

М 334 292

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р



Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшее
техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

Аспирант ТРУНОВ Георгий Николаевич

ИССЛЕДОВАНИЕ РОТАЦИОННОГО ПЛАСТИНЧАТОГО
МАЛОРАСХОДНОГО ВАКУУМ-НАСОСА БЕЗ СМАЗКИ

(Специальность 05.04.06. - Вакуумная и
компрессорная техника)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва

1978

г
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшее
техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

Аспирант ТРУНОВ Георгий Николаевич

ИССЛЕДОВАНИЕ РОТАЦИОННОГО ПЛАСТИНЧАТОГО
МАЛОРАСХОДНОГО ВАКУУМ-НАСОСА БЕЗ СМАЗКИ

(Специальность 05.04.06. - Вакуумная и
компрессорная техника)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1337292

Трунов Г. Н. Исследование р

Москва

1978

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и
ордена Трудового Красного Знамени высшем
техническом Училище имени Н.Э.Баумана на кафедре
"Компрессорные, вакуумные машины и пневмоагрегаты".

Научный руководитель – кандидат технических наук,
доцент Васильев В.И.

Официальные оппоненты:

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

Ведущее предприятие – указано в решении Ученого
совета.

Защита состоится 23 апреля 1979 г. на засе-
дании специализированного Совета К053.15.07 "Криогенные,
холодильные, гидравлические, вакуумные и компрессорные машины
и аппараты" Московского ордена Ленина 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
высылать по указанному адресу.

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

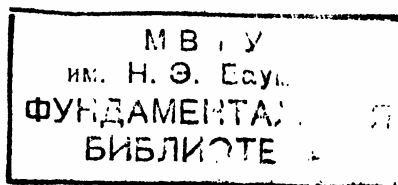
Автореферат разослан 19 марта 1979 г.

Ученый секретарь специализированного

Совета, кандидат технических наук,
доцент.



Козлов В.Н.



В В Е Д Е Н И Е

Актуальность проблемы. Дальнейшее успешное развитие ряда отраслей промышленности, как это предусмотрено решениями XXV съезда КПСС, требует разработки и внедрения еще более совершенных систем откачки, сжатия и перекачки газообразных рабочих сред с эффективными и экономичными вакуумными и компрессорными машинами. Из многих типов вакуумных и компрессорных машин, применяемых в отечественной промышленности, ротационные пластинчатые машины (РПМ), обладая такими достоинствами как быстроходность, хорошая уравновешенность, достаточная простота конструкции и эксплуатации, технологичность в изготовлении, широко используются как в стационарных, так и в передвижных установках технологических процессов различного назначения.

В конструировании РПМ как в СССР, так и за рубежом, преобладают тенденции создания машин с улучшенными технико-экономическими показателями, в первую очередь, в снижении удельной мощности, в результате уменьшения затрат мощности на трение пластин, в разработке и исследовании новых конструкционных материалов, работающих без смазки, в улучшении теплоотвода и снижении уровня эксплуатационного шума.

Известно, что увеличение эффективности работы РПМ без смазки ограничивается, в основном, износом пластин и большими затратами мощности на их трение, достигающими до 30+40% от подводимой мощности.

Удельные затраты мощности на трение особенно сказываются в случае малорасходных РПМ и работающих в качестве вакуумного насоса. Таким образом, создание и исследование РПМ без смазки рабочей полости с целью улучшения ее основных технико-экономических показателей, таких как мощность трения и удельная мощность, при увеличении коэффициента полезного действия (КПД) машины в целом, является актуальной задачей и основным направлением данной работы.



Цель работы. Одним из путей повышения эффективности работы РПМ является снижение мощности трения пластин о цилиндр, увеличение частоты вращения ротора и снижение удельных давлений пластин на цилиндр вследствие введения внешних силовых компенсирующих факторов в РПМ, направленных против действия центробежных сил на пластину.

Поэтому с целью повышения эффективности работы РПМ были поставлены и решались следующие задачи:

1. Обоснование принципиальной возможности уменьшения мощности трения РПМ внешним силовым воздействием на пластины.

