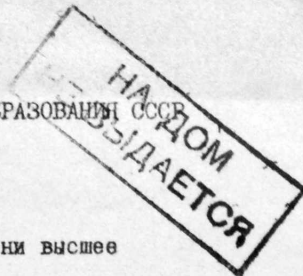


М 334484

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР



Московское

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

На правах рукописи

Стукалов Валентин Васильевич

ИССЛЕДОВАНИЕ РОТАЦИОННОГО ПЛАСТИНЧАТОГО

БЕЗМАСЛЯНОГО МАЛОРАСХОДНОГО ВАКУУМ-НАСОСА.

(Специальность 05.04.06 - Вакуумная техника)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук.

Москва

1978г.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Московское

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

На правах рукописи

Стукалов Валентин Васильевич

ИССЛЕДОВАНИЕ РОТАЦИОННОГО ПЛАСТИНЧАТОГО

БЕЗМАСЛЯНОГО МАЛОРАСХОДНОГО ВАКУУМ-НАСОСА.

(Специальность 05.04.06 - Вакуумная техника)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук.

Москва

1978г.

М334984ф
НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1334984

Стукалов В. В. Исследование

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и
ордена Трудового Красного Знамени высшем
техническом училище имени Н.Э. Баумана.

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

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Суслов А.Д.;
кандидат технических наук Караганов Л.Т.

Ведущее предприятие Черкесский завод холодильного
машиностроения (ЧЗХМ).

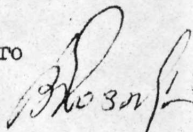
Защита состоится "20" ноября 1978г. на
заседании специализированного Совета по гидравлическим, хо-
лодильным, криогенным и вакуумным машинам и аппаратам Мос-
ковского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшего технического училища имени Н.Э. Баумана по адресу:
107005, г.Москва, 2-ая Бауманская ул., дом 5.

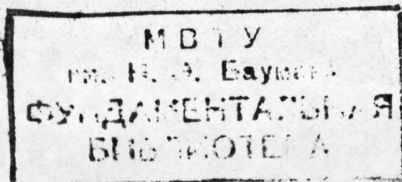
Ваши отзывы в 2-ух экземплярах, заверенных печатью,
просьба высылать по указанному адресу.

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

Автореферат разослан "13" октября 1978г.

Ученый секретарь специализированного
Совета, кандидат технических наук

 Козлов В.Н. /



Актуальность проблемы. При проведении некоторых технологических процессов необходимо осуществлять откачку газа из объемов порядка нескольких десятков литров, для чего используются так называемые малорасходные вакуум-насосы. В некоторых случаях попадание масла в откачиваемый объем или перекачиваемый газ недопустимо и рабочую полость вакуум-насоса приходится выполнять безмасляной.

Известно, что для вышеназванных целей достаточно перспективной является ротационная пластинчатая машина (РПМ), имеющая по сравнению с другими типами вакуум-компрессоров объемного типа ряд преимуществ. По сравнению с поршневой РПМ более уравновешена и быстроходна, по сравнению с машинами типа Руте и ВНЧС обладает более экономичным процессом сжатия, а по сравнению с винтовой — более проста и технологична в изготовлении.

Основными недостатками РПМ являются высокий уровень внутренних перетечек и значительная величина потерь трения, что существенно ухудшает объемные и энергетические характеристики, особенно у малорасходных безмасляных ротационных пластинчатых вакуум-насосов (РПМВ).

Так как в соответствии с решениями XXV съезда КПСС в настоящее время достаточно большое внимание уделяется повышению качества и улучшению потребительских свойств всех видов продукции и изделий машиностроения, то проведение исследований, направленных на улучшение объемных и энергетических характеристик безмасляных малорасходных РПМВ является актуальным.

Цель работы. Повышение эффективности малорасходных безмасляных РПМВ.

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

Научная новизна. Разработана методика исследования рабочего процесса малорасходного безмасляного РПМВ с внутренним перепуском, позволяющая на основании экспериментального измерения внешних проявлений рабочего процесса анализировать характер протекания процессов перепуска газа в работающем вакуум-насосе, а также исследовать влияние ряда конструктивных параметров рабочей полости на объемные и энергетические

характеристики вакуум-насоса.

