

М 428758

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 ДОМ
НЕ ВДАЕТСЯ

На правах рукописи

КОНСТАНТИНОВ ВИТАЛИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ

УДК 621.512.002.237

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ
КАЧЕСТВА ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Специальность 08.00.20 - "Стандартизация и
управление качеством продукции"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации за соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1985

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана.

Научный руководитель: кандидат технических наук,
доцент Виноградов А.Н.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Пластикин П.И.
кандидат технических наук,
доцент Аристов А.И.

Ведущая организация: Московское производственное
объединение "Борец"

Защита состоится "_____" 1985 г. в ____ час.
на заседании специализированного Совета К 053.15.16 в Московском
высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005,
г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им.

экземпляре, заверенный по
у адресу.

1985 г.

 Садовская Т.Г.

М 428758

00 экз. Объем I п.л.
-я Бауманская, 5.

Актуальность проблемы. Большое значение в решениях XXII съезда КПСС придается дальнейшему улучшению качества и эффективности энергетических установок, используемых в промышленности, строительстве, транспорте и энергетике.

Возрастание передаваемых мощностей и напряжений при существенном росте материальных затрат на обслуживание энергообъектов обуславливает возрастающее применение высоковольтных аппаратов с газовой изоляцией, которые должны отличаться высокой надежностью, экономичностью и простотой эксплуатации. Использование же современных высоковольтных аппаратов приводит к необходимости широкого применения для их нормального функционирования поршневых компрессорных машин. Однако выпускаемые отечественной промышленностью поршневые компрессоры в настоящее время по ряду единичных показателей пока имеют более низкие показатели качества по сравнению с лучшими образцами, выпускаемыми за рубежом и, следовательно, не всегда удовлетворяют растущим требованиям энергетики.

Основным направлением диссертации, выполненной в соответствии с тематическими заданиями Министерства энергетики и электрификации СССР № 31.287 по "Разработке, освоению и внедрению в опытную эксплуатацию токопровода 220 кВ с элегазовой изоляцией" и № 31.289 по "Освоению и внедрению I-ой промышленной ячейки КРУ 110 кВ с элегазовой изоляцией и технологического оборудования", является повышение основных показателей качества поршневых компрессоров вакуумно-компрессорных установок.

Целью работы является повышение качества поршневых компрессоров комплектов распределительных устройств.

Методы исследований. Теоретические исследования выполнялись на основании теории вероятностей и математической статистики, теории термодинамики с переменной массой, теории упругости с использованием операционного исчисления. Экспериментальные исследования проводились на стенде СКТБ ВКТ. Измерения точностных геометрических параметров деталей компрессора, эксплуатационных показателей и других параметров проводились с использованием современной измерительной техники.

I

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1428758

Константинов В.Е. Разработк

МВТУ

ИЗМ. Р. Е. Д. Д. Д.

БИБЛИОТЕКА

Научная новизна. Исследованы и разработаны методы и средства повышения качества поршневых компрессоров. Исследовано влияние погрешностей изготовления и сборки основных деталей на производительность, коэффициент подачи и средний ресурс поршневого компрессора.

Разработаны методы расчета проходных сечений в поршневом уплотнении, коэффициентов герметичности и подачи с учетом конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов.

Разработана математическая модель, позволяющая определить поле рассеяния эксплуатационных показателей компрессора в зависимости от отклонений силовых и геометрических факторов.

Разработаны методики экспериментальных исследований по определению отклонений формы зеркал цилиндров, по измерению напряженного состояния блока цилиндров, температурных полей деталей компрессора, утечек газа из рабочего объема, расхода и концентрации масла в газе.

Для решения системы уравнений, полученных автором, разработана программа для ЭВМ ЕС-1020.

Практическая ценность работы и ее реализация. На основании исследований разработаны рекомендации по повышению качества поршневых компрессоров вакуумно-компрессорных установок, включающие методику расчета точностных параметров основных деталей с учетом технологических погрешностей изготовления и сборки, а также силовых и температурных деформаций.

