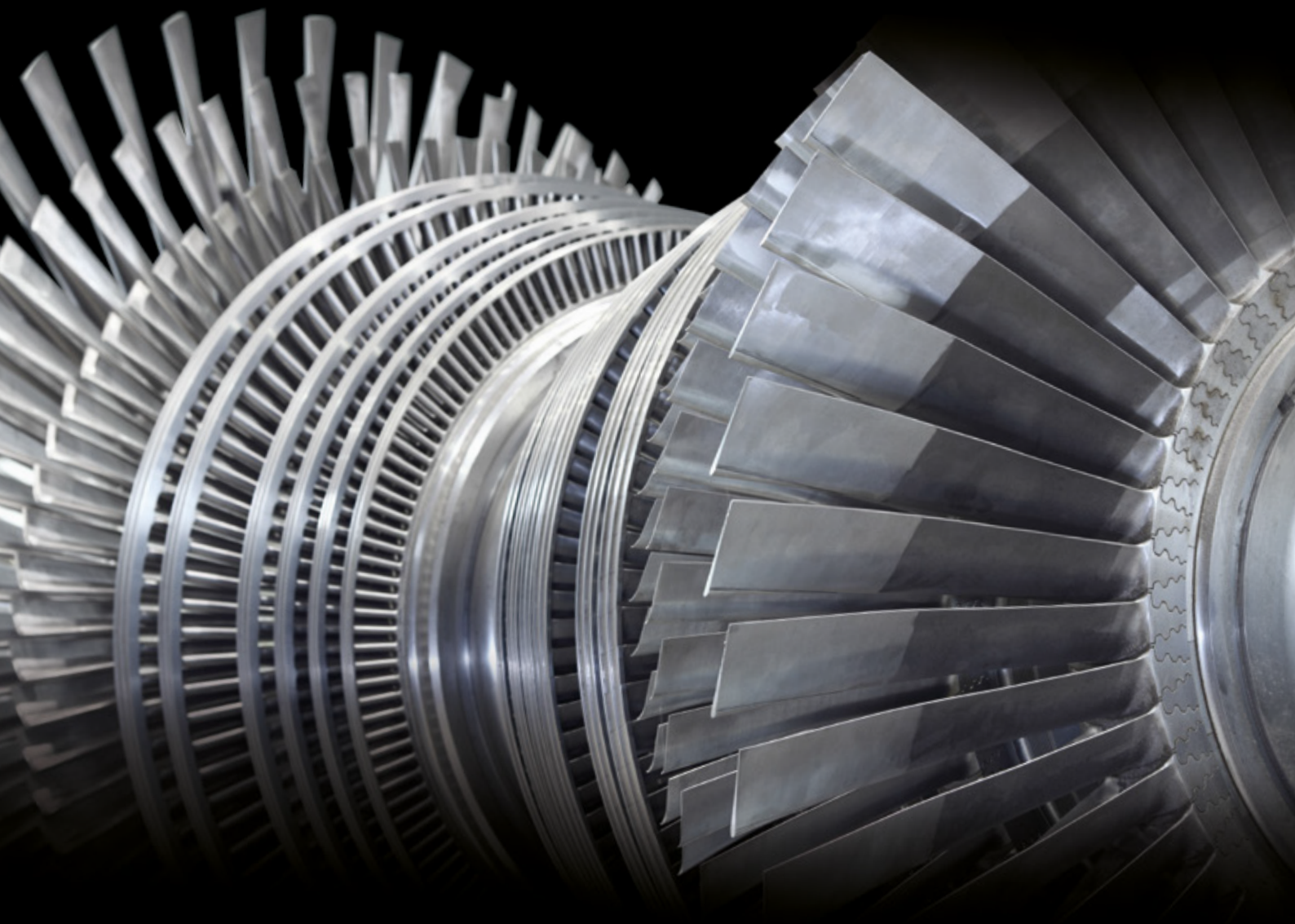


QUALITY PERFORMS.



Reolube® Turbofluids

Руководство по применению и
техническому обслуживанию

X Reolube®

QUALITY WORKS.

