

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

КУЧЕРЕНКО Виктор Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ РОТАЦИОННЫХ ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВЫХ
ВАКУУМ-КОМПРЕССОРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

(05.04.06 – Вакуумная и компрессорная техника)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

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

КУЧЕРЕНКО Виктор Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ РОТАЦИОННЫХ ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВЫХ
ВАКУУМ-КОМПРЕССОРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

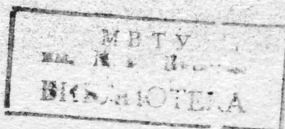
(05.04.06 - Вакуумная и компрессорная техника)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Москва

1981



НА ДОМ
НЕ ВДАЕТСЯ

Работа выполнена в Московском высшем техническом училище
им. Н.Э.Баумана.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Лубенец В.Д.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Суслов А.Д.;
кандидат технических наук, доцент
Арсеньев В.М.

Ведущее предприятие - СМПО им. М.В.Фрунзе.

Автореферат разослан "4" марта 1981 г.

Защита состоится "6" апреля 1981 г. на 16⁰⁰
заседании специализированного совета К.053.15.07 "Криогенные,
холодильные, гидравлические, вакуумные и компрессорные машины
и аппараты" при МВТУ им. Н.Э.Баумана по адресу:
107005, Москва Б-5, Лефортовская набережная, дом I, лаборатор-
ный корпус факультета "Энергомашиностроение".

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

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук, доцент

Козлов В.Н.



1-35884 от 25.02.81г. Объем 1 л.л. Тир. 100 экз. зак.215
Типография МВТУ им.Н.Э.Баумана

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. В решениях XXV съезда КПСС предусмотрено преимущественное развитие отраслей промышленности, в наибольшей степени определяющих технический прогресс. В том числе особое внимание уделяется техническому перевооружению химической и нефтехимической промышленности, где особенно остро стоит вопрос о производстве вакуум-компрессоров, которые могут сжимать агрессивные, взрывоопасные, загрязненные газы. Из многих типов вакуумных и компрессорных машин, применяемых в народном хозяйстве, наиболее полно удовлетворяют этим требованиям ротационные жидкостнокольцевые вакуум-компрессоры (РЖВК). Они обладают следующими преимуществами: простота конструкции и эксплуатации; низкая стоимость изготовления; высокая надежность и низкий уровень звукового давления; простота герметизации; отсутствие смазочных материалов и трущихся элементов в рабочей полости машины. Расширение областей применения этих вакуум-компрессоров привело к тому, что для сжатия токсичных, взрывоопасных, легкоразлагающихся, полимеризующихся, агрессивных и загрязненных механическими примесями газов, паров и газожидкостных смесей в качестве рабочей жидкости в РЖВК, кроме воды, начали широко применять различные органические жидкости, кислоты и масла, которые по своим физико-химическим свойствам резко отличаются друг от друга.

Опыт эксплуатации и результаты исследований показывают, что физико-химические свойства рабочей жидкости, в первую очередь, ее вязкость, оказывают значительное влияние на характеристики РЖВК. Однако в известных методах расчета не приведено конкретных рекомендаций, позволяющих получить для данных условий работы вакуум-компрессоров минимальную удельную мощность и наибольший коэффициент откачки. Таким образом, разработка способов повышения эффективности РЖВК при использовании в них различных рабочих жидкостей является актуальной задачей.

Цель работы. Комплексное исследование ротационных жидкостнокольцевых вакуум-компрессоров при использовании в них различных рабочих жидкостей и разработка методов расчета и рекомендаций с учетом свойств рабочих жидкостей для создания

новых экономичных конструкций РЖВК, обладающих минимальной удельной мощностью и наибольшим коэффициентом откачки при заданных условиях работы.

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

Научная новизна. Доказана целесообразность изменения некоторых геометрических размеров и параметров работы РЖВК при использовании в них различных рабочих жидкостей для получения минимальной удельной мощности и наибольшего коэффициента откачки. Получены экспериментальные данные о влиянии основных геометрических соотношений и режима работы РЖВК на его удельные энергетические и объемные показатели при использовании рабочих жидкостей с различной вязкостью. Установлено влияние динамической вязкости рабочей жидкости, окружной скорости на периферии рабочего колеса и давления всасывания на начало срывных режимов. Полученные результаты позволяют полнее судить о физической картине рабочих процессов, происходящих в РЖВК, и об условиях оптимальности соотношений конструктивных параметров и режима работы вакуум-компрессоров при использовании в них различных рабочих жидкостей.