Внедрение указанных рекомендаций на НПО "ЭЛЕКТРОАППАРАТ" (Миньэлектротехпром СССР) и СКБ ВКТ (Миньэнерго СССР) позволило уменьшить величину рассеяния коэффициента подачи компрессора на 1,4 % и повысить его средний ресурс на 10 %.

На НПО "ЭЛЕКТРОАППАРАТ" и СКБ ВКТ внедрена методика и измерительная система с электромагнитными преобразователями для определения отклонений формы зеркал цилиндров. Разработанная измерительная система позволяет не только контролировать процесс сборки, но и определять предельные состояния основных деталей и узлов. Экономический эффект от внедрения результатов исследований составит около 41.461 руб. в год.

Апробация работы. Основные материалы диссертационной работы докладывались на Всесоюзной научно-технической конференции по совершенствованию процессов финишной обработки в машиностроении (г. Минск, 1975 г.), на III Всесоюзной конференции

"Электромагнитные методы контроля качества изделий" (г. Куйбышев, 1978 г.), на У Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции "Научные основы автоматизации производственных процессов и управления качеством в машиностроении и приборостроении" (г. Москва, 1979 г.), на областном семинаре "Прогрессивные технологические методы механообработки и сборки" (г. Пенза, 1982 г.), на научном семинаре кафедры "Метрология и взаимосвязанность" МВТУ им. Н.Э. Баумана (г. Москва, 1982 г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 8 статьях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Диссертация содержит 130 страниц машинописного текста, 55 рисунков, 8 приложений, список использованной литературы из 108 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В I главе дается характеристика поршневых компрессоров типа ГСВ-0,6/12 (ГОСТ 14.104-69), применяемых для обслуживания высоковольтных аппаратов, анализ литературных и производственных данных по повышению качества изделий машиностроения и формулируются основные задачи исследования.

Как известно, под управлением качеством продукции (ГОСТ 15467-79) понимаются "действия, осуществляемые при создании и эксплуатации или потреблении продукции, в целях установления, обеспечения и поддержания необходимого уровня ее качества". С технической точки зрения "обеспечение и поддержание необходимого уровня" возможно лишь при раскрытии всех закономерностей, которые формируют качество изделий на всех стадиях его жизненного цикла. Основные теоретические положения и практические рекомендации по управлению качеством в машиностроении, разработанные советскими учеными Бруевичем Н.Г., Бородачевым Н.А., Бойцовым В.В., Дуниным-Барковским И.В., Гавриловым А.Н., Кутасом А.К., Якушевым А.И. и др., направлены на создание оптимальных соотношений между различными показателями качества изделий с целью получения максимального экономического эффекта от их эксплуатации и потребления.

Основными показателями качества поршневых компрессоров высоковольтных комплектов распределительных устройств являются

ся надежность, эффективность (производительность или коэффициент подачи), энергоёмкость (потребляемая мощность) и др. Указанные показатели качества в значительной мере зависят от научно-обоснованного нормирования точности деталей и узлов при проектировании, обеспечения ее на стадии производства с учетом реальных условий эксплуатации. Наибольшее влияние на показатели качества оказывают такие геометрические параметры, как линейное мертвое пространство, зазоры в сопряжениях поршневое кольцо-цилиндр ступеней высокого и низкого давлений и др., так как они определяют утечки газа через уплотнения и, следовательно, производительность поршневых компрессоров. Поэтому одной из главных задач при проектировании является рациональное назначение номинальных размеров и допусков на эти параметры, необходимых для компенсации неизбежных погрешностей изготовления и сборки деталей компрессоров, а также температурных и силовых деформаций.

Анализ работ Бруевича Н.Г., Бородачева Н.А., Гаврилова А.Н., Кутай А.И., Дунина-Барковского И.В., Якушова А.И. и других авторов по теории точности и обеспечению взаимозаменяемости показал, что указанная задача может быть решена путем всестороннего и комплексного рассмотрения всех факторов, влияющих на основные показатели качества изделий машиностроения и установления зависимостей между ними.