Практическая ценность. Доказана теоретически и подтверждена экспериментально эффективность (с точки зрения улучшения объемных характеристик) внутреннего перепуска в малорасходных безмасляных РПМВ. Разработана математическая модель рабочего процесса малорасходного безмасляного РПМВ, а также методики: экспериментального измерения малых (до $1,5 \cdot 10^{-2}$ н.м) моментов на валу вакуум-насоса и индцирования процесса сжатия малорасходных РПМ при высокой (до 100 Гц) частоте вращения ротора. Предложены аналитические зависимости для определения критического отношения давления при течении газа по щелям с характерными для малорасходных РПМВ размерами.

Апробация работы. Материалы исследования доложены на Всесоюзном семинаре по компрессорным и вакуумным машинам, конференциях молодых ученых и специалистов факультета Энергомашиностроения МВТУ им. Н.Э.Баумана, V Всесоюзной конференции по компрессоростроению, заседаниях кафедры "Компрессорные и вакуумные машины и пневмоагрегаты" (3-5) МВТУ им. Н.Э.Баумана.

Объем работы. Диссертация изложена на 102 страницах машинописного текста, включающих введение, четыре главы и основные результаты работы. Содержит 2 таблицы и 98 рисунков; библиография включает 70 наименований.

В первой главе проведен обзор и анализ патентной информации по конструкции малорасходных РПМ, научно-исследовательских работ, посвященных исследованию РПМ и методам их расчета, а также результатов исследования процесса течения газа по микрощелевым каналам при малых *Re*. Анализ патентной информации позволил выявить достаточно перспективный тип безмасляного малорасходного РПМВ — с самодействующим нагнетательным клапаном. Анализ работ, посвященных исследованию РПМ, показал, что определенное улучшение объемных характеристик в вакуум-насосах достигается при осуществлении перепуска газа из защемленных на нагнетании и всасывании и перевальной объемов по каналам, расположенным в торцевых крышках рабочей камеры или вне рабочей полости/Мышляев Л.В./. Однако в малорасходных РПМВ (мРПМВ) данные способы перепуска оказались малоэффективными. Качественный анализ протекания рабочего процесса РПМВ с самодействующим нагнетательным клапаном показал, что в данном варианте конструкции более эффективным (особенно для двух-

пластинчатых РПМ, обладающих максимальным механическим КПД) является внутренний перепуск, осуществляемый при помощи каналов, расположенных на поверхности цилиндра (рис.1). При этом для максимального увеличения эффективности перепуска размер перепускных окон (C) необходимо выбирать вполне определенным образом, что иллюстрируется рис.2. Однако работ, посвященных исследованию рабочего процесса мРПМВ с внутренним перепуском, обнаружено не было. Дальнейший анализ характерных для безмасляных малорасходных РПМВ особенностей протекания рабочего процесса, а также возможностей техники эксперимента по регистрации быстропеременных давлений показал, что применение для рассматриваемого типа вакуум-насосов известных методик исследования рабочего процесса /Ардашев В.И./ и анализа составляющих потерь объемной производительности /Дубенец В.Д./ связано с определенными практическими трудностями при теоретическом анализе и экспериментальном исследовании.

Все вышесказанное определило основные задачи, поставленные и решавшиеся в данной работе.

1. Разработка методики теоретического исследования рабочего процесса малорасходного безмасляного РПМВ с внутренним перепуском.
2. Разработка методики экспериментального исследования рабочего процесса малорасходного безмасляного РПМВ с внутренним перепуском.
3. Практическая проверка разработанной методики и получение с ее помощью практических рекомендаций по выбору геометрических размеров перепускных окон.

Во второй главе проведен теоретический анализ рабочего процесса малорасходного безмасляного РПМВ с внутренним перепуском. С учетом практических трудностей экспериментального исследования рабочего процесса мРПМВ, в качестве основного средства анализа был выбран метод математического моделирования. Понятие математической модели, использовавшееся в данной работе, соответствует предложенному ранее Пластининым П.И. и Твалчрелидзе А.К.. С точки зрения принципа построения с выбранным средством исследования наиболее естественным образом сочетается методика исследования потерь объемной производительности роторных вакуум-насосов, предложенная ранее Дубенцом В.Д.. Последняя допускает определенный произвол в сте-