LANXESS
Energizing Chemistry

■ ПРИМЕНЕНИЕ ТРИАРИЛФОСФАТОВ В ПАРОВЫХ И ГАЗОВЫХ ТУРБИНАХ	03	■ ОТБОР ПРОБ	12
■ ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ	03	12 Из бочек	
■ ОПИСАНИЕ REOLUBE® TURBOFLUIDS	04	12 Из емкостей и резервуаров для хранения	
		12 Из трубопроводов (динамический отбор проб)	
		13 Контейнеры для проб	
		13 Маркировка проб	
■ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СРОК СЛУЖБЫ	05	■ ИСПЫТАНИЯ	14
05 Тип и конструкция системы		14 Методы испытаний	
05 Состояние системы		14 График проведения испытаний	
При пуске		14 Предельные значения качества жидкости	
При переходе с минерального масла		14 Хранение	
06 Техническое обслуживание системы		15 Рекомендованные методы испытаний	
06 Первоначальное состояние жидкости		16 Предлагаемый график испытаний для определения важных свойств жидкости	
06 Условия эксплуатации системы		17 Интерпретация результатов испытаний рабочей жидкости и рекомендованные меры	
07 Загрязнение и очистка			
07 Объем доливочной жидкости			
07 Мониторинг состояния жидкости			
08 Старение жидкостей в процессе эксплуатации		■ ПРИЛОЖЕНИЕ	18
09 Вязкость		18 Процедуры промывки	
09 Окислительная стабильность		18 Подготовка системы	
09 Содержание воды/гидролитическая стабильность/эмульгирующие свойства		19 Промывка новых систем	
09 Загрязнение твердыми частицами		20 Промывка систем, ранее содержавших минеральное масло	
09 Антипенные свойства и деаэрация		21 Замена загрязненного эфира фосфорной кислоты	
09 Объемное сопротивление		21 Утилизация промывочной жидкости	
10 Загрязнители и свойства жидкости		■ ССЫЛКИ	22
Содержание хлора			
Содержание минерального масла			
10 Содержание металлов и их солей			
10 Очистка жидкости или регенерация			

ПРИМЕНЕНИЕ ТРИАРИЛФОСФАТОВ В ПАРОВЫХ И ГАЗОВЫХ ТУРБИНАХ



Минеральные масла традиционно применяются в качестве гидравлических жидкостей и смазки в паровых и газовых турбинах. Однако, увеличение рабочей температуры и давления гидравлического масла в стремлении повысить к.п.д. турбин, привело также и к росту риска возгорания, который связан с применением минеральных масел. Кроме того, поскольку при эксплуатации турбин большой мощности требуется больше смазки, а уровень безопасности на атомных электростанциях должен быть очень высок, мерам предупреждения и контролю возгораний на электростанциях стали уделять самое пристальное внимание.

В современных турбинах любой мощности температура пара может быть очень высокой (500-600°C), т. е. значительно выше температуры самовозгорания минерального масла (~350°C). После целого ряда пожаров, возникших в результате разрыва гидравлических трубопроводов и попадания распыленного минерального масла на горячие поверхности, в середине 1950-х годов в системах управления паровыми турбинами стали применяться огнестойкие гидравлические жидкости на основе эфира триарилфосфата, которые теперь широко используются на установках большой мощности. Однако при использовании минерального масла в системах смазки пожары случаются до сих пор, и поэтому эфиры фосфорной кислоты были опробованы в качестве смазочных материалов как в паровых, так и в газовых турбинах.

На сегодняшний день накоплен уже более чем полувековой опыт эксплуатации систем смазки промышленных газовых турбин и систем управления паровыми турбинами разных изготовителей. Впервые эфиры фосфорной кислоты были применены для смазки паровых турбин в 1970-е годы, и сегодня они используются в установках мощностью до 1000 МВт. В этих видах применения эфиры фосфорной кислоты показали хорошие результаты. Однако при использовании в турбинах совместно со смазкой на основе минерального масла, техническому обслуживанию и применению данных эфиров необходимо уделять пристальное внимание для обеспечения длительного срока службы жидкости и удовлетворительной работы оборудования. Вот почему было разработано настоящее руководство - оно поможет тем, кто использует подобные жидкости, особенно в случае отсутствия рекомендаций производителей оборудования.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

