

На правах рукописи
УДК 621.798

Кривоносов Вячеслав Александрович

**ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ
КОМПРЕССОРОВ, ПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ
СЕРОВОДОРОДСОДЕРЖАЩИЙ ГАЗ**

Специальность: 05.04.06 – Вакуумная, компрессорная техника и
пневмосистемы

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2001

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Кривоносов'.

Диссертационная работа выполнена в Астраханском научно-исследовательском и проектном институте газа

Научный руководитель:

доктор технических наук,
профессор **Пластилин П.И.**

Научный консультат

кандидат технических наук,
доцент **Перекрыстов А.П.**

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор **Дроздов Ю.Н.**
доктор технических наук,
профессор **Спиркин В.Г.**

1575813
Кривоносов В.
Повышение износостой
кости поршневой групп
2001 0.00

ский газоперерабатывающий завод

2001 г. в 14 час.30 мин на заседании диссер-
по присуждению ученой степени кандидата
государственном техническом университете

5, МГТУ им. Н.Э. Баумана.

я в библиотеке МГТУ

и 2001 г.

о совета,

С.Д. Глухов

1575813

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1575813
Кривоносов В.А. Повышение

Актуальность работы.

Одним из важнейших видов оборудования, применяемых при компримировании, транспортировании и переработке сероводородсодержащего газа, являются поршневые компрессоры.

Повышение эффективности работы газоперекачивающих компрессоров находится в прямой связи с работой одного из важнейших его узлов – цилиндро-поршневой группы (ЦПГ).

Износ поршневого уплотнения оказывает влияние на производительность и мощность компрессора, коэффициент полезного действия, межремонтный период.

Резкое понижение надежности компрессионных машин, в частности ЦПГ в среде сероводородных и природных газов связано с сероводородным охрупчиванием, сульфидным растрескиванием, коррозионно-механическим износом и увеличением на 1-2 порядка общей коррозии деталей масляных систем.

Только за последние три года эксплуатации Астраханского газоперерабатывающего комплекса потери от вынужденного простоя газоперерабатывающего оборудования в результате воздействия трибокоррозии составили около 15 млн. рублей.

Перспективным направлением, связанным с повышением надежности, износостойкости, а также производительности поршневых компрессоров, работающих в сероводородсодержащих средах, является создание многокомпонентной смазочной смеси, обладающей многофункциональными свойствами.

Существующие масла без правильно подобранных добавок не обеспечивают требуемый ресурс работы сопряженных пар компрессоров в среде агрессивных газов. В связи с этим подбор масел с необходимым «пакетом» присадок с целью увеличения надежности и долговечности указанного оборудования является актуальной проблемой.

Главной причиной выхода из строя компрессоров, перекачивающих сероводородсодержащий газ, является поверхностное разрушение ЦПГ. Сложность физико-химических процессов, протекающих в среде сероводорода, определяющих механизм разрушения трущихся деталей, затрудняет построение расчетных зависимостей для прогнозирования ресурса работы ЦПГ. Ряд авторов пытались получить расчетные уравнения по износу, основываясь только на анализе механического напряженного состояния контактирующих поверхностей, при этом не учитывались гидродинамические, температурные и химиче-

ские явления в контакте, существенно влияющие на скорость протекания процесса поверхностного разрушения.

В данной работе получено расчётное уравнение для определения интенсивности изнашивания ЦПГ на основе физических нормативных инвариантов, предложенных в работах Ю.Н. Дроздова и Ф.М. Клемушина.

Цели и задачи работы.

Основная цель исследования – разработка эффективных способов повышения надежности поршневых компрессоров, работающих в среде сероводородсодержащего газа, на основе комплексного теоретического, экспериментального и опытно-конструкторского поиска, создания многокомпонентной смазочной среды с апробацией на производственном оборудовании в процессе его работы.

