

ГЕРВИКОН
HERVICON



ЭККОН
ЕККОН



6 - 9 сентября 2011, СумГУ, г. Сумы, Украина

XIII Международная научно-техническая конференция "ГЕРВИКОН-2011"

Международный форум "НАСОСЫ-2011"

Семинар "ЭККОН-11"

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ УПЛОТНЕНИЙ КОМПРЕССОРОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Кулдышев А.К.¹, Скворцов Н.В.², Пронин И.К.³

АННОТАЦИЯ

Предложены схемные и технические решения, исключая подъем давления с помощью насосов – применение двойных торцовых уплотнений с минимальной утечкой масла, а также подшипниковых уплотнительных блоков, включающих опорные и упорные подшипники скольжения. Показана перспективность их дальнейшей разработки и реализации.

Ключевые слова: компрессоры, масляные системы, подшипниковые уплотнительные блоки, двойные торцовые уплотнения.

В настоящее время проблемы, связанные с транспортировкой, хранением и использованием газа, приобретают всё более актуальное значение. На XV международном симпозиуме «Потребители-производители компрессоров и компрессорного оборудования» озвучена⁴ Научно-техническая политика ОАО «Газпром» в области газоперекачивающей техники на период до 2020 года, прозвучала информация о структуре парка ГПА и тенденциях развития газоперекачивающей техники, сформулированы специфические характеристики оборудования. Серьезное внимание уделено повышению надежности оборудования, увеличению общего ресурса и наработки на отказ,

¹ Кулдышев Александр Константинович, главный конструктор, ООО НПЦ «АНОД», ул. Свободы, д. 63, 603003, Нижний Новгород.

² Скворцов Николай Васильевич, технический консультант, ООО НПЦ «АНОД», ул. Свободы, д. 63, 603003, Нижний Новгород.

³ Пронин Игорь Константинович, начальник отдела маркетинга, ООО НПЦ «АНОД», ул. Свободы, д. 63, 603003, Нижний Новгород.

удовлетворению современных требований к энергосбережению и экологии, совершенствованию обслуживаемых систем.

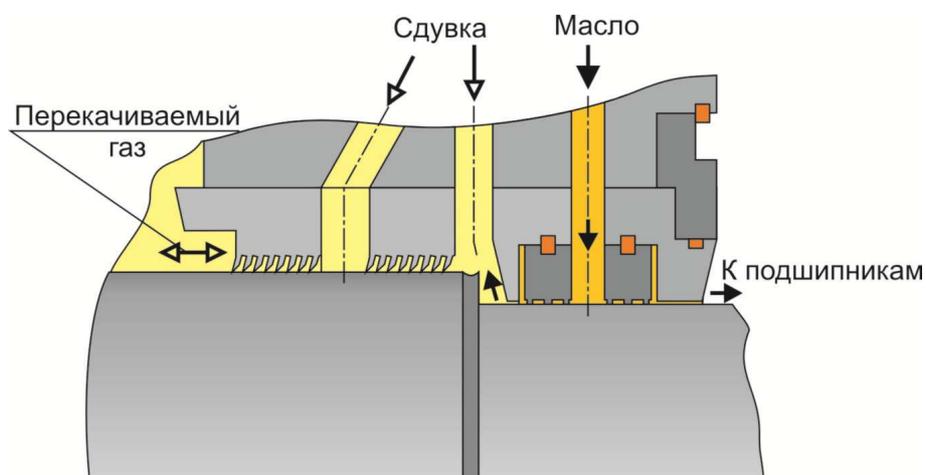


Рисунок 1 - Щелевое уплотнение с плавающими кольцами нагнетателей Ц-6,3; НЦ-16

Одной из важнейших задач современного компрессоростроения является создание надежных и герметичных уплотнений роторов центробежных компрессоров, непосредственно влияющих на эксплуатационную надежность и безопасность процессов транспортировки природного газа. Решение задачи осложняется с одной стороны - высокими давлениями уплотняемой среды и окружающими скоростями в уплотняющем контакте, с другой стороны – повышенными требованиями к герметичности и надежности оборудования, необходимостью снижения эксплуатационных затрат и сокращения технического обслуживания. На разных этапах развития компрессорной техники были созданы и применяются в настоящее время различные типы уплотнений.