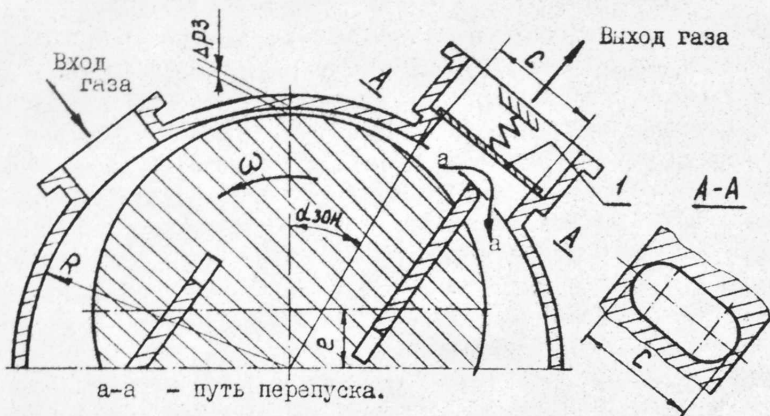


Рис.1. Внутренний перепуск в РПМ с самодействующим нагнетательным клапаном (поз.1).

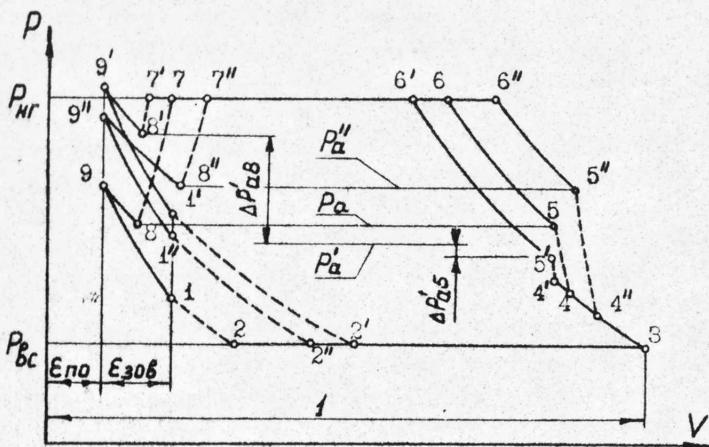
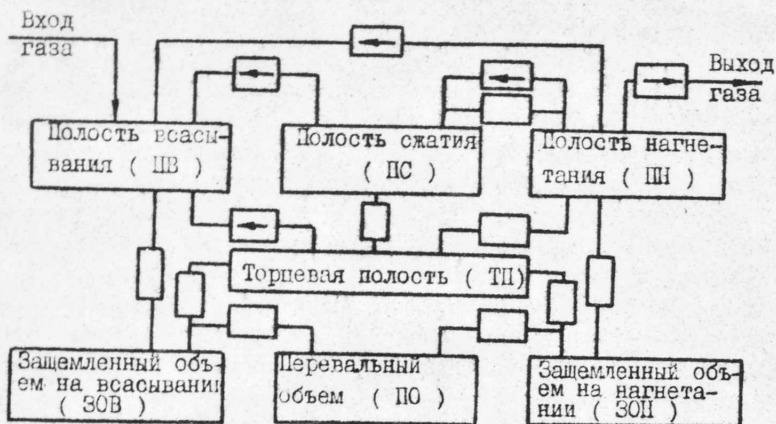


Рис.2. Влияние размера на потери объемной производительности от обратного расширения в РПМ с внутренним перепуском.

1-2-3-4-5-6-7-8-9-1 перепуск полный $C = C_0$;
 1'-2'-3'-4'-5'-6'-7'-8'-9'-1' перепуск неполный $C < C_0$, $\Delta P_a'$ - неполнота смещения при перепуске;
 1''-2''-3''-4''-5''-6''-7''-8''-9''-1'' перепуск полный $C > C_0$.