2. Теоретическое исследование и анализ влияния внешнего силового воздействия на пластины на рабочий процесс РПМ.

3. Экспериментальное определение объемных и энергетических характеристик опытных макетов РПМ с пластинами, частично разгруженными от силового действия центробежных сил, с регулируемым воздействием пластин на цилиндр.

4. Определение основных конструктивных параметров РПМ с внешним силовым воздействием на пластины и разработка методики расчета такого типа вакуум-насоса.

Методы исследования. В работе использованы методы: теоретического анализа силового воздействия на пластину центробежных и внешних компенсирующих магнитных сил; экспериментального исследования характера течения газа в условиях малых контактных давлений, изменения сил магнитного взаимодействия от конструктивных соотношений размеров пластин, рабочих характеристик созданных макетов малорасходных вакуум-насосов (МРПВН); обобщения результатов, в том числе расчетами на ЭЦМ и сравнения их с экспериментальными данными.

Научная новизна. Доказана целесообразность использования внешних компенсационных сил для снижения мощности трения МРПВН, уменьшения неравномерности прижатия при движении пластин и износа, а также для увеличения скоростного диапазона вращения ротора.

Разработана методика и созданы экспериментальные установки для исследования:

– течения газа через микрощелевые каналы уплотняющих

поверхностей при изменении удельных давлений этих поверхностей;

- компенсационных сил магнитного взаимодействия для разных конструктивных соотношений размеров пластин, применяемых в РПМ;
- энергетических характеристик опытных макетов МРПМН в условиях действия компенсационных сил магнитного взаимодействия на пластины.

Впервые получены экспериментальные данные о удельных и энергетических показателях такого типа машин. Эти результаты позволяют полнее судить о физике процесса внешнего силового воздействия на пластины в РПМ и об условиях оптимальности конструктивных соотношений размеров РПМ при действии компенсационных сил магнитного взаимодействия на пластины в установленном скоростном диапазоне вращения ротора.

Практическая ценность. Созданы опытные конструкции МРПМН с пластинами, частично разгруженными от силового воздействия центробежных сил, мощность трения которых может уменьшаться до 90-95%, по сравнению с условиями отсутствия компенсационных сил, при номинальной частоте вращения ротора и при сохранении неизменным уровня массо-габаритных характеристик обычных конструкций РПМ.

Разработана методика расчета мощности трения пластин в РПМ с учетом влияния компенсационных сил магнитного взаимодействия, которая позволяет определять оптимальные конструктивные соотношения размеров машины на требуемые условия работы и производить теоретический анализ ее рабочих параметров при использовании в других эксплуатационных режимах (различные частоты вращения ротора, конструктивные соотношения размеров пластин и РПМ, условия работы и др.).

Апробация работы. Основные материалы теоретических и экспериментальных исследований по диссертационной работе представлены:

1. В докладе на V Всесоюзную научно-техническую конференцию по компрессоростроению "Повышение эффективности и совершенствование компрессорных машин и установок" М., 1978.

2. На научно-технических семинарах кафедры "Компрессорные, вакуумные машины и пневмоагрегаты", МЭТУ, 1975-76 гг.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано три работы и получено авторское свидетельство на изобретение.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, основных результатов работы и приложения, содержит 110 страниц машинописного текста, 2 таблицы и 55 рисунков и библиографию из 66 наименований.

Содержание работы.

Во введении изложены цели работы, предлагаемые пути исследования и основные практические результаты их реализации.

Первая глава носит обобщающий характер о данных по известным работам и содержит:

- обзор работ, посвященных теоретическому и экспериментальному исследованию РПМ;
- анализ основных научно-исследовательских работ, посвященных изучению течения газа через микрощелевые каналы уплотняющих поверхностей;
- обзор и анализ литературных источников, посвященных физическим устройствам магнитной подвески ферромагнитных тел, применительно к силовой разгрузке пластин в РПМ;
- выводы по состоянию вопроса;
- постановку основных задач исследований.