В работах Адлера Ю.П., Колесова И.М., Кубарева А.И. рассматриваются математические модели, с хорошей адекватностью описывающие формирование качества при наличии детерминированных и стохастических связей между показателями качества и точностными параметрами изделия. Однако, для установления зависимостей между показателями качества и точностью геометрических параметров поршневых компрессоров они не могут быть использованы, так как не учитывают силовые и температурные деформации деталей.

В энергомашиностроении вопросы влияния зазоров на утечки газа через уплотнения и производительность изучались в работах Гинцбурга Б.Я., Былика Ш.М., Захаренко С.Е., Энглина К., Кириллова И.И., Орлина А.С., Цоя И.М., Анисимова С.А. и др. Полученные ими уравнения в большинстве случаев дают хорошие решения, но для описания действительного процесса истечения газа в компрессоре с учетом влияния погрешностей изготовления и

сборки деталей они также не могут быть использованы.

Наряду с исследованием взаимосвязей показателей качества с геометрическими параметрами деталей одной из основных задач является дальнейшая разработка методов расчета оптимальной точности деталей и узлов компрессора.

При разработке точностных требований необходимо учитывать, что размеры, форма и взаимное расположение осей и поверхностей деталей компрессора могут изменяться в результате силовых и температурных деформаций как при сборке, так и при эксплуатации. В деталях и узлах возникают сложно-деформированные состояния, при которых распределение напряжений и деформаций становится неравномерным. Деформации, в свою очередь, вызывают изменение размеров гильз цилиндров и отклонение их от правильной геометрической формы. Согласно исследованиям Якушева А.И., Билика Ш.М., Трухина А.Х. и др. ученым установлено, что отклонения от правильной формы деталей и их шероховатость являются основными источниками повышенного расхода смазки, вибраций, шума и т.д. Для компрессоров это обуславливает повышенный износ ответственных деталей, снижение производительности, к.п.д. и преждевременные отказы.

Таким образом, для повышения качества поршневых компрессоров высоковольтных распределительных устройств необходимо разработать такие методы, которые позволили бы рационально назначать точность изготовления и сборки с целью получения заданных требований по показателям надежности, эффективности, энергоёмкости и др.

На основании вышеизложенного в настоящей работе ставятся следующие задачи исследований:

1. Разработать методы повышения качества поршневых компрессоров до уровня требований, предъявляемых высоковольтными комплектными распределительными устройствами.
2. Исследовать влияние ликойного мертвого пространства и зазоров в сопряжении поршневое кольцо-цилиндр на основные показатели поршневых компрессоров.
3. Исследовать влияние технологических погрешностей изготовления и сборки деталей на основные показатели качества поршневых компрессоров.
4. Разработать измерительную систему и методику измерений для оценки изменения размеров и формы деталей и сопряжений при

сборке и эксплуатации поршневых компрессоров.

5. Исследовать напряжения и деформации втулок блока цилиндров при сборке и эксплуатации поршневых компрессоров.

6. Разработать расчетную модель по назначению оптимальной точности сопряжений, исходя из заданных требований к основным показателям качества поршневых компрессоров.

7. Разработать и внедрить рекомендации по оптимальной точности к основным показателям качества поршневых компрессоров.

Во второй главе приводятся результаты теоретических исследований по влиянию технологических погрешностей изготовления и сборки, температурных и силовых деформаций на основные показатели качества поршневых компрессоров.

В общем виде зависимость эффективности G поршневого компрессора от указанных факторов может быть выражена следующим уравнением:

$$G = G \left\{ \dots f^{(p)} [S_1(z_{11}, z_2), S_2(z_{12}, z_2)] \dots \right\}, \quad (1)$$

где S_1 и S_2 - зазоры в сопряжениях зеркало цилиндра-поршневое кольцо соответственно в ступенях низкого и высокого давлений; z_{11} , z_{12} - значения толщины цилиндров соответственно ступени низкого и высокого давлений; z_2 - момент затяжки шпилек.