пени детализации описания отдельных составляющих рабочего процесса РПМ с последующим нахождением параметров принятых расчетных схем по определенной совокупности внешних проявлений рабочего процесса, что особенно удобно при исследовании малорасходных РПМ. Таким образом, теоретическая часть данной работы включала выбор определенных способов описания элементов рабочего процесса с учетом взаимосвязей, существующих между упомянутыми элементами. Исходя из выбранного принципа построения методики исследования, необходимые при проведении теоретического анализа рабочего процесса термическое и калорическое уравнения состояния газа в полостях считались совпадающими с соответствующими равновесными соотношениями. Разгон и торможение газа при течении по зазорам рабочей полости считались мгновенными и локализованными на геометрической границе полостей и зазоров. Внешний теплообмен описывался как некоторая интегральная характеристика процесса в полости. Вышеперечисленные предположения в сочетании с некоторыми условиями при определении геометрических границ ряда полостей позволили представить структурную схему рабочей полости РПМ в виде, изображенном на рис.3.

При теоретическом исследовании оказалось целесообразным процесс расширения газа в защемленном на всасывании объеме и всасывания объединить в один процесс и анализировать его при помощи известного метода термодинамики стационарных потоков /Трайбус М./. Вследствие использования равновесных уравнений состояния объектом теоретического анализа являлась рабочая полость схематизированной РПМ. Процессы изменения состояния газа в реальной РПМ эквивалентны изменению состояния газа в схематизированной РПМ в том случае, если изменение давления в реальном неравновесном процессе совпадает с изменением давления в условном равновесном процессе (эквивалентность с точки зрения работы внешних источников). При этом, в случае выполнения баланса полной энергии величина теплообмена становится условной, а температура (также условная) имеет следующий физический смысл: изменение условной температуры в эквивалентном равновесном процессе совпадает с изменением температуры в реальном процессе после осуществления полного адиабатического торможения газа (при этом изменится и фактическое приращение давления) и дополнительного теплообмена с



- перетечки, учитываемые в явном виде (описание процесса течения газа);
 - перетечки, учитываемые в неявном виде (описание процесса в полостях).

Рис.3. Структурная схема рабочей полости РГМ.

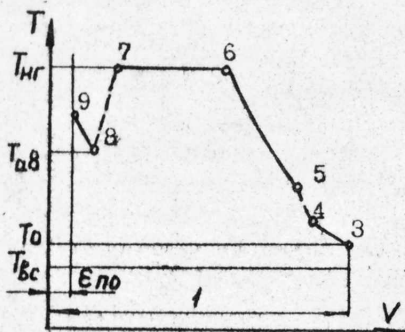


Рис.4. Вид условной температурной диаграммы РГМ, получающейся в результате расчета по предлагаемой математической модели рабочего процесса.

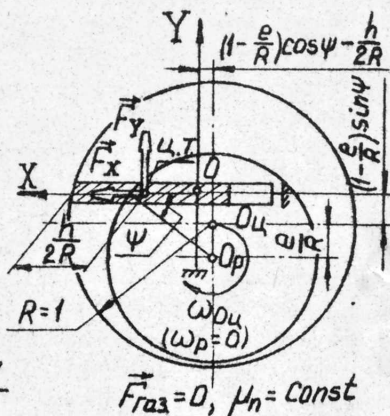


Рис.5. Расчетная схема определения времени восстановления контакта пластины с поверхностью цилиндра.

внешними источниками до совпадения изменения давления в реальном и эквивалентном процессах. Полученные в результате преобразований исходных уравнений баланса массы и энергии соотношения использовались в качестве описания процесса расширения газа из перевального объема и всасывания. Необходимо для дальнейшего анализа изменения параметров газа в полостях, взаимодействующих с полостью всасывания, описывались при помощи показателя условной политропы n , который считался постоянным и одинаковым для всех процессов, кроме смешения и вытеснения, и условной величины теплообмена, задаваемой в виде:

$$\dot{Q} = q \cdot \dot{P} \cdot V.$$

Величина q считалась постоянной и одинаковой для всех процессов, кроме смешения. Величина n определялась при помощи схематизированной индикаторной диаграммы (при заданной степени неполноты перепуска $\frac{P_{ав}}{P_{нг}}$) из условия совпадения значений индикаторной мощности схематизированной и реальной РИМ. Величина q определялась (при заданных n и $\frac{P_{ав}}{P_{нг}}$) из соотношения, выражающего баланс энергии для рабочей полости РИМ в целом. При таком способе описания рабочего процесса величины n , $\frac{P_{ав}}{P_{нг}}$, q являются взаимосвязанными и их совокупность необходимо находить расчетом при помощи математической модели по известной совокупности внешних проявлений рабочего процесса $V_e, L_{унд}, T_{нг}$. Температуры $T_0, T_{ав}$ при этом являются подгоночными параметрами математической модели. Примерный вид получающейся условной температурной диаграммы представлен на рис. 4.