Анализ теоретических и экспериментальных работ показывает, что основное внимание уделялось изучению рабочего процесса, объемных и энергетических характеристик РПМ большой и средней производительности и обобщены, в основном, в работах авторского коллектива под руководством А.Г.Головинцова, тогда как изучению параметров малорасходных машин посвящены лишь отдельные работы. Большое внимание изучению характеристик малорасходных РПМ (МРПМ) уделяется в работах авторского коллектива под руководством В.Д.Лубенца. Совершенствование конструкции РПМ, направленное на улучшение технико-экономических показателей и, в частности, на уменьшение мощности трения пластин предусматривается применением неметаллических пластин в машинах, разгрузочных колец, вращающихся барабанов, снижением ее при переходе от радиальных пластин к наклонным, уменьшением числа пластин и применением специальных методов их установки и т.д.

Теоретическое и экспериментальное исследование МРПМ показывает, что для них характерны низкие объемно-энергетические параметры и КПД, особенно для МРПМ без смазки рабочей полости.

Работы, посвященные экспериментальному определению коэффициента подачи РПМ, описывают методики разделения потерь газа и процессы течения газа в микрощелевых каналах, характерных для рабочих зазоров машин. Одними из основных путей увеличения коэффициента подачи РПМ явились: введение торцевых шайб на роторе, применение выточки на цилиндре, создание перепуска в вакуум-насосе, применение самодействующего клапана.

Влияние изменения удельного давления двух соприкасающихся поверхностей на переточку газа рассматривался, в основном, в условиях схематичного отображения действительного контакта, больших контактных давлений, условий малоподвижных соединений и ограниченных экспериментальных проверок, мало пригодных при конструировании РПМ.

Использование магнитного силового поля для уменьшения трения движущихся частей известно еще с 1894 года, однако теоретическое обоснование и практическое применение систем магнитной подвески тел началось с получением материалов с высокими магнитными характеристиками. Теоретический анализ наиболее перспективного типа магнитной подвески на постоянных магнитах был проведен Беккерсом (*Buckers F. T.*) для кольцевых взаимодействующих магнитных систем без определения потерь мощности на трение.

Анализ теоретических и экспериментальных работ, направленных на улучшение технико-экономических показателей конструкций РПМ, дал возможность использовать подход, предложенный научным руководителем работы, суть которого заключается в минимизации центробежных сил, действующих на пластину и уменьшение мощности трения пластин, повышение частоты вращения ротора, а также на обоснование конструктивных соотношений размеров РПМ. Анализ конструкций магнитной подвески позволил выявить наиболее перспективные для применения при конструировании РПМ. В технической литературе отсутствуют тео-

ретические исследования и практические рекомендации применения действия внешних силовых компенсационных факторов на пластины и анализ их влияния на удельные энергетические характеристики РПМ, что позволило выявить цель работы и сформулировать задачи исследования.

Вторая глава посвящена теоретическому исследованию влияния на рабочий процесс РПМ внешнего силового воздействия на пластины и содержит:

- теоретическое разделение мощности и потерь мощности на трение в РПМ;
- анализ внешнего силового воздействия на пластины на мощность трения РПМ;
- влияние конструктивных соотношений размеров РПМ на силовое действие магнитного поля пластин против центробежных сил;
- динамику движения пластин в условиях, приводящих к возникновению отрыва пластин от стенок цилиндра РПМ.

Были рассмотрены три основных варианта приложения компенсационных сил, а именно:

- 1) противодействующая сила направлена к центру цилиндра, постоянна или меняется по известному закону;
- 2) противодействующая сила направлена к центру цилиндра и вызывает соответствующий момент на пластине;
- 3) противодействующая сила направлена к центру ротора и приложена к концу пластины.