Изначально для этой цели использовались бесконтактные уплотнения (рис. 1) (щелевые, лабиринтные, с плавающими кольцами и др.). Характерной особенностью этих уплотнений является наличие зазоров между рабочими уплотнительными поверхностями размером в несколько десятков долей миллиметра. Уплотнения неприхотливы к осевым и радиальным перемещениям роторов компрессоров. Благодаря применению бесконтактных уплотнений удалось создать работоспособные центробежные компрессорные машины и на их основе развить глобальную газотранспортную сеть, организовать её бесперебойную работу, оптимизировать и отработать новые технические решения. Однако у данного

типа уплотнений есть существенные недостатки - большие безвозвратные потери масла, особенно при пусках (до 0,8...1,2 л/ч); значительные утечки газа и масла и, соответственно, затраты энергии на обеспечение работоспособности уплотнений; низкий ресурс плавающих колец (до 2 тыс. часов). Подавляющее большинство компрессоров, эксплуатируемых ОАО «Газпром», оснащены именно такими, бесконтактными, уплотнениями.

В последние 15...20 лет получили распространение комбинированные уплотнения (рис. 2). Они представляют собой комбинацию из одинарного торцового уплотнения и бесконтактного щелевого или с плавающими кольцами. Уплотнения позволили значительно сократить утечки масла в перекачиваемый газ, обеспечив смазку и охлаждение опорных и упорных подшипников скольжения ротора нагнетателя. Превышение давления масла над газом осуществляется за счет дросселирования потока масла в плавающих кольцах бесконтактного уплотнения или дроссельных устройствах радиальных подшипников скольжения. Поскольку гарантированный зазор между уплотняющими поверхностями колец находится в пределах 2...5 мкм, в отличие от щелевых, утечки масла на нагнетателях серии: 235, 370, 520, 650 удалось снизить до 0,24 л/ч.

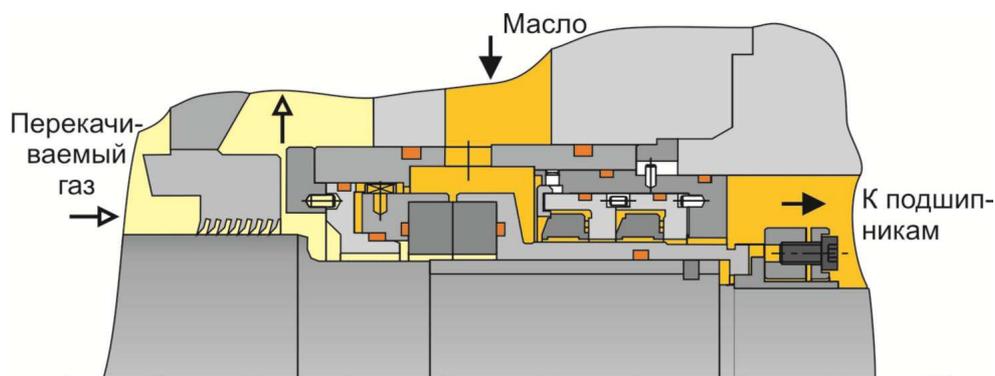


Рисунок 2 - Комбинированное торцовое уплотнение с плавающими кольцами

В настоящее время более 2000 уплотнений производства НПЦ «АНОД» поставлено для эксплуатации в составе нагнетателей газоперекачивающего оборудования предприятиям ОАО «Газпром». Согласно справкам этих предприятий усредненная величина безвозвратных потерь масла в перекачиваемый газ составляет 0,12...0,2 л/час на нагнетатель, а годовая экономия турбинного масла исчисляется десятками тонн. Общая наработка уплотнений приближается к 60 млн. часов.

Получили также распространение двойные торцовые уплотнения (рис. 3).



Рисунок 3 - Двойное торцовое уплотнение 100УТДГ

Полученный опыт эксплуатации комбинированных уплотнений позволил создать двойное торцовое уплотнение с уплотнительными парами, отделенными от полости подшипников. В ноябре 2001 года НПЦ «АНОД» совместно с АОЗТ «НИКТИТ» (г. Санкт-Петербург) провел стендовые испытания специально разработанного и изготовленного комплекта двойных уплотнений вала центробежного нагнетателя Н47-74-1 в составе агрегата ГПА-4РМ. Утечка масла, определенная в процессе испытаний, составила 0,022 л/ч, что в 6 раз меньше, чем у комбинированных уплотнений. В 2003 году двойные уплотнения были установлены на Касимовской КС УПХГ, агрегат с такими уплотнениями наработал 22000 часов без отказов и ремонтов.