Используя уравнение для определения производительности поршневого компрессора и выделяя приращения площадей проходных сечений (зазоров) $f^{(p)}$, окончательно получим:

$$G = G_{уг} \cdot \lambda' \cdot \lambda_o \cdot \lambda_r, \quad (2)$$

где $G_{уг}$ - теоретическая производительность; $\lambda' = \lambda_{гр} \cdot \lambda_w \cdot \lambda_v$, $\lambda_{гр}$ - коэффициент дросселирования, λ_w - коэффициент подогрева, λ_v - коэффициент влажности; λ_o - объемный коэффициент; λ_r - коэффициент герметичности,

$$\lambda_r = 1 - \frac{1}{G_{уг}} \cdot \left[\sum_{p=1}^2 K_{\lambda}^{(p)} \sum_{i=1}^5 K_{ij} (0.5 \cdot S^{(p)} \cdot S_{\kappa}^{(p)} + f^{(p)}) z_i^{(p)} \right], \quad (3)$$

$K_{\lambda}^{(p)}$ - коэффициенты, учитывающие действительные условия истечения; K_{ij} - коэффициенты, учитывающие неравномерность движения поршня; $S^{(p)}$ - зазор в сопряжении поршень-цилиндр; $S_{\kappa}^{(p)}$ - зазор в замке поршневого кольца; $f^{(p)}$ - приращение площади проходно-

го сечения; $J_c^{(P)}$ — утечки газа на отдельном участке рабочего цикла компрессора.

Исследование влияния площади проходного сечения в сопряжении поршневое кольцо—зеркало цилиндра поршневого уплотнения на производительность и коэффициент подачи проводилось с учетом переменности термодинамических параметров сжимаемого газа и неравномерности движения поршня. При этом в качестве исходной зависимости было использовано уравнение баланса удельной энергии в дифференциальной форме для установившегося потока газа при изотермическом истечении. Вследствие конструктивных особенностей, а также неизбежных погрешностей изготовления и сборки, температурных и силовых деформаций деталей в узлах компрессора был принят ряд допущений и произведена оценка важности ряда членов исходного уравнения. Расчет проводился для докритического и критического истечения газа через поршневое уплотнение, при этом утечки газа через уплотнение определялись интегрированием на каждом отдельном участке цикла.

Влияние изменения первоначальной формы цилиндра на величину зазора в сопряжении зеркало цилиндра—поршневое кольцо оценивалось приращением площади проходного сечения $f_c^{(P)}$ по длине уплотнительного тракта. Величина изменения формы цилиндра определялась из условия равновесия его кольцевых сечений при моделировании нагружения сосредоточенными силами и моментами:

$$\begin{aligned} \frac{dV_{xi}}{d\varphi} + V_{xi} + z \cdot f_{1xi} \left(1 + \frac{f_{2xi}}{f_{1xi}}\right) &= 0; \\ \frac{dV_{zi}}{d\varphi} - V_{zi} + z \cdot f_{1zi} \left(1 + \frac{f_{2zi}}{f_{1zi}}\right) &= 0; \\ \frac{dl_{\varphi i}}{d\varphi} + z \cdot V_{xi} &= 0, \end{aligned} \quad (4)$$

где V_{xi} — перерезывающая, а V_{zi} — растягивающая силы; $l_{\varphi i}$ — изгибающий момент в "i" сечении; f_{1xi} , f_{2xi} , f_{1zi} , f_{2zi} — проекции на подвижные оси внешней нагрузки в "i" сечении, относенные к единице длины радиуса цилиндра z .

Используя теорию операционного исчисления, была решена система линейных дифференциальных уравнений (4), описывающая деформированное состояние отдельного кольцевого сечения цилиндра:

$$u_i(\varphi) = 1,8 \cdot 10^{-5} (\ell_{0\varphi i} + 0,05 \cdot \sigma_{0\varphi i}) (1 - \cos \varphi) + 4,46 \cdot 10^{-7} [\sigma_{0\varphi i} (\varphi \cdot \cos \varphi - \sin \varphi) - \sigma_{0\varphi i} \cdot \varphi \cdot \sin \varphi] + u_i^0; \quad (5)$$

$$u_i^0 = 4,46 \cdot 10^{-7} \sum_{j=1}^{S-1} \{ (f_{j12i} + f_{j22i}) [\sin(\varphi - \varphi_j) - (\varphi - \varphi_j) \cdot \cos(\varphi - \varphi_j)] - [2 - 40 \cdot \cos(\varphi - \varphi_j) \cdot m_{j4i}] \}; \quad \varphi_{S-1} \leq \varphi_j \leq \varphi_S; \quad S = 2, 3, \dots, 9,$$