Практическая ценность. Предложен метод расчета РЖВК с учетом режима работы и свойств рабочей жидкости. Этот метод позволяет выбрать величины относительного эксцентриситета, выходного угла наклона лопатки и скорости вращения рабочего колеса, соответствующие минимальной удельной мощности и наибольшей производительности при заданных основных размерах машины и условиях эксплуатации. На основании проведенного комплексного исследования установлены рекомендации по определению температуры и вязкости рабочей жидкости в жидкостном кольце РЖВК на различных режимах работы. Это дает возможность более точно оценивать экономичность новых вакуум-компрессоров еще на стадии проектирования и тем самым сократить сроки и объем доводочных работ опытных образцов. Разработанный метод расчета позволяет производить теоретический анализ возможностей РЖВК при использовании их на других эксплуатационных режимах.

Практическая ценность предлагаемых рекомендаций и метода расчета была подтверждена при создании во ВНИИКОМПРЕССОРМАШ

и ПО "ПЕНЗКОМПРЕССОМАШ" вакуум-насоса ВВН-12 и хлорного компрессора IX-6/I, ОI-4MI с использованием в качестве рабочей жидкости концентрированной серной кислоты. Результаты исследований используются также в учебном процессе.

Апробация работы. Изложенный в диссертации материал докладывался на:

- I Всесоюзном научно-техническом семинаре "Повышение эффективности жидкостнокольцевых машин", М., 1976;
- IV и V Всесоюзных научно-технических конференциях по компрессоростроению, Сумы, 1974 и М., 1978;
- Всесоюзной научно-технической конференции "Научно-технический прогресс в машиностроении и приборостроении", М., 1980;
- научно-технических семинарах кафедры "Компрессорные и вакуумные машины и пневмоагрегаты" МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1974-80.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано семь печатных работ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных результатов работы и приложений, содержит 121 страницу машинописного текста, 66 рисунков и библиографию из 88 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен обзор и анализ теоретических и экспериментальных исследований РЖВК, приведены данные по использованию в них рабочих жидкостей с различными физико-химическими свойствами, поставлены цели и задачи исследования.

Установлено, что в большинстве исследований до настоящего времени в качестве рабочей жидкости подразумевалась только вода. Это работы К.Пфлейдерера, Г.Грабова, Х.Хетцеля, Р.Прагера, В.А.Румянцева, В.И.Тетерякова и некоторые другие. В последние годы предложено несколько методик расчета РЖВК, в которых в той или иной степени учитываются свойства рабочих жидкостей. Это работы В.Д.Дубенца, И.В.Автономовой, Л.Т.Караганова, Э.Е.Апанасенко, А.И.Лукьяновой.

Проведенный анализ показал, что основное влияние на объемные и энергетические характеристики оказывает вязкость рабочей жидкости, с увеличением которой производительность вакуум-компрессора уменьшается, а эффективная и удельная мощности рас-

гут. Однако во всех рассмотренных работах не дано конкретных рекомендаций по выбору конструктивных соотношений вакуум-компрессоров при использовании их с различными рабочими жидкостями. Было выявлено также отсутствие экспериментальных данных о влиянии основных геометрических параметров и режима работы РЖБК на его энергетические и объемные показатели при использовании рабочих жидкостей с различной вязкостью. Поэтому решение задачи по определению отношений геометрических размеров и параметров работы, позволяющих повысить эффективность РЖБК при использовании различных рабочих жидкостей, в настоящее время еще не получено и не используется в имеющихся расчетных методах.