Попытки реализации разработанной математической модели показали, что основные затраты машинного времени связаны с необходимостью в процессе счета проводить расчет перетечек газа по зазорам рабочей полости. В известных методиках расчета расхода газа по щелям /Богачева А.В./ используется метод последовательных приближений (в основном при определении критического отношения давлений), в результате чего существенно снижается практическая ценность разработанной методики исследования.

С целью получения конечных соотношений для нахождения критического отношения давлений было проведено теоретическое исследование процесса течения газа по каналам малой высоты при малых числах Re . При этом в качестве начального приближе-

ния использовалось гидродинамическое описание ($M=0$) процесса течения вязкой жидкости для соответствующих форм каналов (плоская щель постоянной и переменной высоты, кольцевая щель постоянной высоты). Малые поправки к первому приближению, обусловленные сжимаемостью среды, находились при помощи вариационных методов анализа открытых термодинамических систем в стационарных состояниях /Шехтер Р./. В результате получены аналитические зависимости для нахождения критического перепада давлений.

$$\beta_{кр} = \begin{cases} \frac{0,768}{\sqrt{C}} & \text{при } \sqrt{C} > 1,45 \\ 0,528 & \text{при } \sqrt{C} < 1,45 \end{cases}$$

где $\sqrt{C} = \left(\frac{M}{Re}\right)_{kr} \left(\frac{\rho}{\Delta}\right)_{kr} \Psi \left[1 - Q \left(\left(\frac{\rho}{\Delta}\right)_{kr}^{0,43}\right)\right]$.

Сопоставление результатов расчета $\beta_{кр}$ численными методами /Погорелов В.Н., Зотов Н.М./ с результатами расчета по предлагаемым формулам показало практическую пригодность последних в рамках данной методики исследования рабочего процесса.

В третьей главе приложено описание методики экспериментального исследования рабочего процесса малорасходного РПМВ, включавшей переработанные для этого типа РПМВ методики индцирования процесса сжатия, измерения эффективной мощности и установившихся давлений, расходов и температур. Кроме того, был проведен необходимый анализ статической инструментальной и динамической погрешностей измерений. На основании анализа был выбран способ измерения $L_{инд}$, позволяющий определить данную величину с известной степенью достоверности. Для оценки $L_{инд}$ снизу использовались результаты непосредственного индцирования процесса сжатия газа в рабочей полости вакуум-насоса с соответствующим выбором способа привязки линии сжатия к углу поворота ротора. Оценка $L_{инд}$ сверху определялась косвенным методом из анализа составляющих эффективной мощности. Температура нагнетания и действительная производительность определялись в основном стандартными способами. Программа экспериментов для данных давлений нагнетания и всасывания включала:

1. Индцирование процесса сжатия.
2. Измерение эффективной мощности на валу вакуум-насоса при отвакуумированной до давления $\leq 0,5$ мм рт.ст. рабочей полости ($N_{гр\tau}$).
3. Измерение эффективной мощности на валу вакуум-насоса N_e .

4. Измерение установившихся давлений, расходов и температур за пределами рабочей полости.

Обработка результатов измерения состояла в:

- а) определении наименьшего значения $L_{\text{инд}}^{\text{нм}}$ по данным индирования;
- б) вычислении по измеренным $N_{\text{тр}}$ коэффициентов трения, нахождению с помощью последних $N_{\text{тр}}$ и определения с использованием N_e значения $L_{\text{инд}}^{\text{нб}}$;
- в) нахождении $\frac{T_{\text{нг}}}{T_{\text{бс}}}$ и λ по данным первичных замеров.

В процессе разработки методики экспериментального исследования рабочего процесса были практически опробованы:

1. Методика регистрации линии сжатия газа в рабочей полости двухпластинчатых РПМВ при частоте вращения ротора до 100 Гц при помощи серийно выпускаемых датчиков типа ДМИ.
 2. Методика измерения эффективной мощности на валу вакуум-насоса с неопределенностью единичного замера $\pm 1,5$ Вт.
- Проведен анализ динамических погрешностей измерения.