Результаты работы НПЦ «АНОД» в области уплотнительной техники доказывают возможность применения торцовых уплотнений на окружных скоростях до 80 м/с, давлении - до 10,0 МПа и температуре уплотняемой среды - до +100°С. Уплотнения с затворной жидкостью сохраняют работоспособность при перекосах роторов в подшипниковых опорах и высоких уровнях вибрации (до 50 мкм). Уровень утечек масла в перекачиваемый газ уплотнений производства НПЦ «АНОД» почти на порядок меньше (0,05...0,1 л/ч) чем у щелевых уплотнений, что позволяет перевести их в разряд безрасходных.

Для сравнения. Средний расход масла двигателя автомобиля, допустимый предприятием изготовителем, на 10 тыс. километров составляет до 1 литра.

При этом автомобиль расходует около 1 тыс. литров бензина, образуя 10 тыс. нм^3 газов. Иначе говоря, пропустив через себя 10 тыс. нм^3 газов двигатель автомобиля «съест» 1 литр масла.

Компрессор серии 235, израсходовав за 20 часов 1 литр масла, (при потерях масла 0,05 л/ч, расходе газа 270 $\text{м}^3/\text{мин}$., давлении 5,5 МПа,), пропустит через себя 20 ч x 270 $\text{м}^3/\text{мин}$ x 60 мин x 55 $\text{кгс}/\text{см}^2 = 17,8$ млн. нм^3 газа, что почти в 2 тыс. раз экономичнее, чем двигатель автомобиля!

Результаты эксплуатации различных типов масляных уплотнений в составе компрессоров для перекачки природного газа ОАО «Газпром» показывают, что в долгосрочной перспективе (до 2020 г)⁴ наиболее полно удовлетворяют требованиям герметичности, достижению максимальных ресурсных характеристик, простоте ремонта и обслуживания двойные торцовые уплотнения. Кроме того, использование двойных торцовых уплотнений позволяет реализовать пути дальнейшего развития систем, альтернативных бесконтактным и сухим газовым уплотнениям, в том числе:

- Переход на замкнутую систему затворной жидкости с поддавливанием газом, что позволит уменьшить мощность циркуляционных насосов системы;
- Замена масла, используемого в качестве затворной и смазывающей жидкости, негорючими, незамерзающими смесями, на основе водных растворов, аналогично автомобильным. Обеспечение пожаробезопасности системы, уменьшение эксплуатационных расходов;
- В виду равенства давлений жидкости и газа в расширительном баке, размещение в нём разделительной диафрагмы, уменьшающей насыщение жидкости газом;
- Использование блоков подшипниковых уплотнительных (БПУ, объединяющих в одном корпусе радиальный и упорный подшипники, расположенные между двумя одинарными торцовыми уплотнениями) на водных растворах;
- Значительно снижение времени пуско-наладочных работ и повышение качества монтажа на объекте, в виду выполнения сборки и регулировки подшипниковых и уплотнительных узлов в заводских условиях.

Рассмотрим, некоторые варианты модернизации масляных систем на примере нижеприведенных схем.

На рисунке 4 представлена принципиальная схема с использованием двойных торцовых уплотнений. Особенность ее состоит в том, что торцовые уплотнения вала, емкость расширительная, насосы, трубопроводы образуют систему, постоянно поддавленную перекачиваемым газом. Таким образом отпадает необходимость в подъеме давления масла с атмосферного до рабочего с помощью насосов. Насосы будут обеспечивать создание только рабочего перепада давления между маслом и газом и циркуляцию масла через систему. Поскольку система является замкнутой, в неё введен

теплообменник, например, аппарат воздушного охлаждения. Система смазки подшипников работает при низком давлении масла аналогично осуществляемому для подшипников привода компрессора. Целесообразность использования двойных торцовых уплотнений наглядно подтвердила эксплуатация их на Касимовской КС, где установленные с 2003 г. они проработали без отказов и ремонтов 22000 часов при более 300 пусках-остановах.