В соответствии с данными проведенного анализа были определены следующие основные задачи работы:

- исследование влияния вязкости рабочей жидкости на процессы, происходящие в РЖБК;
- исследование влияния основных геометрических параметров и режима работы РЖБК на его характеристики при использовании рабочих жидкостей с различной вязкостью;
- разработка способов повышения производительности и снижения удельной мощности РЖБК при увеличении вязкости рабочей жидкости;
- получение экспериментальных данных, необходимых для расчета РЖБК при использовании различных рабочих жидкостей;
- экспериментальная проверка предложенных расчетных уравнений и рекомендаций по выбору основных геометрических параметров и режима работы РЖБК.

Во второй главе рассмотрены процессы, происходящие в рабочей полости РЖБК при использовании рабочих жидкостей с различными свойствами. Установлено, что на базе известных в настоящее время методик расчета РЖБК невозможно разработать методы определения оптимальных соотношений геометрических размеров и параметров вакуум-компрессоров при использовании различных рабочих жидкостей. В первую очередь, это вызвано тем, что во всех известных в настоящее время работах не учитывается изменение вязкости жидкостного кольца во время откачки, а процесс сжатия в РЖБК принимается близким к изотермическому.

Сопоставление теоретических и экспериментальных данных позволило сделать вывод о том, что затраты энергии на гидродинамические и механические потери необратимо переходят в тепло, которое отводится из вакуум-компрессора, в основном, рабочей жидкостью, а температура газа в нагнетательном патрубке с точностью до одного градуса соответствует температуре жидкостного кольца. Показано, что для определения вязкости рабочей жидкости в жидкостном кольце работающего РЖВК необходимо знать температуру жидкостного кольца, которую предлагается определять на основании уравнения энергетического баланса, написанного применительно к рабочей полости вакуум-компрессора. Предложенная в диссертации методика определения вязкости жидкостного кольца учитывает свойства, температуру и количество подаваемой в вакуум-компрессор рабочей жидкости, а также режим работы и параметры, характеризующие внутреннюю геометрию РЖВК.

В ранее разработанных методах расчета производительности РЖВК было принято допущение о полном заполнении рабочей жидкостью верхнего сечения жидкостного кольца, что не позволяет правильно определять оптимальные геометрические размеры и параметры работы вакуум-компрессора. В диссертации разработана методика определения производительности РЖВК при использовании в них рабочих жидкостей с различными свойствами с учетом изменения вязкости жидкостного кольца, а также отхода его внутренней поверхности от ступицы во время работы вакуум-компрессора.

Действительную производительность предлагается определять как

$$V_e = V_h \cdot \lambda \quad (1)$$

Описанный лопатками рабочего колеса объем

$$V_h = 0,5 \cdot \omega \cdot b_0 \cdot \psi \cdot (r_2^2 - r_1^2) \quad (2)$$

Коэффициент откачки РЖВК предлагается рассматривать в виде произведения двух коэффициентов

$$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \quad (3)$$

Коэффициент λ_1 учитывает уменьшение описанного объема за счет погружения лопаток рабочего колеса в жидкостное кольцо

$$\lambda_1 = V_m / V_h \quad (4)$$

Коэффициент λ_2 учитывает потери производительности, связанные с утечками и перетечками газа, испарением рабочей жид-

$$\lambda_2 = V_e / V_m. \quad (5)$$

Теоретическая производительность V_m определяется газовым объемом ячейки рабочего колеса в момент отсоединения ее от всасывающего окна. При этом исходим из следующих допущений:

1. движение рабочей жидкости в жидкостном кольце РЖВК установившееся;

2. расход рабочей жидкости в любом сечении жидкостного кольца постоянен;

3. при движении рабочая жидкость не отрывается от внутренней поверхности корпуса и лобовины РЖВК, и в жидкостном кольце отсутствуют обратные токи рабочей жидкости;

4. давление газа на внутреннюю поверхность жидкостного кольца на стороне всасывания ($0 \leq \theta \leq 180^\circ$) постоянно;

5. лопатки рабочего колеса погружаются в жидкостное кольцо или касаются его внутренней поверхности при любом угле поворота рабочего колеса;

6. внутренняя поверхность жидкостного кольца в пределах ячейки максимального газового объема цилиндрическая с радиусом r_{22} ;

7. в наименьшем сечении между рабочим колесом и корпусом РЖВК может быть радиальный зазор между жидкостным кольцом и ступицей.