Все факторы, влияющие на мощность трения пластин, условно были разделены на геометрические и силовые. На основании ряда допущений были получены зависимости приведенной мощности трения пластин по цилиндру и в пазу ротора, которые имеют вид:

Мощность трения в пазу

$$N_{\text{тр в п}} = \frac{N_t}{Z \cdot M_t \cdot e \cdot \omega / 2\pi} \equiv T \quad (I)$$

Мощность трения по цилиндру:

$$N_{\text{тр}} = \frac{N_2}{Z \cdot M_2 \cdot R \cdot \omega / 2\pi} = T \quad (2)$$

Решение уравнений (1) и (2) определялось по площади Ω под соответствующими кривыми, которая характеризовала приведенную мощность трения пластин от действия геометрических и силовых факторов в РПМ. Интеграл T равен:

$$T = \int_0^{2\pi} B \cdot F_z \cdot d\varphi = \Omega \alpha_\varphi \cdot \alpha_F \quad (3)$$

где: α_φ, α_F - масштабы по соответствующим осям;
 B - геометрические соотношения интеграла T .

Общая суммарная сила $F_z = F - F_{np} \cdot C_1$ была определена из уравнений статики и условий расположения пластины в пазу ротора РПМ, а коэффициент C_1 - из вариантов приложения внешних компенсационных сил.

Учет действия внешних компенсационных сил магнитного взаимодействия пластин с магнитной системой на цилиндре (варианты 1,2) или в роторе (вариант 3) был проведен при помощи решений уравнения Лапласа для магнитного потенциала плоских взаимодействующих постоянных магнитов при допущении, что область этого взаимодействия ограничена толщиной одной из пластин. Результаты решения были выражены через безразмерные коэффициенты компенсации, которые характеризовали силовое действие магнитного поля на пластину в зависимости от ее размеров.

$$K_0 = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= \frac{[1 - \exp(-\frac{2\pi h}{\ell})]^2}{h/h_0} \\ K_2 &= \frac{b_2}{\ell} \left[\frac{1 - \exp(-\frac{2\pi b_2}{\ell})}{b_2/b_0} \right] \\ K_3 &= \exp(-\frac{2\pi \delta}{\ell}) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где: $h; \ell; \delta_2; h_0; \delta_0$ - размеры пластины при текущем и максимальных значениях компенсационной силы;
 δ - зазор между пластиной и магнитной системой.

$$K_0 = \frac{F_{np}/F_m}{m/m_0} = \frac{\omega^2 R}{\omega_0^2 R_0} \quad (6)$$

где: $F_{np}/m = K$ - текущее значение компенсации центробежных сил, действующих на пластину массой m ;

F_m - наибольшая сила магнитного взаимодействия между пластиной массой m и магнитной системой.

Результаты теоретического анализа представлены зависимостями коэффициентов компенсации $K_0; K_1; K_2; K_3$ в функции от угловой скорости вращения ротора и его радиуса для примененного магнитного материала ЗБА.

Установлены соотношения размеров пластин РПМ ($h/\ell = 0,2$, $\ell/\ell = 0,05+0,1$), при которых коэффициент компенсации возрастает в 2+3 раза, по сравнению со значениями коэффициента при общепринятых соотношениях размеров, что приводит:

а) к возможности увеличения диапазона угловых скоростей вращения ротора в 1,6+ 2,2 раза при тех же значениях рабочих параметров и мощности трения пластин в РПМ;

б) к определению основных размеров РПМ через известные конструктивные соотношения.

Изучение динамики движения пластин в условиях, близких к возникновению их отрыва от стенок цилиндра РПМ, привели к получению расчетных соотношений необходимого зазора δ между пластиной и магнитной системой, при условии минимальной мощности трения, уменьшенной неравномерности прижатия при движении пластин и непрерывного их контакта с цилиндром.

Были выделены следующие характерные условия воздействия компенсационных противодействующих сил:

1. Компенсация силовой неравномерности движения пластин ($F_z = \text{const}$);

2. Компенсация геометрической неравномерности движения пластин ($T = \text{const}$);

3. Полная компенсация силового воздействия пластины на цилиндр ($F_z = 0$);

Из анализа динамики движения пластин при условии полной компенсации силового воздействия пластины на цилиндр была определена граница сохранения безотрывного движения пластин по цилиндру при минимальной мощности трения в РПМ.