В четвертой главе проведена проверка практической пригодности разработанной методики для исследования рабочего процесса малорасходных РПМВ и проведено исследование процесса перепуска на работающем вакуум-насосе. На основании проведенного исследования получены практические рекомендации по выбору конструктивных параметров перепускных окон.

В качестве объекта исследования использовался спроектированный и изготовленный опытный образец РПМ с водяным охлаждением и самодействующим нагнетательным клапаном так называемого "лепесткового" типа. Привод РПМ осуществлялся герметичным электродвигателем с магнитной муфтой. Основные конструктивные размеры вакуум-насоса были определены известными методами из условия минимальности отношения эффективной мощности к геометрической производительности при заданной максимальной мощности. Из расчета для $Z = 2$ и $f = 100$ Гц было получено

$R = 13,5$ мм, $\frac{E}{R} = 0,178$, $\frac{h}{2R} = 0,519$, $\frac{p}{R} = 6,0$, $\psi = +32^\circ$.

В процессе конструкторско-двигочных испытаний приемлемые (с точки зрения ресурса) результаты были получены лишь для текстолитовых пластин в сочетании с консистентной смазкой ВНИИНП-248, подаваемой в рабочую полость в небольших количествах.

(2,5 мг/час). При этом через 15±20 часов эксплуатации наблюдались нарушения нормальной работы вакуум-насоса, выражавшие-

ся в резком (в 2 раза и более) уменьшении действительной производительности и предельного вакуума. Проведенный в соответствии с расчетной схемой, изображенной на рис.5, анализ динамики пластины показал, что при определенных конструктивных соотношениях рабочей полости движение пластины после прохождения области наибольшего сближения ротора и цилиндра становится неустойчивым и возможен отрыв пластины от поверхности цилиндра. Было получено соотношение между конструктивными параметрами вакуум-насоса:

$$\frac{h}{2R} \leq (1 - \frac{e}{R})(\cos \psi - \mu_n \sin \psi) - \frac{e}{R} \frac{1}{\cos \psi},$$

где μ_n — коэффициент трения пластины в пазу ротора.

При выполнении этого соотношения отрыв пластины от поверхности цилиндра не происходит. В соответствии с результатами анализа угол наклона пластины ψ был уменьшен до $+28^\circ$, а значение отношения $\frac{h}{2R}$ до 0,481. После внесения вышеуказанных изменений РПМВ имел стабильные объемные и энергетические характеристики и использовался в качестве основного объекта эксперимента.

Сопоставление зависимости коэффициента подачи λ данной конструкции без перепуска (при снятом клапане) с известными характеристиками близкой по конструктивным параметрам I-ой ступени безмасляного вакуум-насоса ВМ-4 (разработанного на кафедре "Компрессорные и вакуумные машины и пневмоагрегаты" МВТУ им. Н.Э.Баумана) показало, что влияние подаваемой в рабочую полость смазки на характер протекания рабочего процесса незначительно.

По экспериментально определенной совокупности $V_e(\tau)$, $L_{инд}(\tau)$, $T_{нг}(\tau)$ для данной конструкции были найдены зависимости $\eta(\tau)$, $\varphi(\tau)$, $\frac{P_{аб}}{P_{нг}}(\tau)$, $\frac{T_{аб}}{T_{нг}}(\tau)$, $\frac{T_g}{T_{гс}}(\tau)$, представленные на рис.7а. Анализ полученной при расчете условной температурной диаграммы показал, что степень повышения температуры газа в процессе сжатия в данной конструкции значительно меньше, чем у РПМВ средней производительности и величина монтажных торцевых зазоров может быть уменьшена. Проверка пригодности разработанной методики для исследования рабочего процесса мРПМВ проводилась следующим образом. В конструкцию вносились определенные изменения, после чего результаты расчета изменения зависимости $\lambda(\tau)$ сопоставлялись с экспериментом. Представленные на рис.6 результаты свидетельствуют о пригодности разра-