Определив расходы рабочей жидкости в наименьшем (I-I) и наибольшем (II-II) сечениях жидкостного кольца, находим радиус внутренней поверхности жидкостного кольца в сечении II-II:

$$r_{22} = r_2 \cdot \sqrt{\mu^2 \frac{r_1^2}{r_2^2} - \frac{\delta \cdot z}{\psi} + \frac{2 \cdot K_{22} \cdot z}{\psi} \cdot (2\delta + \delta)}. \quad (6)$$

Так как в пределах ячейки максимального газового объема внутренняя поверхность жидкостного кольца аппроксимируется как цилиндрическая с радиусом r_{22} , то теоретическую производительность РЖВК можно выразить как:

$$V_m = 0.5 \cdot \omega \cdot B \cdot r_2^2 \left[\frac{\psi \cdot \mu^2}{z} \left(\frac{r_1^2}{r_2^2} - 1 \right) + 2\delta(K_{22} - 0.5) + 4\delta K_{22} \right]; \quad (7)$$

где ω — угловая скорость вращения рабочего колеса; B — ширина рабочего колеса; r_2 — наружный радиус рабочего колеса;

ψ — коэффициент, учитывающий объем лопаток рабочего колеса;

$\beta = r_1 / r_2$; r_1 — радиус ступицы рабочего колеса; $x = b_0 / \delta$; b_0 — ширина корпуса; r_{11} — радиус внутренней поверхности жидкостного кольца в сечении I-I; $\delta = \Delta / r_2$ — относительный зазор; $\varepsilon = e / r_2$ — относительный эксцентриситет; $K_{22} = V_{II-II} c p_2 / U_2$ — скоростной коэффициент в сечении II-II; U_2 — окружная скорость на периферии рабочего колеса; $V_{II-II} c p_2$ — средняя скорость течения рабочей жидкости в безлопаточном пространстве жидкостного кольца в сечении II-II.

Выражения (6) и (7) имеют физический смысл при $r_1 \leq r_{22} \leq r_2$. Нижний предел определяется радиусом ступицы рабочего колеса, верхний — условием нормальной устойчивой работы РЖВК.

При анализе влияния вязкости рабочей жидкости на основные составляющие производительности и мощности было выяснено, что происходящее при увеличении вязкости резкое возрастание удельной мощности является, в основном, следствием снижения производительности вакуум-компрессора, что вызвано, в свою очередь, увеличением толщины жидкостного кольца в сечении II-II. Кроме того, было определено, что минимум удельной мощности соответствует максимуму теоретической производительности при всех исследованных параметрах работы РЖВК. Поэтому для повышения эффективности работы РЖВК при использовании различных рабочих жидкостей, прежде всего, была рассмотрена возможность максимального увеличения относительного газового объема ячейки рабочего колеса в сечении II-II, т.е. в момент отсоединения ее от всасывающего окна. С этой целью было проанализировано влияние режима работы и геометрических параметров проточной части вакуум-компрессора на величину погружения концов лопаток рабочего колеса в жидкостное кольцо в сечении II-II:

$$a = r_2 \left[1 - \sqrt{\left(\frac{\beta \cdot r_{11}}{r_1} \right)^2 - \frac{x \cdot \delta}{\psi} + \frac{2 \cdot K_{22} \cdot x}{\psi} \cdot (2\varepsilon + \delta)} \right] \quad (8)$$

Проведенное исследование показало, что основным геометрическим параметром, позволяющим изменять в широких пределах глубину погружения лопаток рабочего колеса, является относительный эксцентриситет.