Критический зазор δ для данного условия равен

$$\delta_{\text{крит}} = -\frac{\ell}{2\pi} \left[\ell_n C_2 \left(\frac{2\bar{\lambda} \cos \varphi}{\sqrt{1 - \bar{\lambda}^2 \sin^2 \varphi}} + 1 - \frac{h}{2R\sqrt{1 - \bar{\lambda}^2 \sin^2 \varphi}} + \frac{\bar{\lambda}^2 \cos 2\varphi}{1 - \bar{\lambda}^2 \sin^2 \varphi} \right) \right] \quad (7)$$

где: C_2 — постоянная безразмерная величина для заданной угловой скорости вращения ротора и конструктивных соотношений размеров РПМ.

В третьей главе представлены результаты экспериментального исследования МРПВН и их анализ. Она содержит:

- программу и методику проведения экспериментальных исследований;
- описание работы экспериментальных стендов и измерительной аппаратуры;
- определение влияния удельного давления соприкасающихся поверхностей на величину протечки газа через микрощелевые каналы;
- исследование взаимосвязи конструктивных соотношений размеров пластин с степенью разгрузки от силового действия центробежных сил;
- влияние степени силовой компенсации центробежных сил на энергетические характеристики МРПВН;
- экспериментальную проверку условий возникновения отрыва пластин от стенок цилиндра МРПВН;
- обработку результатов экспериментальных исследований и оценку погрешности основных величин.

Программа проведения экспериментальных исследований предусматривала определение расхода газа и внешних компенсационных магнитных сил на макетах уплотнения пластина-цилиндр при заданных размерах пластин и перепадах давлений воздуха на уплотнении, а также получение объемно-энергетических характе-

ристик опытных макетов МРПВН и сравнение их с характеристиками машины Черкесского завода холодильного машиностроения (ЧЗХМ). В результате анализа различных экспериментальных методов испытания МРПВН был выбран метод бесконтактного замера крутящего момента на валу и частоты вращения ротора опытного исследуемого макета по импульсам ЭДС в магнитных головках. Эти импульсы возникают при прохождении мимо зазора головки постоянным магнитом, связанным с валом РПМ, причем, наибольшая ошибка измерения достигала $\pm 3\%$, с достоверной вероятностью $\alpha = 0,98$.

Основным узлом макета уплотнения пластина-цилиндр являлась загерметизированная кольцевая насадка, установленная на плите, выполненная по размерам пластин опытного макета МРПВН. Исследовались шесть типоразмеров уплотнений с чистотой поверхности $R_a = 2,5$ и $R_a = 0,63$ при удельных контактных давлениях на уплотнение $Q = 0,01 \div 0,8$ МПа. При этом давление внутри кольцевой насадки было ниже атмосферного и уменьшалось от 1,5 до 30 раз.

Для данных границ уменьшения удельных давлений пластина-цилиндр была получена эмпирическая зависимость протечки воздуха через соприкасающиеся поверхности

$$V_{прив} = V_0 \cdot Q^{-m} \quad (8)$$

где: V_0 - условный расход среды при $Q = 1$;
 m - постоянная величина для данного состояния поверхности материала и перепада давлений среды на уплотнении.

По приведенному расходу воздуха (расходу на единицу длины и ширины пластин) был рассчитан на ЭЦМ коэффициент m , который для данного диапазона удельных давлений и перепада давления воздуха на уплотнении изменялся в пределах от $m = 0,05 \div 0,11$.

Было установлено, что с уменьшением удельного давления на уплотнение от $Q = 0,8$ МПа до $Q = 0,01$ МПа происходит увеличение протечки воздуха до 20%, при среднем рассчитанном коэффициенте m и соответствующем перепаде давления воз-

духа. При сохранении непрерывного контакта пластина-цилиндр это приводит к уменьшению действительной объемной производительности опытного макета МРПВН всего на 1+2%, ввиду того, что основная доля перетеканий приходится на бесконтактные торцевые зазоры машины.