где $u_i(\varphi)$ — перемещение элемента кольца в "i" сечении; u_i^0 — перемещение в начальной точке "i" сечения; $\ell_{0\varphi i}$ — изгибающий момент, $\sigma_{0\varphi i}$ — перерезывающая сила, $\sigma_{0\varphi i}$ — растягивающая сила в начальной точке "i" сечения; f_{j12i} и f_{j22i} , m_{j4i} — соответствующие нагрузки от силовых и температурных деформаций, приведенные к радиусу цилиндра; φ_j — точки приложения внешних нагрузок к образующей цилиндра.

На основании решения (5) системы дифференциальных уравнений получены аналитические выражения для определения деформаций цилиндров под действием температурных и силовых напряжений и изменения, в связи с этим, величин зазоров в сопряжении зеркало цилиндра-поршневое кольцо.

Уравнение, определяющее изменение производительности (или коэффициента подачи) в зависимости от величин зазоров в сопряжении зеркало цилиндра-поршневое кольцо было получено с учетом суммарной утечки газа в картер, наличия мертвых пространств, потерь давления на всасывании, подогрева газа на всасывании и влажности газа:

$$G = G_{\text{уг}} \cdot \lambda' \cdot \lambda_0 \left[1 - \frac{1}{G_{\text{уг}}} \sum_{k=1}^2 K_1^{(k)} \cdot \sum_{i=1}^6 K_{i2} (0,5 \cdot S^{(k)} \cdot S_K^{(k)} + f''^{(k)}) J_i^{(k)} \right] \quad (6)$$

где $J_i^{(k)}$ — утечки газа на отдельном участке рабочего цикла компрессора,

$$J_i^{(k)} = \int_{\alpha_k}^{\alpha_{k+1}} G_{\text{квт}} \cdot d\alpha_k,$$

$G_{\text{квт}}$ — утечки газа в единицу времени.

Это уравнение (6) позволяет разработать расчетную модель по назначению оптимальной точности сопряжений, исходя из заданных требований к основным показателям качества поршневых

компрессоров.

В третьей главе приводятся результаты экспериментальных исследований по влиянию технологических погрешностей изготовления и сборки, температурных и силовых деформаций деталей на основные показатели качества поршневых компрессоров.

Для решения поставленной задачи были проведены экспериментальные исследования по определению фактической точности размеров и формы изготавливаемых на производстве деталей, изменение этой точности при сборке и эксплуатации из-за температурных и силовых воздействий и, вследствие этого, изменения величины зазоров в сопряжении поршневого кольцо-зеркало цилиндра.

Исследования фактической точности изготовления деталей поршневого уплотнения ступени низкого и высокого давления позволили установить, что действительные величины рассеяния большинства размеров и формы находятся в пределах поля допуска.

Для определения величин изменений первоначальной точности размеров и формы деталей при сборке автором была разработана измерительная система с электромагнитными преобразователями с погрешностью измерения не более 3,5 мкм. Методика исследований предусматривала изучение влияния неравномерности усилий затяжки резьбовых сопряжений при сборке и разностенности на величину деформаций цилиндров. Цилиндры высокого и низкого давления несколько раз последовательно растачивались в пределах их допуска, что дало возможность исследовать влияние усилий и неравномерности затяжки на размеры и форму цилиндров в зависимости от их диаметров. Блок цилиндров нагружался произвольным и тарированным моментом от 30 до 60 Нм, при этом каждое измерение повторялось не менее 25 раз. В результате экспериментальных исследований было установлено, что форма круговой образующей в зависимости от усилий затяжки изменяется от четырехвершинной огранки в верхней части до эллипса в нижней части цилиндра, причем с повышением нагрузки огранка и эллипсность увеличиваются.