Для обеспечения устойчивой работы РЖВК с минимальной удельной мощностью и наибольшим коэффициентом откачки величина относительного эксцентриситета должна выбираться, исходя из

условия минимально допустимого погружения лопаток рабочего колеса в жидкостное кольцо в сечении II-II. Погрешности при изготовлении и сборке, а также изменение вязкости рабочей жидкости в жидкостном кольце в процессе работы РЖВК обуславливают необходимость предусматривать некоторую минимальную величину погружения для предотвращения отхода жидкостного кольца от концов лопаток рабочего колеса при изменении режима вакуум-компрессоров. При проектировании РЖВК величину погружения лопаток рабочего колеса в жидкостное кольцо в сечении II-II рекомендуется выбирать по следующей зависимости:

$$\alpha = 0,015 \cdot \tau_2. \quad (9)$$

Исходя из этих положений, предложена методика определения наибольшей теоретической производительности

$$V_m = 0,5 \cdot \omega \cdot [(\tau_2 - \alpha)^2 - \tau_1^2] \cdot \psi \cdot b_0 \quad (10)$$

и соответствующего ей относительного эксцентриситета

$$\varepsilon = \frac{(\tau_2 - \alpha)^2 - \tau_1^2}{4 \cdot K_2 \cdot x \cdot \tau_2^2} \cdot \psi - \frac{2 \cdot K_2 - 1}{4 \cdot K_2} \cdot \delta - \frac{(\tau_1 / \tau_2)^2 - 1}{4 \cdot K_2 \cdot x} \cdot \psi \cdot \eta^2. \quad (11)$$

В диссертации приведены порядок расчета ε и необходимые для этого исходные данные.

Во время теоретического исследования было установлено, что еще одним путем повышения эффективности РЖВК при использовании различных рабочих жидкостей является изменение скорости вращения рабочего колеса. Показано, что при увеличении вязкости рабочей жидкости минимум удельной мощности смещается в сторону более высоких значений окружных скоростей. Предложена методика определения области оптимальных величин окружной скорости на периферии рабочего колеса U_{2opt} для различных режимов работы РЖВК. Получены зависимости U_{2opt} от величины динамической вязкости рабочей жидкости.

В третьей главе приведены цели, программа и методика экспериментальных исследований, даны описания технологических схем работы экспериментальных стандов, основные расчетные зависимости для обработки полученных результатов и оценка погрешностей измеряемых величин.

Программа экспериментального исследования РЖВК включает: — определение откачных и энергетических характеристик во всем диапазоне изменения давления всасывания;

- определение зависимостей температур всасывания и нагнетания, а также температур рабочей жидкости на входе и в жидкостном кольце работающего РЖВК от изменения основных параметров вакуум-компрессора;
- определение характеристик вакуум-компрессора при работе его с различными окружными скоростями вращения рабочего колеса, выходными углами наклона лопаток рабочего колеса, величинами эксцентриситета, рабочими жидкостями с различными свойствами;
- определение зависимостей величин динамической вязкости и плотности от температуры рабочих жидкостей.

В соответствии с целями и программой исследования был создан экспериментальный стенд. В качестве базы для испытаний использовался ротационный жидкостнокольцевой вакуум-компрессор КВН-8. Все испытания проводились в эксгаустерном режиме. Исследовалась работа РЖВК на четырех рабочих жидкостях: вода; трансформаторное масло, ГОСТ 982-68; смесь промышленных масел ИС-12 (веретенное 2) и ИС-45 (машинное С), ГОСТ 1707-51; компрессорное масло 12 (М), ГОСТ 1861-54. Выбранные для исследования жидкости обеспечили изменение динамической вязкости рабочей жидкости от 1 до 120 мПа·с, т.е. практически во всем диапазоне величин, при которых возможна устойчивая работа РЖВК. Влияние величины выходного угла наклона лопаток рабочего колеса исследовалось с помощью четырех сменных рабочих колес с β_2 , равными 90, 135, 150 и 168°. Влияние эксцентриситета определялось с помощью шести сменных корпусов с e , равными 12, 14, 16, 18, 20 и 22 мм. Эксперимент проводился при окружных скоростях на периферии рабочего колеса от 10 до 23 м/с, давлении всасывания от 5 до 80 кПа.

Форма и размеры внутренней поверхности жидкостного кольца определялись визуально через прозрачную торцевую крышу. Для получения четкой и устойчивой картины жидкости этого кольца использовались стробоскопы.

Для получения энергетических и объемных характеристик РЖВК производительность замерялась при помощи диафрагмы, эффективная мощность на валу — мотор-весами, расход рабочей жидкости — объемными счетчиками и ротаметрами, температуры воздуха и рабочей жидкости — термопарами.