Главное внимание было сосредоточено на исследовании и выявлении закономерности подбора «пакета» композиций присадок к маслам, ее научному обоснованию и расчетному прогнозированию работы ЦПГ компрессоров, перекачивающих сероводородсодержащий газ в производственных условиях. С этой целью прорабатывались следующие направления научных исследований:

- анализ процессов переработки природного газа Астраханского газоперерабатывающего комплекса;
- оценка трибологических свойств материалов, применяемых для узлов трения газоперерабатывающего оборудования, применяемого на АГПЗ и причины его выхода из строя (коррозия и коррозионно - механический износ);
- исследование масел, применяемых в сопряженных парах трения газоперекачивающего оборудования;
- исследование трибокоррозионного износа ЦПГ по наиболее нагруженному кольцу компрессора;
- подбор состава «пакета» композиции присадок к отечественному маслу с целью замены дорогостоящего импортного масла;
- разработка и апробирование экспресс-метода определения износа сопряженных пар трения и выдача рекомендации по его использованию на практике;
- получение расчетного уравнения, прогнозирование интенсивности изнашивания ЦПГ компрессора с учетом сложных химических явлений, протекающих в контакте пары трения кольцо-цилиндр;
- проектирование и изготовление машины трения герметичного исполнения, позволяющей проводить эксперименты с сопряженными парами трения, из-

меняя температуру и состав газовой среды, удельное давление и относительную скорость движения образцов.

Научная новизна.

1. Впервые спроектирована и изготовлена экспериментальная герметичная машина трения, позволяющая изучать трибологические процессы в различных газовых средах с применением экспресс-метода оценки изнашивания;
2. Разработана и внедрена методика эмиссионно-спектрального анализа как экспресс-метод исследования продуктов износа;
3. Получены значения скорости изнашивания конструкционных материалов при смазке различными маслами с введенными в них «пакетами» композиций присадок в газовой смеси воздуха с сероводородом;
4. Найдены компоненты для приготовления «пакетов» композиции присадок для масла ХС-40, предназначенного для замены импортного масла Orites-270DS.
5. Получены расчетные уравнения, характеризующие процесс изнашивания ЦПГ компрессора в среде сероводородсодержащего газа.

Практическое значение и реализация результатов работы.

На основе проведенных теоретических исследований и результатов экспериментов:

1. Произведен подбор «пакета» композиций присадок, позволяющих произвести равноценную замену импортного масла Orites-270DS, предназначенного для смазки ЦПГ компрессора КМ-2 отечественным маслом ХС-40, которое вместе с подобранным «пакетом» композиций присадок в 5 раз дешевле масла Orites-270DS.
2. Разработан и внедрен экспресс-метод определения износа методом эмиссионно-спектрального анализа, который проверен атомно-абсорбционным и рентгенофлуоресцентным анализами.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Разработана и апробирована методика исследования скорости изнашивания материала ЦПГ компрессоров, работающих в среде сероводородсодержащего газа с использованием метода эмиссионного спектрального анализа, с проверкой методами атомно-адсорбционного и рентгенофлуоресцентного анализов.

2. Разработана и использована в трибологических испытаниях машина трения МП-1, конструктивные возможности которой позволяют испытывать узлы трения механизмов разнообразных модификаций и материалов в газовой среде с различными величинами давлений, температуры, влажности и скорости вращения образцов.
3. Подобраны и исследованы «пакеты» композиций присадок к маслам МС-20, Orites-270DS, ХС-40.
4. Определен оптимальный «пакет» композиций присадок к маслу ХС-40, обладающий повышенными противоизносными свойствами в среде, содержащей сероводород, позволяющего произвести равноценную замену масла Orites-270DS, и получено уравнение для расчёта скорости изнашивания пары трения.
5. Получена математическая модель, описывающая процесс изнашивания кольца ЦПГ компрессора в среде газа, содержащего сероводород.

Апробация работы.

Материалы диссертации докладывались на Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 70-летию первого выпуска Российских инженеров-нефтяников (Москва, 1994 г.), на научно-технических конференциях Астраханского государственного технического университета (Астрахань, 1990-2000 г.г.), на Международном научно-практическом симпозиуме «Славянотрибо-5. Наземная и аэрокосмическая трибология – 2000. Проблемы и достижения» (Санкт-Петербург, 2000 г.), на Международной конференции «Проблемы добычи и переработки нефти и газа в перспективе международного сотрудничества ученых Каспийского региона» (Астрахань, 2000 г.).

Публикации.

Основные результаты диссертации изложены в 12 статьях и ряде научно-технических отчетов АГТУ.

Объём и структура диссертации.

Диссертация объёмом 121 стр. машинописного текста состоит из введения, четырёх глав, заключения и приложений; включает 24 рисунка, 23 таблицы и список использованной литературы из 101 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении и в первой главе диссертации показано, что агрессивные физико-химические свойства природного газа Астраханского месторождения предъявляют дополнительные требования к перекачиваемому оборудованию, а также необходимость применения легированных конструкционных материалов и высоких трибологических свойств масел.