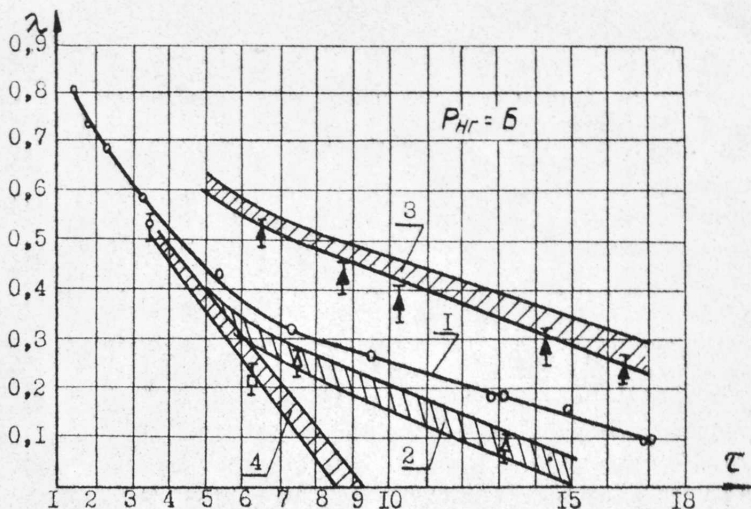


Рис.6. Проверка практической пригодности разработанной методики исследования рабочего процесса.

1. Зависимость $\lambda(\tau)$ модификации МРГМВ, использовавшейся для нахождения совокупности условных параметров математической модели.
2. Расчетный и экспериментальный эффект от разгерметизации Т.П.
3. Расчетный и экспериментальный эффект от уменьшения торцевого зазора.
4. Расчетный и экспериментальный эффект от исключения перепуска (без клапана).

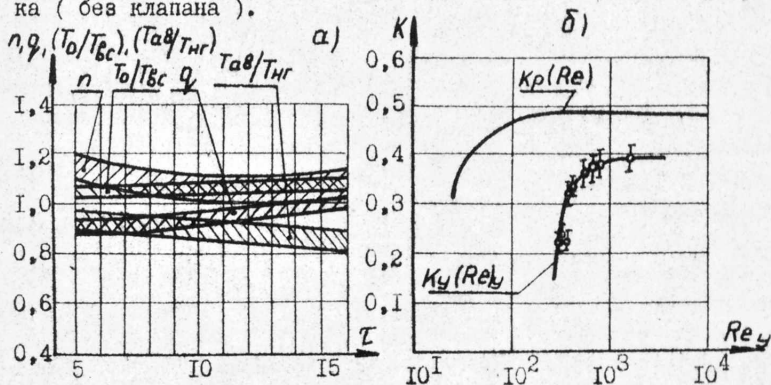


Рис.7. Совокупность условных параметров математической модели рабочего процесса (а) и сопоставление найденной с их помощью зависимости $K_\gamma(Re_\gamma)$ с полученной ранее /Альтшуль А.Д., Киселев П.Т./ зависимостью $K_p(Re)$ (б).

ботанной методики для исследования рабочего процесса МРПМВ.

Исследование процесса перепуска осуществлялось следующим образом. В качестве описания процесса был выбран упрощенный вариант расчетной схемы, использовавшийся ранее при исследовании перепуска в поршневых вакуум-насосах /Лубенец В.Д., Пластинин П.И., Григоров В.П./ . Дополнительные упрощения состояли в том, что объемы полостей, между которыми происходит перепуск, считались постоянными (в расчетах использовались средние по времени значения), а истечение газа независимо от перепада давлений считалось критическим. При помощи предлагаемой методики была найдена зависимость условного коэффициента расхода перепускных окон K_y от числа Re_y , определяемого по размеру C (рис. I). Сопоставление полученной зависимости $K_y(Re_y)$ с данными статических продувок диафрагм /Альтшуль А.Д., Киселев П.Г./ представлено на рис. 76. Изменение числа Re_y достигается за счет изменения давления нагнетания вакуум-насоса.

Теоретический анализ характера протекания процесса перепуска, проведенный при помощи полученной зависимости $K_y(Re_y)$ показал, что для обеспечения максимальной объемной производительности исследовавшегося варианта конструкции значение C необходимо выбирать из условия $(\frac{C}{R})_0 = 0,30 + 0,35$. Проведенная далее оценка изменения значения $(\frac{C}{R})_0$ при вариациях параметров n, q и зазоров рабочей полости показала, что перечисленные величины при работе МРПМВ в эксгаустерном режиме влияют в основном на величину λ , а значение $(\frac{C}{R})_0$ при их изменении меняется незначительно. Анализ влияния неустановившегося характера истечения на величину $(\frac{C}{R})_0$ показал, что полученные рекомендации по выбору $(\frac{C}{R})_0$ пригодны для МРПМВ, работающих в эксгаустерном режиме и имеющих большие, чем у исследованной конструкции, значения радиуса цилиндра и меньшие значения частоты вращения ротора.