Неравномерная затяжка шпилек приводит к увеличению погрешностей формы цилиндров на 25 - 30 % по сравнению с равномерной в исследуемом диапазоне нагрузок.

Уменьшение толщины стенки цилиндра в пределах его допус-

ка вызывает увеличение погрешностей формы на 29 - 33 % при одних и тех же усилиях затяжки. Было также установлено, что колебание усилия затяжки шпилек в пределах 30 - 40 % от их номинального (среднего значения) приводит к появлению погрешностей формы, достигающих 40 % от допуска на диаметр цилиндра. Все эти факторы оказывают непосредственное влияние на величину и форму зазоров в сопряжении поршневое кольцо-зеркало цилиндра и, следовательно, на основные показатели качества поршневых компрессоров.

На конфигурацию и величину зазоров в сопряжении поршневое кольцо-зеркало цилиндра также оказывают влияние силовые и температурные деформации деталей при эксплуатации компрессора. Для расчета влияния указанных факторов было проведено термо и тензометрирование основных деталей компрессора.

Распределение температурных полей подвижных деталей компрессора определялось по методике института Атомной энергии им. И.В.Курчатова АН СССР с использованием алмазных индикаторов максимальных температур (ИМТК), а неподвижных-хромель-копелевыми и хромель-алюмелевыми термопарами в 9-м сечениях по продольной и в 8-м сечениях по круговой образующим цилиндров.

Напряженное состояние сечений блока цилиндров определялось в статике тензометрированием. Для этого использовались тензорезисторы на бумажной основе. Тензорезисторы наклеивались на поверхность зеркала цилиндров в 9-ь ярусов.

На основании полученных экспериментальных зависимостей были определены деформации деталей при сборке, а также температурные и силовые деформации, возникающие при эксплуатации компрессоров.

Определение эмпирических коэффициентов в уравнении (6) проводилось путем экспериментальных исследований компрессора. Аппаратура и приборы, установленные на стенде, позволяли определять производительность, расход смазки, величину утечек газа в картер, температуру и давление газа по ступеньки, температуру и давление масла, деформации деталей компрессора, а также изменение величины зазоров в основных сопряжениях компрессора.

Экспериментальные исследования проводились при различных моментах затяжки шпилек в диапазоне от 30 до 60 Нм при равно-

мерной затяжке шпилек моментным ключом.

В результате исследований было установлено, что значение коэффициента K_1 изменяется от величины усилия затяжки в исследуемом диапазоне от 0,110 до 0,106. Коэффициент K_2 в зависимости от тех же факторов принимает значения в диапазоне 0,827-0,809.

Четвертая глава посвящена разработке методов повышения качества поршневых компрессоров и внедрению в промышленность результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Теоретические исследования, изложенные в главе 2, позволили разработать расчетную математическую модель по управлению качеством поршневых компрессоров в процессе проектирования и эксплуатации. Было показано, что при одной и той же конструктивной схеме имеется возможность обеспечения требуемого качества за счет рационального назначения точности изготовления и сборки деталей поршневых компрессоров с учетом температурных и силовых деформаций.

Расчет точности геометрических параметров деталей проводился известным методом определения предельных погрешностей. Разлагая функцию расчетной модели (6) в ряд Тейлора и пренебрегая членами второго порядка малости были получены зависимости эффективности (производительности) от погрешностей изготовления и сборки, температурных и силовых деформаций деталей компрессора.

Указанные зависимости позволяют на стадии проектирования назначать рациональную точность размеров и формы деталей поршневых компрессоров, исходя из требуемых показателей качества, что значительно сокращает сроки проектных работ.