Все необходимые измерения были проведены по 4-6 раз каждое при более чем пяти тысячах фиксированных режимах работы экспериментальной установки. Предельные относительные погрешности измеряемых величин не превышали 3-5% с доверительной вероятностью 0,95.

В четвертой главе представлены результаты экспериментального исследования, подтверждающие правомочность основных положений, принятых при разработке методов расчета вязкости в жидкостном кольце работающего РЖВК, коэффициента откачки, величины эксцентриситета и окружной скорости рабочего колеса. Сопоставление расчетных и экспериментальных результатов показало, что их отклонение не превышает 5-7%.

Во время экспериментального исследования был подтвержден вывод, сделанный при теоретическом анализе; увеличение удельной мощности при увеличении вязкости рабочей жидкости η происходит, в первую очередь, за счет резкого падения производительности, а увеличение эффективной мощности оказывает при этом второстепенное влияние. Было также установлено, что увеличение удельной мощности и уменьшение производительности наблюдается при увеличении η для всех исследованных величин относительного эксцентриситета ($\varepsilon = 0,13-0,24$) и выходного угла наклона лопаток рабочего колеса ($\beta_2 = 90-168^\circ$). Эксперимент подтвердил, что это положение справедливо для всех исследованных значений давления всасывания.

Экспериментально установлено, что при постоянных расходе и температуре подаваемой в РЖВК рабочей жидкости основное влияние на изменение динамической вязкости в жидкостном кольце работающего вакуум-компрессора оказывает скорость вращения рабочего колеса. Влияние геометрических параметров проточной части и давления всасывания вакуум-компрессора на порядок меньше.

Экспериментально подтверждено, что минимум удельной мощности и максимум производительности соответствуют минимально допустимым величинам погружения концов лопаток рабочего колеса в жидкостное кольцо в сечении П-П при работе РЖВК во всем исследованном диапазоне величин β_2 , $P_{вс}$, U_2 и η . Показано, что влияние U_2 и $P_{вс}$ на величину погружения a незначительно.

тельно по сравнению с движением других исследованных параметров.

Анализ результатов эксперимента подтвердил справедливость сделанных при теоретическом исследовании выводов о наличии в зоне устойчивой работы РЖВК минимума удельной мощности в зависимости от окружной скорости U_2 . Это положение справедливо для всех исследованных рабочих жидкостей, режимов работы и величин геометрических параметров РЖВК. При увеличении β_2 от I до 80 мПа·с наблюдалось увеличение $U_{2\text{ опт}}$ от 12 до 22 м/с, а величина относительного эксцентриситета не оказывала существенного влияния.

Было подтверждено, что применение в каждом конкретном случае наиболее целесообразного угла наклона лопаток рабочего колеса позволяет добиться повышения коэффициента откачки на 10-30% и, соответственно, уменьшить удельную мощность на 5-20%.

Экспериментальное исследование влияния вязкости рабочей жидкости, режима работы и геометрии проточной части РЖВК на начало срывных режимов показало, что наиболее существенное влияние оказывает вязкость рабочей жидкости. Определить однозначную зависимость окружной скорости $U_{2\text{ мин}}$, соответствующей началу срывных режимов, от величины $P_{\text{вс}}$ не оказалось возможным: так как при всех прочих равных условиях величина $U_{2\text{ мин}}$ получалась различной в зависимости от того, уменьшалось или увеличивалось давление всасывания во время начала срывных режимов.

Обобщение и анализ результатов экспериментального исследования подтвердили, что применение полученных в данной работе методов расчета позволяет создавать новые экономичные конструкции РЖВК, предназначенные для работы на жидкостях с различными свойствами, причем их удельные энергетические и объемные характеристики близки к характеристикам вакуум-компрессоров, работающих на воде. Например, у вакуум-компрессора с параметрами ε , U_2 и β_2 , определенными из предложенной методики расчета, при увеличении динамической вязкости рабочей жидкости от I до 20 мПа·с величину удельной мощности удалось оставить неизменной, а коэффициент откачки даже увеличить на 25%. В то же время РЖВК, рассчитанный по прежним методикам,

в этих условиях давал уменьшение коэффициента откачки более, чем на треть, и рост удельной мощности в три раза, а при дальнейшем увеличении вязкости переставал обеспечивать необходимую степень сжатия.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. На основании проведенных исследований разработан метод расчета РЖВК с учетом свойств рабочей жидкости. Этот метод позволяет выбрать величины относительного эксцентриситета ϵ выходного угла наклона лопаток β_2 и окружной скорости U_2 на периферии рабочего колеса, соответствующие минимальной удельной мощности и наибольшей производительности при заданных основных размерах вакуум-компрессоров.