Обоснована актуальность работы, позволяющей существенно уменьшить интенсивность изнашивания трущихся узлов в среде перекачиваемого природного газа путем создания и испытания «пакетов» композиций присадок, вводимых в смазку.

Сформулированы задачи и намечены основные направления работы.

Во второй главе обоснован выбор объектов и методов исследования. Приведена характеристика различных методов измерения износа. Обоснован метод эмиссионного спектрального анализа, как основной экспресс-метод определения продуктов износа. Подробно описаны исследования изнашивания трущихся пар на моделирующих машинах трения.

В третьей главе представлен анализ основных свойств компрессорных масел и требования, предъявляемые к ним. Для улучшения трибологических свойств масел выбрано направление по вводу в них «пакетов» композиций присадок.

Подобран и испытан «пакет» композиций присадок, состоящий в основном из ингибиторов коррозии: ИФХАНГАЗ–1, ФОМ–9, Д–4, Д–5 (табл.1), установлен синергизм их действия.

Таблица 1

Состав «пакета» композиций присадок к маслам, % масс

Компонент	№ «пакета» композиций присадок						
	1	2	3	4	5	6	7
ИФХАНГАЗ–1	33	50	67	33	50	67	50
ФОМ–9	-	-	-	-	-	-	50
Д-4	67	50	33	-	-	-	-
Д-5	-	-	-	67	50	33	-

Были проанализированы противопенные свойства масел MC-20, Orites–270DS и XC-40 с «пакетами» композиций 1-7 при концентрации присадки 0,5% по массе. Получены результаты по противопенным, смазочным и антикоррозионным свойствам масел MC-20, Orites–270DS, XC-40 с присадками, используемыми для смазки ЦПГ поршневых компрессоров.

Некоторые из исследуемых «пакетов» композиций присадок позволили улучшить противопенные свойства масел (№ 3, 6, 7). Например, пакет присадок № 7 сократил объемы пены и время ее осаждения при 94 °С в 2 раза в сравнении с чистым маслом, в 2,6 раза уменьшилась скорость коррозии.

Основной особенностью механизма действия «пакетов» композиций присадок № 3, № 6, № 7, повышающих смазочные способности свойств масел, является образование полимолекулярного граничного слоя на поверхности металла, предварительно сглаженной в результате химической полировки или заполнения микровпадин более мягким металлом или частицами дисперсной среды. При этом образование полимолекулярного граничного слоя даёт положительный эффект и позволяет снизить наводораживание в 5-9 раз. Снижение наводораживания в маслах с присадками № 1-7 обусловлено тем, что данная присадка способствует локализации максимума температур и механических напряжений на поверхности контакта, а выделяющийся водород не диффундирует вглубь металла, а уходит в атмосферу.

Проведенные исследования по снижению коррозии стали 3 в маслах Orites-270DS и XC-40 с комбинацией ингибиторов коррозии ИФХАНГАЗ-1, Д-4, Д-5, ФОМ-9 показали значительное уменьшение коррозии до допустимых значений (табл. 2).

Таблица 2

Скорость коррозии стали ст. 3 в маслах Orites-270DS и XC-40

№ «пакета»	Состав присадок, %		Скорость коррозии, мм/год	
			Orites-270DS	XC-40
1	ИФХАНГАЗ-1	33	0,18	0,21
	Д-4	67		
2	ИФХАНГАЗ-1	50	0,11	0,13
	Д-4	50		
3	ИФХАНГАЗ-1	67	0,14	0,14
	Д-4	33		
4	ИФХАНГАЗ-1	33	0,15	0,17
	Д-5	67		
5	ИФХАНГАЗ-1	50	0,05	0,06
	Д-5	50		
6	ИФХАНГАЗ-1	67	0,03	0,05
	Д-5	33		
7	ИФХАНГАЗ-1	50	0,08	0,08
	ФОМ-9	50		

Проведены исследования влияния ингибиторов коррозии «пакетов» присадок № 1-7 на противоизносные свойства масел MC-20, Orites-270DS, XC-40. Испытания показали, что скорость коррозионно-механического изнашивания снизилась на 40-50%, но не достигла допустимых пределов изнашивания (0,015 мкм/ч) (рис. 1).