На основании теоретических и экспериментальных исследований были разработаны рекомендации по повышению качества поршневых компрессоров высоковольтных комплектных распределительных устройств. В частности, для уменьшения деформаций цилиндров допуски на габаритные размеры блока цилиндров ступеней высокого и низкого давления рекомендовано назначать не по третьему классу, как это принято на предприятии-изготовителе, а по второму классу точности по ГОСТ 1855-55. Этой же цели служат рекомендации, направленные на введение контроля разностенности блока цилиндров стенкомерами с индикаторными головками типа СМТ - 30 по ГОСТ 11951-66, а также контроля

равномерности усилий затяжки шпилек резьбовых соединений крышки блока цилиндров с применением тарированного моментного ключа по ГОСТ 7668-54. Рекомендовано момент затяжки шпилек ограничить величиной 50 Нм.

Точность формы и шероховатость поверхности цилиндров необходимо ограничить следующими значениями:

- отклонение от круглости цилиндра ступени низкого давления не более 15 мкм, что составляет 25 % от поля допуска;
- отклонение от круглости цилиндра ступени высокого давления не более 10 мкм, что составляет 30 % от поля допуска.

Шероховатость поверхностей цилиндров обеих ступеней должна соответствовать $R_a \leq 0,2$ мкм.

Рекомендуется также осуществлять выборочный контроль точности размеров и формы цилиндров с использованием разработанной автором измерительной системы с электромагнитными преобразователями.

В настоящее время в Специальном конструкторско-технологическом бюро по высоковольтной и криогенной технике Мосэнерг (СКТБ ВКТ) - разработчике и изготовителе вакуумно-компрессорных установок внедрены или приняты к внедрению следующие методики и нормативно-технические материалы:

- РТМ по точностным расчетам основных деталей и узлов поршневых компрессоров;
- рекомендации по допустимым отклонениям формы и шероховатости поверхностей деталей цилиндро-поршневой группы;
- рекомендациям по величинам предельных моментов затяжки шпилек резьбовых соединений крышки блока цилиндров компрессора;
- методика измерения и контроля размеров и формы цилиндров в процессе сборки компрессоров;
- методика измерения и контроля величин зазоров цилиндро-поршневой группы компрессоров;
- методика измерения и контроля температурных и силовых деформаций деталей компрессоров.

На предприятии также используется разработанная автором бесконтактный метод измерения геометрических параметров деталей компрессоров, основанный на применении измерительной сис-

темы с электромагнитными преобразователями.

Внедрение результатов исследований позволило значительно улучшить основные показатели качества поршневых компрессоров вакуумно-компрессорных установок. Так по данным СКТБ ВКТ долговечность компрессоров повысилась на 10 %, стабильность по производительности на 1,4 %, расход смазки уменьшился на 1 %. При этом на 1 час увеличился межрегенерационный период работы алюминиевых фильтров вакуумно-компрессорной установки.

Экономический эффект от внедрения результатов исследований на предприятиях СКТБ ВКТ и НПО "ЭЛЕКТРОАППАРАТ" Минэлектротехпрома СССР, рассчитанный на основании "Типовой методики по определению экономического эффекта новой техники в электротехнической промышленности", "Типовой методики определения эффективности капитальных вложений" и "Методики определения экономической эффективности стандартизации" составит 41.461 руб. в год.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ литературных и производственных данных показал, что надежность высоковольтных комплектных распределительных устройств в значительной степени определяется качеством функционирования поршневых компрессоров. В свою очередь качество функционирования (эффективность, энергоемкость и др.) зависит от точности изготовления и сборки, применяемых методов технического контроля, а также температурных и силовых деформаций деталей компрессоров.

2. Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что размеры, форма и взаимное расположение поверхностей деталей поршневых компрессоров, полученные в результате механической обработки, изменяются под действием силового нагружения и температурного поля. Так отклонения формы зеркал цилиндров при этом могут достигать 25-33 % от поля допуска на размер, что приводит к повышенному износу втулок цилиндров и досрочному выходу компрессоров из строя.

3. Разработанная автором измерительная система с электромагнитными преобразователями позволила измерять и контролировать первоначальную точность изготовления и сборки деталей, а

также изменение указанной точности под действием температурных и силовых деформаций. Относительная погрешность предложенной измерительной системы не превышает 4-5 %.