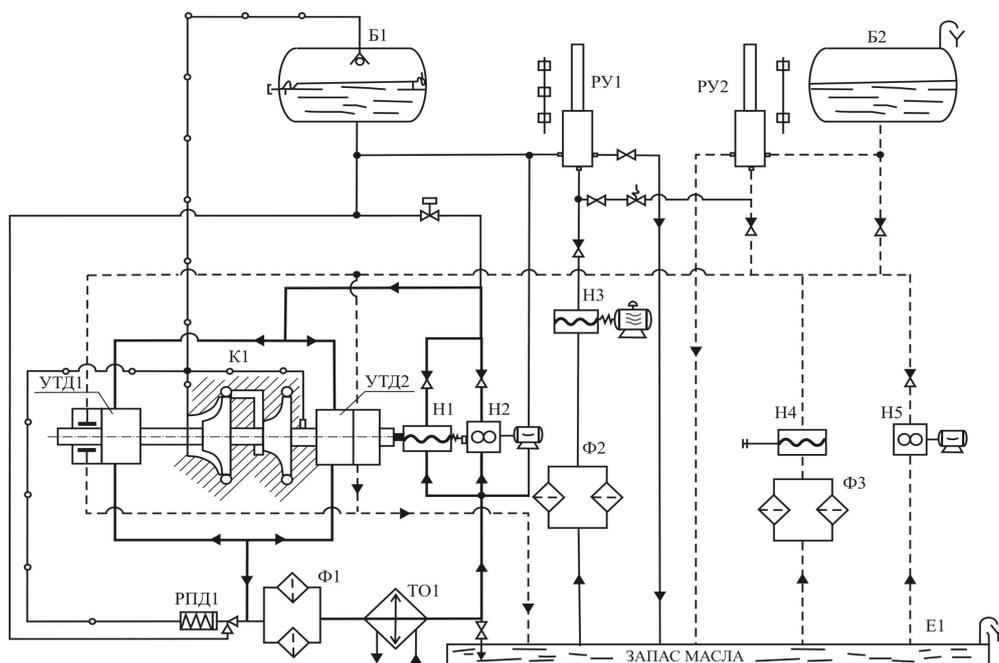


Рисунок 4 - Принципиальная схема масляной системы с использованием двойных торцовых уплотнений

На рисунке 5 представлена принципиально новая концепция масляной системы с использованием блоков подшипниковых уплотнительных (БПУ), аналогично используемым в насосах серии 5-АНГК, производства НПЦ «АНОД», хорошо зарекомендовавших себя в эксплуатации.

Блоки БПУ компрессора представляют собой цилиндрические корпуса, содержат опорные и упорные подшипники скольжения, изолированные по торцам от атмосферы и перекачиваемого газа одинарными торцовыми уплотнениями. Система находится под давлением перекачиваемого газа, избыточное давление масла над давлением газа обеспечивается напором циркуляционного насоса. В системе предусматривается теплообменник

охлаждения масла. Система имеет меньший состав оборудования по сравнению с предыдущей схемой. Использование модулей БПУ, по опыту применения их в насосах, позволит:

- создать новые модификации компрессоров, при этом максимально использовать существующее оборудование масляных систем,
- уменьшить затраты на техническое обслуживание, упростить наладку и монтаж блоков, упростив ряд операций по монтажу и регулировке на объекте,
- обеспечить лучшие вибрационные характеристики ввиду демпфирования колебаний ротора в широком спектре частот,
- увеличить ресурс до 100 тыс. часов и межремонтный пробег компрессора до 5 лет, в том числе, за счет применения карбидокремниевых подшипников, невосприимчивых к наличию механических примесей в жидкости, в которой они работают,
- заменить масло, как затворную и смазывающую жидкость, негорючими, незамерзающими смесями, на основе водных растворов, аналогично автомобильным. Сделать систему пожаробезопасной, уменьшить эксплуатационные расходы.