2. Разработана методика расчета производительности РЖВК с учетом свойств рабочей жидкости, геометрических параметров и режима работы вакуум-компрессора. Рекомендуемая величина погружения лопаток рабочего колеса в жидкостное кольцо в сечении ячейки максимального газового объема $a = 0,015 \cdot z_2$.

3. Разработана методика определения температуры и вязкости рабочей жидкости в жидкостном кольце работающего РЖВК. Установлено, что основное влияние на температуру жидкостного кольца оказывают параметры рабочей жидкости и окружная скорость на периферии рабочего колеса.

4. Теоретически и экспериментально показано, что для различных рабочих жидкостей существуют определенные значения выходного угла наклона лопаток рабочего колеса β_2 , соответствующие минимальной удельной мощности $N_{уд}$ и наибольшему коэффициенту откачки λ . Установлено, что при увеличении вязкости рабочей жидкости угол β_2 следует уменьшать. В частности, для РЖВК с динамической вязкостью рабочей жидкости в жидкостном кольце $\eta \leq 20$ мПа·с минимальная $N_{уд}$ и наибольший коэффициент соответствуют углу $\beta_2 \approx 150^\circ$, а для $\eta > 20$ мПа·с — соответствуют $\beta_2 \approx 135^\circ$.

5. Экспериментально исследовано влияние вязкости рабочей жидкости, режима работы и геометрических параметров на начальные режимы. При изменении динамической вязкости в жидкостном кольце работающего РЖВК от 1 до 80 мПа·с минимально допустимая величина окружной скорости на периферии рабочего

Скорость увеличивается от 10,5 до 16 м/с.

По теме диссертации автором опубликованы следующие работы:

1. Лубенец В.Д., Автономова И.В., Кучеренко В.И. Исследование влияния некоторых конструктивных параметров на величину удельной мощности ротационных жидкостнокольцевых вакуум-компрессоров при работе на вязких рабочих жидкостях - Тезисы докладов / IV Всесоюзная научно-техническая конференция по компрессоростроению, 1974, с.160.
2. Лубенец В.Д., Автономова И.В., Кучеренко В.И. Скорость течения жидкости в безлопаточном пространстве ротационного вакуум-компрессора. - Труды / МВТУ, 1975, №179, с.7-11.
3. Автономова И.В., Кучеренко В.И., Колосова А.И., Щетинина Л.Г. Влияние вязкости рабочей жидкости на производительность и мощность ротационных вакуум-компрессоров. - Труды / МВТУ, 1975, №179, с.11-14.
4. Лубенец В.Д., Автономова И.В., Кучеренко В.И. Исследование влияния некоторых конструктивных параметров на рабочие характеристики ротационных жидкостнокольцевых вакуум-компрессоров (РЖК) при работе на вязких рабочих жидкостях. - Труды / IV Всесоюзная научно-техническая конференция по компрессоростроению, 1976, с.135-138.
5. Кучеренко В.И. Определение величины относительного эксцентриситета ротационных жидкостнокольцевых вакуум-компрессоров при работе с различными рабочими жидкостями. - Тезисы докладов / V Всесоюзная научно-техническая конференция по компрессоростроению, 1978, с.95.
6. Кучеренко В.И. Определение теоретической производительности ротационных жидкостнокольцевых вакуум-компрессоров. - Труды / МВТУ, 1979, №311, с.105-114.
7. Автономова И.В., Кучеренко В.И. Исследование жидкостнокольцевых машин (ЖКМ) при работе с различными уплотняющими жидкостями. - Тезисы докладов (по разделу "Энергомашиностроение") / Всесоюзная научно-техническая конференция, 1980, с.22.