4. В результате моделирования деформированного состояния втулок цилиндров получено уравнение, устанавливающее величину проходного сечения в поршневом уплотнении в любой момент времени при действии силового нагружения и температурного поля. Полученная зависимость позволяет рассчитать и прогнозировать величину утечек за термодинамический цикл и, следовательно, эксплуатационные показатели компрессора.

5. Экспериментальные исследования по определению фактической точности изготовления и сборки деталей позволили установить рациональные размерные связи между геометрическими параметрами элементов поршневых компрессоров, что уменьшило объем подгоночных и регулировочных работ при сборке на 12-17 %.

6. В результате исследований с использованием теории точности и теории упругости получена расчетная математическая модель изменения эффективности (производительности и коэффициента подачи) в зависимости от точности изготовления и сборки, температурных и силовых деформаций деталей, что позволило управлять качеством поршневых компрессоров на стадии производства.

Проведенными на ЭВМ расчетами установлено, что отклонение точности изготовления и сборки деталей на 20-40 % от их номинальных значений приводит к увеличению утечек на 19-47 % и, соответственно, к дополнительным затратам при эксплуатации компрессора.

7. В результате теоретических и экспериментальных исследований разработаны методы повышения качества поршневых компрессоров, основанные на рациональном назначении точности размеров и формы деталей с учетом температурных и силовых деформаций.

8. Внедрение результатов исследований позволило значительно улучшить основные показатели качества поршневых компрессоров вакуумно-компрессорных установок. Так, по данным СКБ ВКТ долговечность компрессоров повысилась ~ на 10 %, стабильность по производительности на 1,4 %, расход смазки уменьшился на 1 %. При этом на 1 час увеличился межрегенерационный период работы алюмогелевых фильтров вакуумно-компрес-

сорной установки.

9. Экономический эффект от внедрения результатов исследований на предприятиях СКТБ ВКТ и НПО "ЭЛЕКТРОАППАРАТ" Минэлектротехпрома СССР, рассчитанный на основании "Типовой методики по определению экономического эффекта новой техники в электро-технической промышленности", "Типовой методики определения эффективности капитальных вложений" и "Методики определения экономической эффективности стандартизации" составит 41.461 руб. в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. ГОСТ 22 061-76 и методические указания. Система классов точности балансировки. - М.: Изд-во стандартов, 1977, с. III-II6.

2. Константинов В.Е., Круглов Н.В., Прудников С.Н. Вакуумно-компрессорная установка для нагнетания, очистки и осушки газовой изоляции. - Каталог. Машины, приборы, стенды, 1978, № 6, с.13.

3. Краушкин М.Т., Воронин Ю.В., Константинов В.Е. Прибор для измерения длин и технической диагностики. - Каталог. Машины, приборы, стенды, 1978, № 6, с.31.

4. Применение электромагнитных и других физических методов для контроля качества изделий энергомашиностроения. / А.Н. Виноградов, И.А.Бутрова, В.Е.Константинов и др. - В сб. Электромагнитные методы контроля качества изделий. - Куйбышев, 1978, с.93-95.

5. Виноградов А.Н., Колчков В.И., Константинов В.Е. Точностные методы повышения надежности и долговечности машин. - Научные основы автоматизации производственных процессов и управления качеством в машиностроении и приборостроении: Тезисы докл. Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции. - М.: МВТУ, 1979, с.7-8.

6. Константинов В.Е., Круглов Н.В. Измерительная система для контроля качества сборки газотехнологического оборудования комплектных распределительных устройств. - Энергетик, 1981, № 5, с.12-13.

7. Константинов В.Е. Влияние отклонений силовых и геометрических факторов на утечки через поршневое уплотнение компрес-

сора ГСВ-0,6/12. - Изв.Вузов. Машиностроение, 1981, № 2, с. 148-150.

8. Константинов В.Е., Круглов Н.В. Повышение качества поршневых компрессоров для обслуживания высоковольтных аппаратов. - Энергетик, 1982, № 8, с. 16-17.