Исследование взаимосвязи конструктивных соотношений размеров пластин со степенью разгрузки от центробежных сил проводилось на экспериментальном стенде, основным узлом которого являлся макет уплотнения пластина-цилиндр из магнитного материала ЗБА. Определение коэффициентов подъемной силы K_1, K_2, K_3 проводился как для рекомендуемых в литературе соотношений размеров пластин РПМ $b/l = 0,003+0,02$; $h/l = 0,07+0,2$, так и для соотношений, обеспечивающих наилучшие значения этих коэффициентов.

Было установлено, что выполнение соотношений размеров пластин РПМ ($h/l = 0,2$; $b/l = 0,05+0,1$) по сравнению с общепринятыми дает возможность при сохранении величин удельных давлений, обеспечивающих минимальную расчетную мощность трения пластин увеличивать коэффициент подъемной силы K_0 в 2+3 раза, что расширяет скоростной диапазон частоты вращения ротора в 1,6+2,1 раза.

Исследование влияния степени силовой компенсации на энергетические характеристики вакуум-насоса проводилось на опытном макете МРПВН и модернизированной машине ЧЗХМ. Компенсация центробежных сил в МРПВН осуществлялась в соответствии с теоретическими вариантами 1,2, а в модернизированной машине ЧЗХМ — по варианту 3.

Сегментная магнитная система опытного макета МРПВН, расположенная на цилиндре, давала возможность регулировать величину силовой компенсации центробежных сил вплоть до возникновения отрыва пластин от стенок цилиндра, а также проверять данные условия возникновения отрыва пластин. Магнитная система и пластины опытных макетов были изготовлены из магнитного материала ЗБА, причем магнитная система опытного макета ЧЗХМ была установлена в роторе.

Техническая характеристика МРПВН:

Радиус цилиндра	$R = 13,25 \text{ мм};$
Радиус ротора	$z = 12,15 \text{ мм};$
Эксцентриситет	$e = 1,1 \text{ мм};$
Размеры пластин:	
длина	$\ell = 69 \text{ мм};$
толщина	$\delta = 2,1 \text{ мм};$
высота	$h = 7 \text{ мм}.$
Число пластин	$Z = 4;$
Теоретическая производительность (описанный объем)	$V_h = 12,64 \text{ л/мин};$
Номинальная частота вращения ротора	$n = 1000 \text{ об/мин}.$
Пластин	- радиальные.

Конструкция опытного макета МРПВН оригинальна и защищена авторским свидетельством Комитета по делам изобретений и открытий.

Экспериментальный стенд для исследования рабочего процесса малорасходных вакуум-насосов без смазки позволял определять коэффициенты трения примененных материалов, объемные и энергетические характеристики МРПВН в широком диапазоне изменения частоты вращения ротора ($n = 0+6000 \text{ об/мин.}$). Рабочее давление во всасывающей полости определялось по U-образному дифманометру и образцовому вакуумметру, а при изучении условий возникновения отрыва пластин - по сигналам с датчика ДМИ-0,3 с усилителем ИД-2И. Регистрация сигналов с датчика давления, перемещения кольцевых сегментных магнитов и тока двигателя осуществлялась на ленте осциллографа НН7. Действительная производительность РПМ определялась при помощи гравиметрического счетчика ГСБ-400. Было установлено, что силовая компенсация центробежных сил силами магнитного взаимодействия снижает мощность трения пластин до 90+95% при номинальных окружных скоростях вращения ротора и данной конструкции магнитной системы. Изменение механического КПД для опытных макетов РПМ составило от 18 до 40%, а адиабатического КПД - от 6 до 48% в зависимости от рабочего давления всасывания и частоты вращения ротора; при этом изменение удельной мощно-

сти составляло от 16 до 47% (при сохранении равномерного контакта пластины с цилиндром машины).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Спроектированы и созданы опытные макеты малорасходных РПН без смазки с пластинами, частично разгруженными от силового воздействия центробежных сил и изменяемой степенью прижатия к цилиндру.