В четвертой главе определены скорости изнашивания сопряженных пар трения с использованием «пакетов» композиций присадок, включающих противоизносные составляющие.

Подобран «пакет» композиций присадок, улучшающих смазочные и антикоррозионные свойства масел.

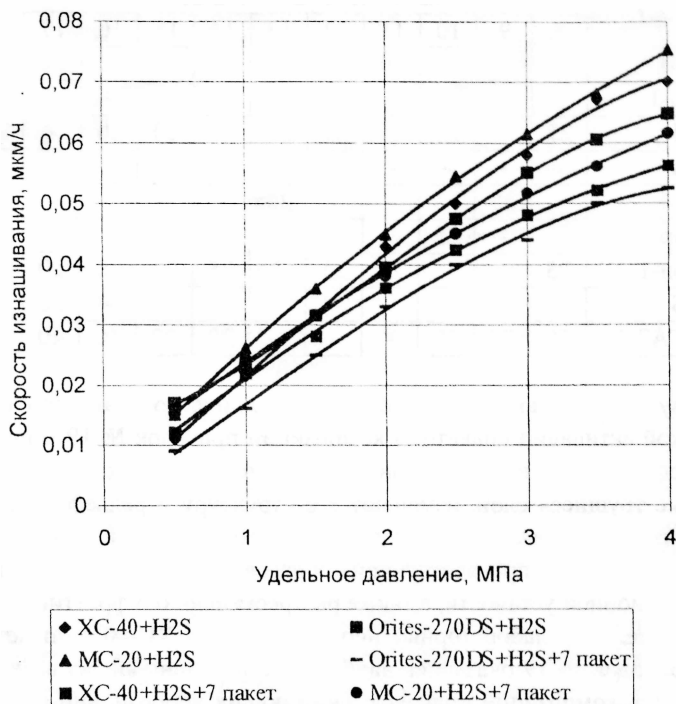


Рис. 1. Зависимость скорости коррозионно-механического изнашивания от удельного давления масел MC-20, XC-40, Orites-270DS

Ранее проведенные исследования масел (глава 3) показали, что при возвратно-поступательном движении тел введение только одних ингибиторов коррозии в «пакеты» композиций присадок не обеспечивают низкие показатели интенсивности изнашивания ЦПГ компрессора. В маслах, работающих в контакте с сероводородом для обеспечения надежных антикоррозионных и противоизносных свойств необходимо одновременно добавлять ингибиторы коррозии и модификаторы поверхностного трения, подбирать композиции присадок, одни из которых функционируют в жидкой фазе, а другие – в газовой.

На основании исследований был проведен подбор эффективных «пакетов» композиций присадок, улучшающих смазочные и антикоррозионные свойства масла в присутствии сероводорода, содержащих компоненты в оптимальных отношениях и составляющих «пакет» присадок № 8–19 (табл. 3).

Состав «пакета» композиций присадок к маслам, % масс

Компонент	№ «пакета» композиций присадок												
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Бетол-1	-	-	-	50	-	-	20	40	20	20	-	5	
Виктор-1	-	-	-	-	50	50	-	-	-	-	20	-	
ОТП	25		25	25	25	25	40	20	20	-	20	-	
АДА	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45	
ПАФ-4	-	25	-	-	-	25	-	-	-	-	-	-	
Трибокор-М	-	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-	50	
Фриктол-1	25	-	-	25	25	-	25	20	20	20	20	-	
ДФБ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	
ИФХАНГАЗ-1	50	75	50	-	-	-	20	20	40	40	40	-	

В результате механохимической (триботехнической), электрохимической и химической активации «пакетом» композиций присадок № 19 молибденовые соли дитиофосфатных кислот в зоне трения модифицируют молибден в поверхностные трущиеся слои, изменяют его структуру и рельеф. Атомы этого металла связывают значительное количество атомов железа, образуя структуры, стойкие к питингу, препятствующие образованию микротрещин, возникновению коррозионной усталости, а также растрескиванию и фреттинг-коррозии.

Сравнительные лабораторные испытания масла ХС-40 с «пакетом» композиций присадок № 19 оказались наиболее эффективными из всех исследуемых «пакетов» композиций присадок, снижающих коррозионно-механический износ.

