодильного винтового маслозаполненного компрессора. Тезисы докладов IV Всесоюзной научно-технической конференции по компрессоростроению, г.Сумы. 1974.
6. Каньшев Г.А., Курьянов А.П., Хромов В.А., Вужва Д.А., Чистяков Ф.М. Исследование рабочих процессов винтового маслозаполненного холодильного компрессора (ВМК) методом индцирования. Тезисы докладов II Всесоюзной научно-технической конференции по холодильному машиностроению. ЦНТИХИМНЕФТЕМАШ, М., 1978.
7. Каньшев Г.А., Чистяков Ф.М. Влияние свойств холодильных масел на КПД винтового маслозаполненного компрессора. Тезисы докладов II Всесоюзной научно-технической конференции по холодильному машиностроению. ЦНТИХИМНЕФТЕМАШ, М., 1978.
8. Каньшев Г.А., Чистяков Ф.М. Коэффициент подачи винтового холодильного маслозаполненного компрессора. Холодильная техника № 12, М., 1979.
9. Каньшев Г.А., Чистяков Ф.М. Объемные потери в винтовом маслозаполненном фреоновом компрессоре. Тезисы докладов V Всесоюзной научно-технической конференции по компрессоростроению, М., 1978.
10. ОСТ26-03-2019-79. Агрегаты холодильные компрессорные одноступенчатые с винтовыми компрессорами. Типы и основные параметры.
11. А.С.1580354 (СССР). Система смазки винтового компрессора. Суслев А.Д., Чистяков Ф.М., Каньшев Г.А., Устинов А.С.
12. А.С.1581324 (СССР). Система смазки винтового компрессора. Каньшев Г.А., Устинов А.С., Пряхин Р.В.
13. А.С.1658312 (СССР). Винтовой компрессорный агрегат. Каньшев Г.А., Устинов А.С., Пряхин Р.В., Бурданова Г.А.
14. А.С.1628340 (СССР). Компрессорный агрегат. Каньшев Г.А., Сапронов В.И., Устинов А.С., Бурданова Г.А.

15. *Kanyshev G.A., Vushva D.A., Sapronov V.I.*
-Proceedings of the XIV International Congress of
Refrigeration. Moscow, USSR, 1978, vol. II.