Для окончательного выбора положения кромок перепускных окон была проведена теоретическая оценка влияния положения задней по ходу пластины кромки перепускного окна α_{30H} , (рис. I) на величину перетечек по зазору между ротором и цилиндром. Проведенный анализ показал, что величину α_{30H} целесообразно выбрать по соотношению

$$\alpha_{30H} = \sqrt{2 \frac{\Delta p_3}{\rho}}.$$

Практическая реализация полученных рекомендаций на усовершенствованном опытном образце позволила увеличить значение λ в характерном для вакуум-насосов диапазоне значений (от 0,5 до 0,2) на 25%, а величину максимальной степени повышения давления в 1,4 раза. Расчеты показали, что лишь 10% эффекта обусловлены уменьшением величины монтажного торцевого зазора, осуществленным в данном образце МРПМВ, из-за отмечавшегося выше уменьшения степени подогрева газа в процессе сжатия. При этом существенно отметить, что для увеличения степени достоверности полученного эффекта в опытном образце с выбранными соответствующим образом размерами перепускных окон и уменьшенным торцевым зазором величины прочих зазоров рабочей полости и перевального объема были выполнены в 1,5 раза большими, чем в первоначальном варианте конструкции.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ.

1. Теоретически обоснована и практически проверена эффективность внутреннего перепуска в РПМВ с самодействующим нагнетательным клапаном. В процессе исследований установлено, что осуществление внутреннего перепуска позволяет увеличить величину максимальной степени повышения давления более, чем в 3 раза.

2. Разработана и практически проверена методика исследования рабочего процесса малорасходного безмасляного РПМВ с внутренним перепуском, при помощи которой проведено исследование процесса перепуска на работающем вакуум-насосе и получены практические рекомендации по выбору конструктивных параметров перепускных окон.

3. Разработана математическая модель рабочего процесса, позволяющая проводить качественный анализ влияния ряда конструктивных параметров на объемные и энергетические характеристики малорасходных безмасляных РПМВ.

В процессе теоретического исследования получены аналитические зависимости для определения критического перепада давлений в микрощелевых каналах, позволяющие существенно уменьшить затраты машинного времени при проведении расчетов на ЭЦВМ.

4. Проведенный теоретический анализ динамики пластины по-

зволил создать обладающий стабильными характеристиками опитный образец малорасходного РПМВ с максимальной действительной производительностью 120 л/мин, создающий максимальное разрежение не более 30 мм рт.ст. при давлении нагнетания 730 ± 760 мм рт.ст. Величина эффективной мощности не превосходит 170 Вт.

5. В процессе экспериментального исследования разработаны и практически проверены методика индицирования линии сжатия в двухпластинчатых малорасходных РПМВ при частоте вращения ротора до 100 Гц при помощи стандартных датчиков типа ДМИ и методика измерения малых значений эффективной мощности с неопределенностью единичного замера не более $\pm 1,5$ Вт.

6. Разработаны опитные образцы малорасходного РПМВ, которые в течение ряда лет эксплуатируются в промышленности. Полученные при их исследовании результаты использованы при проектировании усовершенствованного образца.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Лубенец В.Д., Волчков А.Н., Стукалов В.В. Расчет коэффициента откачки ротационного вакуум-насоса, работающего без смазки. Труды МВТУ № 179, Москва, 1975 год.
2. Лубенец В.Д., Волчков А.Н., Стукалов В.В. Динамика пластины ротационной машины. Труды МВТУ № 179, Москва, 1975 год.
3. Лубенец В.Д., Волчков А.Н., Стукалов В.В. Исследование трения пластин вакуум-компрессора. Труды МВТУ № 179. Москва, 1975 год.

Л-72132 Подп. к печ. 19.09.78 г. Заказ 1147 Объем 1 п. л. Тираж 100 экз.
Ротапринт МВТУ 107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская, д.5.