При давлении 4 МПа и концентрации H_2S 5% масс, износ кольца был снижен в 4,5 раза и достиг допустимых пределов изнашивания (рис. 2).

Исследования показали, что «пакет» композиций присадок № 19 обладает лучшими противопенными и смазочными свойствами по сравнению с первоначально выбранными «пакетами» композиций присадок № 3, 6, 7 и в большей степени замедляет процесс наводораживания.

Для определения влияния различных факторов, влияющих на износ сопряженных пар трения в условиях сероводородной коррозии и для уменьшения количества экспериментов - был составлен план трехфакторного эксперимента для масла ХС-40 с «пакетом» композиций присадок № 19. В качестве влияющих факторов были приняты: массовая концентрация сероводорода в воздушной среде, удельное давление исследуемых образцов на поверхность трения и температура среды. Обработка результатов эксперимента проводилась с использованием статистической программы S-PLUS-2000 по методу наименьших квадратов.

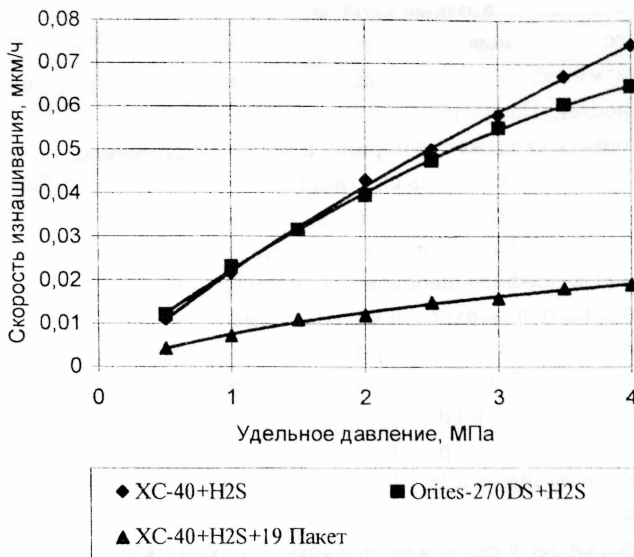


Рис. 2. Зависимость скорости коррозионно-механического изнашивания от удельного давления в среде сероводорода для масел XC-40, Orites-270DS

Скорость коррозионно-механического износа описывается полиномом второй степени с тремя переменными в соответствии с уравнением:

$$\ln(W) = c_1 + c_2 \cdot C + c_3 \cdot t + c_4 \cdot p + c_5 \cdot C \cdot t + c_6 \cdot C \cdot p + c_7 \cdot t \cdot p + c_8 \cdot C^2 + c_9 \cdot t^2 + c_{10} \cdot p^2,$$

где

W – скорость коррозионно-механического изнашивания, мм/ч;

C – концентрация сероводорода, %;

t – температура газовой среды, °C;

p – удельное давление, МПа;

$c_1 - c_{10}$ – коэффициенты аппроксимации (-5,99546; 0,13547; -0,01004; 0,60953; 6,49122E-4; 4,94051E-3; 3,7581E-3; -6,19568E-3; 6,41338E-5; -0,11304).

Максимальная ошибка аппроксимации составила 8,5 %.

Особое внимание уделено разработке расчетного уравнения для определения интенсивности изнашивания ЦПГ на основе физических нормативных инвариантов, учтены механические, физические и особенно физико-химические факторы в связи со значительным влиянием сероводорода на процесс трения.

Получено уравнение для расчета интенсивности изнашивания:

$$I_h = K \left(\frac{\{h_{rp} + 1,7h_k \left[\mu_{Cu} \left(\frac{p_{zk}}{p_z} \right)^{0,7} \cdot (p_z \beta)^{0,6} \right]\}}{\sqrt{R_{al}^2 + R_{a2}^2}} \right)^{-1,8} \left(\frac{p_z}{H_b} \right)^{0,85} \left(\frac{R_{max}}{r \cdot b} \right)^{0,97} \left(\frac{t_p}{t_b} \right)^{0,73} \left(\frac{RT}{Q_k} \right)^{0,7}, \quad (2)$$

где

$h_{гр}$ - граничный смазочный слой, м;

h_x - высота поршневого кольца, м;

μ - динамическая вязкость масла при температуре вступающих в контакт поверхностей, Па·с;

C_u - скорость скольжения поршня в месте максимального износа, м/с;

P_z - максимальная степень сжатия, Па;

β - пьезокоэффициент вязкости, м²/Н;

R_{a1} - радиус профиля шероховатости гильзы, м;

R_{a2} - радиус профиля шероховатости кольца, м;

H_b - твёрдость поверхности кольца, кг/мм²;

R_{max} - наибольшая высота неровностей профиля, мкм;

r - приведённый радиус неровностей, мкм;

b - параметр опорной кривой;

v - параметр опорной кривой;

t_p - время разрушения, с;

t_v - время восстановления, с;

R - универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

T - абсолютная температура поверхности кольца, К;

E - теплота адсорбции, Дж/моль;

K - коэффициент согласования.