2. Созданы экспериментальные стенды, позволяющие определять:

а) объемные и энергетические характеристики малорасходных вакуум-насосов в широком диапазоне изменения окружных скоростей вращения ротора, числа пластин, массы пластин и рабочих давлений;

б) расход воздуха через микрощелевые каналы в условиях изменения удельных контактных давлений и перепадов давлений воздуха соприкасающихся поверхностей;

в) компенсационные силы магнитного взаимодействия при изменении конструктивных размеров пластины и рабочего зазора взаимодействующих поверхностей.

3. Теоретически обосновано и исследовано влияние внешнего силового воздействия на пластины на рабочий процесс РПМ:

а) определено, что уменьшение мощности трения пластин и увеличение равномерности прижатия при их движении зависит от соотношения суммарной силы F и противодействующей силы $F_{пр}$, действующих вдоль пластины;

б) предложены расчетные зависимости мощности трения РПМ при силовой разгрузке пластин;

в) рекомендованы конструктивные параметры размеров пластин РПМ ($h/l = 0,2$; $b/l = 0,05-0,1$), позволяющие применять компенсацию центробежных сил на более высоких окружных скоростях вращения ротора (в 1,6-2,1 раза) и определять основные конструктивные соотношения размеров РПМ;

г) установлены условия возникновения отрыва пластин от стенок цилиндра РПМ и определена расчетная величина зазора $\delta_{крит}$ при сохранении равномерного контакта пластин с цилиндром по углу поворота ротора.

4. Исследован диапазон уменьшения удельного контактного давления соприкасающихся поверхностей в пределах ($p = 0,8 + 0,01$ МПа, для которого предложена эмпирическая зависимость протекания воздуха через микрощелевые каналы этих поверхностей и определен коэффициент m для этой зависимости ($m = 0,05 + 0,11$).

5. Проведено экспериментальное исследование опытных макетов МРПВН с изменяемой степенью разгрузки пластин от центробежных сил и подтверждены практические рекомендации по выбору основных конструктивных параметров РПМ, что позволило получить:

а) уменьшение мощности трения пластин в 20 и более раз, по сравнению с отсутствием компенсации в данном диапазоне окружных скоростей вращения ротора ($V_{\text{окр}} < 10$ м/с);

б) увеличение механического КПД на 15+42%, адиабатического КПД на 6+48%, в зависимости от давления всасывания МРПВН и частоты вращения ротора;

в) уменьшение удельной мощности, в среднем, на 16+47%.

6. На основании проведенных исследований разработана конструкция РПМ с пластинами, частично разгруженными от силового воздействия центробежных сил (авторское свидетельство № 584095) и методика расчета такого типа вакуум-насоса, что позволяет рекомендовать РПМ данного типа для вакуумных установок различного целевого назначения.

По теме диссертации опубликован:

1. Васильев В.И., Трунов Г.Н., К вопросу определения механических потерь от трения пластин по цилиндру в ротационных вакуум-компрессорах, РБ ВИНТИ, "Технол. машиностр." № 11, 1977.
2. Васильев В.И., Трунов Г.Н., Веденин В.А. Определение механических потерь в пазах ротора в ротационных вакуум-компрессорах, Труды МВТУ № 269, изд-во МВТУ, М., 1978.
3. Волчков А.Н., Трунов Г.Н., Веденин В.А., Шорников В.М., Ротационный пластинчатый вакуум-компрессор, а.с. № 584095, 1977.
4. Трунов Г.Н., Васильев В.И. Исследование ротационных пластинчатых микро-вакуум-компрессоров без смазки. Тезисы докладов У Всесоюзной НТК по компрессоростроению, М., 1978.

Л-79756 Подп. к печ. Л.С. 797 Заказ 461 Объем 1 л. Тираж 100 экз.
Типография МВТУ 107005, Москва Б-5, 2-я Бауманская, д.5