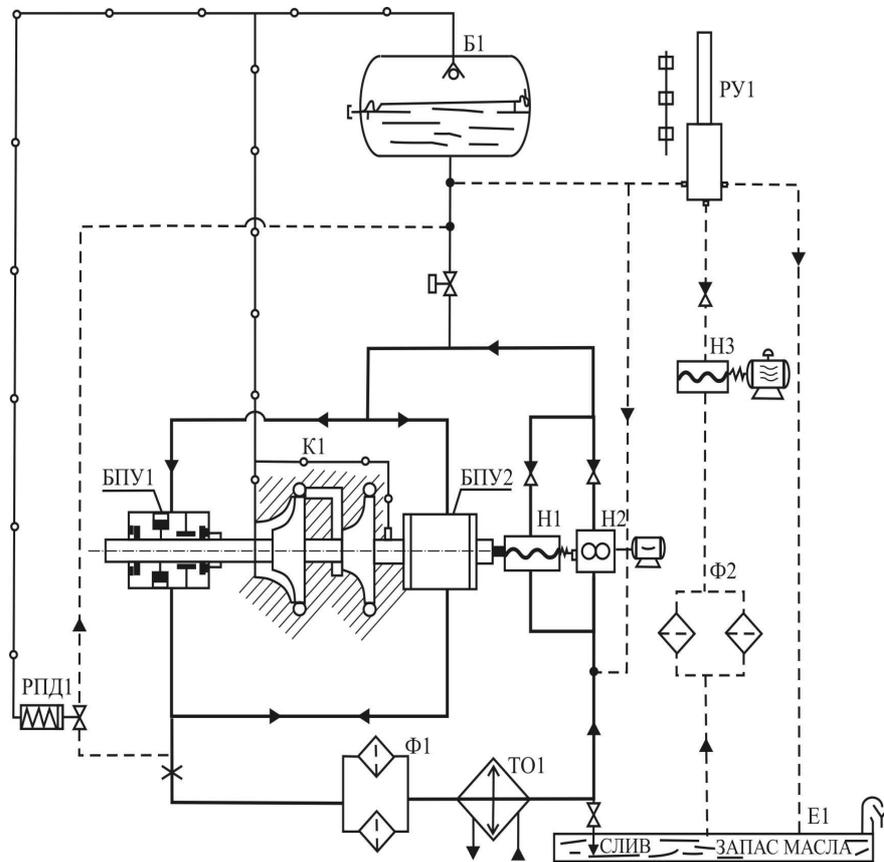


Рисунок 5 - Принципиальная схема масляной системы с использованием БПУ

Таким образом, предлагаемые принципиальные схемы масляных систем нагнетателей газа, применение компрессоров с блоками подшипниковыми уплотнительными показывают перспективность их дальнейшей разработки и совершенствования.

Сухие газовые уплотнения (СГУ) (рис. 6), преимущественно зарубежных производителей, начали внедряться в последние 10...15 лет.

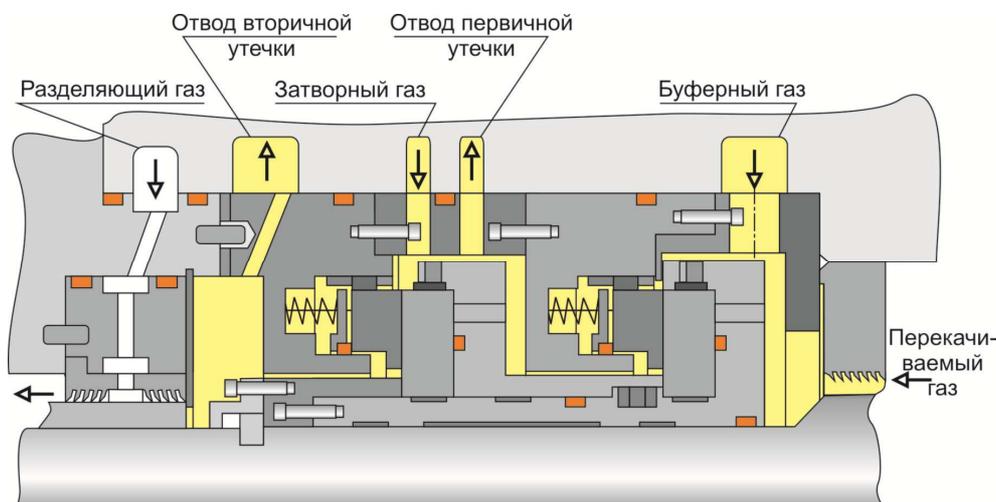


Рисунок 6 - Компоновка СГУ

К эффективному преимуществу СГУ относят меньшую потерю энергии на трение колец пар трения, работающих в газовой среде, а не в жидкости. Однако, принижается роль следующих основополагающих факторов:

- поскольку кольца пар трения разделены газовой прослойкой, уплотнения физически не могут быть герметичными и потеря перекачиваемого газа неизбежна, то есть они являются экологически опасными,
- потребность в буферном и барьерном газе приводит к необходимости дооснащения уплотнений большим количеством вспомогательных систем и оборудования, включая дожимные компрессоры, что существенно увеличивает стоимость системы с СГУ,
- требуют серьезной доработки существующих систем, выключая систему управления, сложны в эксплуатации и показывают неоднозначные результаты применения,
- большое количество элементов, от которых зависит работоспособность СГУ, ведёт к снижению КПД и надежности системы в целом, а, следовательно, и к увеличенным потерям энергии.

Как правило, СГУ сравниваются с бесконтактными щелевыми масляными уплотнениями (рис. 1), имеющими невысокие показатели экономичности, поэтому результаты сравнения нельзя назвать объективными.

Существующее многообразие конструктивных исполнений СГУ и систем их обслуживающих вызвано стремлением уменьшить состав и количество необходимого для работы оборудования и, таким образом, уменьшить стоимость системы с СГУ. Однако упрощение систем герметизации

компрессоров природного газа не оправдано, так как ведет к снижению надежности работы, сокращению времени наработки до отказа и увеличению утечек рабочих и уплотняемых сред. По указанным причинам широкое применение СГУ нецелесообразно для компрессоров перекачки природного газа.

Использование СГУ в герметичных компрессорах, в системах транспортировки воздуха и его компонентов, с использованием магнитных подвесов роторов, без возможности выбросов вредных веществ в атмосферу, вполне допустимо и оправдано. Поставленные заказчику к настоящему времени около 250 единиц СГУ могут рассматриваться как опытные образцы для проведения отдельных дорогостоящих этапов НИОКР по СГУ на компрессорном оборудовании ОАО «Газпром».

ВЫВОДЫ

Опыт эксплуатации уплотнений компрессоров перекачки природного газа показывает, что компрессорные агрегаты с жидкостными уплотнениями имеют перспективы дальнейшего развития как альтернатива агрегатам с безмасляными уплотнениями.

Предлагаемые принципиальные схемы масляных систем нагнетателей газа, применение компрессоров с блоками подшипниковыми уплотнительными показывают возможность и перспективность их дальнейшего совершенствования. Использование БПУ при минимальном количестве вспомогательных систем и оборудования обеспечивает высокий КПД системы, позволяет повысить надежность оборудования, увеличить общий ресурс до 100 тыс. часов и наработку на отказ до 5 лет*, удовлетворить современным требованиям экономичности и экологии, исключив утечки перекачиваемого газа в окружающую среду.

* По данным, предоставленным ООО «Газпромтрансгаз Н.Новгород»:

- от 38000 до 45800 часов - компрессорная станция «Торбеевская», агрегаты Н-235, уплотнения 130УТГ;

- 34130 часов без ревизии и ремонтов - компрессорная станция «Ворсменская», агрегат ГПА Ц-6,3, уплотнение 110УТГПб.

Сухие газовые уплотнения (СГУ): не обеспечивают работу без утечек перекачиваемого газа, то есть экологически опасны; требуют большого количества вспомогательного оборудования, что усложняет и удорожает обслуживание, снижает надежность и КПД системы герметизации; ведут к серьезной доработке существующих систем, включая систему управления. По указанным причинам СГУ для компрессоров перекачки природного газа не должны найти широкого применения.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. «Мега Паскаль» №4/2010. Специализированный информационно-аналитический журнал.

OIL SYSTEMS OF MECHANICAL SEALS FOR GAS COMPRESSORS

**Alexander Kuldyshev, Nikolay Skvortsov, Igor Pronin,
Research and Production Center “ANOD”**

SUMMARY

The article suggests some technical decisions, excluding pressure increase by means of pumps while using double mechanical seals (with minimal oil leakage) and bearing seal blocks (with support and thrust plain bearings). The article demonstrates perspectives of further development and implementation of such systems.

Key words: compressors, oil systems, bearing seal blocks, double mechanical seals.