Для определения интенсивности изнашивания ЦПГ компрессора в рабочих условиях были проведены натурные испытания на одном из компрессоров КМ-2 установки У-1.141 АГПЗ масла ХС-40 с присадкой № 19. Результаты испытаний приведены в табл. 4.

По уравнению (2) рассчитано значение интенсивности изнашивания ЦПГ компрессора КМ-2. Результаты расчёта сопоставлены с экспериментальными данными, полученными в стендовых и эксплуатационных условиях (табл. 5).

Таблица 4

Износ и интенсивность изнашивания компрессионных колец второй ступени компрессора КМ-2

№ этапа испытаний	№ кольца	Износ, мкм	Интенсивность изнашивания, $I_h \cdot 10^{11}$
1	1	63,9	0,63
	2	51,2	0,57
2	1	12,3	0,12
	2	9,8	0,09
3	1	61,4	0,61
	2	50,3	0,50

Интенсивность изнашивания кольца цилиндро-поршневой группы компрессора
КМ-2

Результаты расчётов интенсивности изнашивания	Интенсивность изнашивания, $I_r \cdot 10^{11}$
Интенсивность изнашивания кольца ЦПГ, полученное расчетным путем, I_p	0,078
Интенсивность изнашивания кольца ЦПГ, полученное на машине трения, $I_{мт}$	0,122
Интенсивность изнашивания кольца ЦПГ в эксплуатационных условиях, I_3	0,110
Коэффициент согласования, $K = I_p / I_3$	0,712

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В работе решены актуальные задачи уменьшения износа ЦПГ компрессора, работающего в среде сероводорода.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. Разработана и апробирована методика определения скорости изнашивания материала кольца ЦПГ с использованием метода эмиссионного спектрального анализа, подтверждённой методами атомно-адсорбционного и рентгенофлуоресцентного анализов по созданным методикам.
2. Спроектирована, изготовлена, апробирована и использована в трибологических испытаниях машина трения МП-1. Конструкционные возможности данной машины трения позволяют испытывать узлы трения механизмов разнообразных модификаций и материалов в различной газовой среде, с различными сочетаниями давлений, температуры, влажности и скорости вращения образцов.
3. Получены графические зависимости скорости коррозионно-механического изнашивания для масел MC-20, Orites-270DS, XC-40 и вводимых «пакетов» композиций присадок от удельного давления, позволяющие производить выбор необходимых присадок.
4. Применение подобранных «пакетов» композиции присадок позволили сократить скорость коррозионно-механического износа колец ЦПГ в 1,5-4 раза.
5. Подбраны и апробированы композиции присадок к маслам MC-20, Orites-270DS, XC-40. Получены данные по противопенным, смазочным и

антикоррозионным свойствам масел с присадками, используемых для смазки ЦПГ поршневых компрессоров. Некоторые из исследуемых «пакетов» композиций присадок позволили улучшить противопенные свойства масел. Так, например, «пакет» присадок №7 сократил объем пены и время ее осаждения при 94 °С в 2 раза по сравнению с чистым маслом, в 2,6 раза снизил скорость коррозии.

6. Получены данные наводораживания поверхности металла от концентрации «пакета» композиций присадок в маслах MC-20, Orites-270DS, XC-40. Исследуемые «пакеты» композиций присадок позволили снизить наводораживание металла в 5-9 раз.
7. Определён оптимальный состав «пакета» композиций присадок № 19 для масла XC-40, обладающего повышенными противоизносными свойствами в среде сероводорода. Это позволило произвести равноценную замену масла Orites-270DS. Данный «пакет» композиций присадок сократил коррозионно-механический износ колец ЦПГ компрессоров в 4 раза, тем самым продлил срок эксплуатации сопряженной пары трения кольцо-цилиндр и уменьшил вероятность аварийных остановок компрессоров. Масло XC-40 с данным «пакетом» композиций присадок в 5 раз дешевле импортного масла Orites-270DS.
8. Проведён расчет по прогнозированию изнашивания поршневых колец компрессора, работающего в условиях сероводородной коррозии. Предложено уравнение расчета интенсивности изнашивания кольца ЦПГ компрессора, которое позволяет учитывать сложные физико-химические процессы адсорбции пленки масла с присадкой на поверхностях сопряжённых пар трения.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Исследование влияния смазочной способности маслофреоновых смесей на износ конструкционных материалов /В.Д. Малянов, А.П. Перекрестов, В.А. Кривоносов, М.А. Люстиг //Всесоюзная конференция по холоду. – Ташкент, 1977. - С. 85-86.
2. Перекрестов А.П., Семенов А.Е., Кривоносов В.А.. Индикаторное устройство// Информационный листок Астраханского межотраслевого территориального центра научно-технической информации и пропаганды (АЦНТИ). - 1992. - № 92-7.

3. Перекрестов А.П., Кривоносов В.А. Трибометр //Информационный листок АЦНТИ. 1993. - № 117-93.
4. Использование масляных композиций в компрессорах, перекачивающих сероводородсодержащие газы /В.А. Кривоносов, А.П. Перекрестов, Ю.Н. Шехтер и др. //Российская научно-техническая конференция, посвящённая 70-летию первого выпуска российских инженеров –нефтянников – Москва, 1994. – С. 324
5. Перекрестов А.П., Кривоносов В.А.. К вопросу о силах трения в микрополярной жидкости. //Вестник АГТУ. – 1994. - № 1. - С. 197-201.
6. Пластинин П.И., Перекрестов А.П., Кривоносов В.А.. К вопросу воздействия агрессивной среды на работу поршневого компрессора. //Компрессорная техника и пневматика. (Санкт-Петербург). – 1996. – Выпуск 1-2(10-11). - С. 54-55.
7. Перекрестов А.П., Кривоносов В.А.. Эффективность работы компрессорной присадки РЕТЕХ-1 при перекачке газа с содержанием сероводорода. //Российскому флоту - 300 лет. – Астрахань, 1997. - С. 72-73.
8. Перекрестов А.П., Кривоносов В.А., Шаталов М.Ю.. Исследование скорости коррозионно-механического изнашивания от удельного давления в среде сероводорода при использовании композиций малорастворимых присадок. //Проблемы освоения Астраханского газоконденсатного месторождения: Труды АНИПИГаз. – Астрахань, 1999. - С. 245-298.
9. Перекрестов А.П., Кривоносов В.А.. Испытания многокомпонентной присадки в компрессорах эксплуатируемых на Астраханском газоперерабатывающем заводе //Славянотрибо-5. Наземная и аэрокосмическая трибология – 2000. Проблемы и достижения: Материалы международного научно-практического симпозиума. – Санкт-Петербург, 2000. – С. 281-282.
10. Перекрестов А.П., Кривоносов В.А.. Оценка влияния сероводородной коррозии на коэффициент трения материалов сопряженных пар. //Проблемы добычи и переработки нефти и газа в перспективе международного сотрудничества ученых Каспийского региона: Тезисы Международной конференции. - Астрахань, 2000. - С. 82.
11. Перекрестов А.П., Кривоносов В.А. Оценка влияния сероводорода в перекачиваемом газе на физико-химический критерий интенсивности изнашивания. //Современные проблемы геофизики, геологии, освоения, переработки и использования углеводородного сырья: Материалы первой международной научно-технической конференции. - Атырау: АИНГ, 2000. - Т.1. - С. 167-170.
12. Перекрестов А.П., Кривоносов В.А. К вопросу о подборе присадок в масло для нейтрализации воздействия сероводорода на износ трущихся пар //Вестник АГТУ. (Астрахань). – 2000. - С. 148-153.

Лицензия ИД 01736 от 11 мая 2000г.

Подписано в печать 17.07.01. Формат 60х84/16
Бумага офсетная. Тираж 200 экз. Заказ Ж 141.
Отпечатано с готовой электронной версии
в ИПЦ «Факел» ООО «Астраханьгазпром»
г. Астрахань, ул. Савушкина, 61а.