В руководстве приводятся сведения о надлежащем техническом обслуживании и применении всего ассортимента жидкостей **Reolube® Turbofluid** на основе эфиров фосфорной кислоты. В руководстве рассматривается преимущественно применение этих эфиров в качестве гидравлических жидкостей в системах управления паровыми турбинами и системах регулирования котлами, но также часто распространяется на применение в качестве смазки паровых и газовых турбин. Настоящее руководство не следует использовать взамен инструкций, выданных изготовителями турбин, так как оно предназначено дополнять их требования, а также сведения, содержащиеся в Руководстве по эксплуатации жидкостей на основе эфиров триарилфосфата для регулирования турбин ISO/TS 11365. В случае сомнений в отношении уместности информации и (или) предельных эксплуатационных характеристик, указанных в настоящем документе, следует связаться с производителем оборудования или поставщиком жидкости и запросить дополнительную информацию.

Подробное описание технических свойств, совместимости с материалами системы и токсичности жидкостей **Reolube® Turbofluids** не входит в задачи настоящего руководства. Пользователям настоятельно рекомендуется ознакомиться с соответствующими техническими бюллетенями и паспортами безопасности.

Несмотря на то, что почти все сведения, содержащиеся в настоящем документе, относятся также к применению гидравлических жидкостей и смазочных материалов на основе минерального масла в турбоустановках, пользователям рекомендуется ознакомиться с руководствами изготовителей турбин и соответствующими государственными и международными стандартами для получения сведений об этой продукции.

ОПИСАНИЕ REOLUBE® TURBOFLUIDS



Для соблюдения строгих эксплуатационных требований самых разных изготовителей турбин и конечных потребителей, **Reolube® Turbofluids** изготавливается из специальным образом очищенного базового триарилфосфатного сырья и содержит добавки для повышения стабильности и снижения склонности к пенообразованию.



ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СРОК СЛУЖБЫ

Срок службы всех турбинных гидравлических жидкостей и смазок (независимо на основе минерального масла или эфиров фосфорной кислоты) определяется следующими факторами:

- Тип и конструкция системы
- Состояние системы и качество ее технического обслуживания
- Условия эксплуатации системы
- Первоначальное состояние жидкости
- Загрязнение и очистка жидкости
- Мониторинг состояния жидкости
- Объема доливочной жидкости

Тип и конструкция системы

В турбины и относящееся к ним оборудование входит целый ряд систем, конструкция которых будет влиять на срок службы гидравлических жидкостей и смазок. К таким системам относится система регулирования расхода пара, система смазки подшипников и зубчатых передач (при наличии) и уплотнения газовой системы водородного охлаждения генератора. Особую важность среди них имеет система гидравлического регулирования, которая работает под высоким давлением (свыше 60 бар, например) и в которой применяются высокоточные сервоклапаны. Поскольку изготовители турбин имеют различные конструкции своих систем управления и смазки, эксплуатационная нагрузка на жидкость может существенно отличаться у разных производителей оборудования.

При проектировании систем, рассчитанных на применение эфиров фосфорной кислоты, изготовители должны учитывать отличия физических и химических свойств данных жидкостей и минеральных масел. Например, более высокая плотность эфиров влечет за собой применение более мощных насосов. Могут также потребоваться специальные уплотнения и прокладки, а также дополнительное фильтрационное оборудование. Если для какой-либо системы планируется перевод с минерального масла на эфиры фосфорной кислоты, то перед выполнением любых доработок необходимо проконсультироваться с производителем оборудования.

Состояние системы

При пуске:

Перед доставкой узлов и агрегатов гидравлической и смазочной систем на промплощадку для сборки, внутренние маслопроводы и поверхности следует защитить антикоррозийным консервантом, совместимым с эфирами фосфорной кислоты. В тех случаях, когда перед доставкой изготовитель подвергает оборудование испытаниям, их рекомендуется проводить с применением эфира фосфорной кислоты с соответствующим ингибитором для защиты от остаточной коррозии.

Срок хранения на промплощадке следует, по возможности, свести к минимуму (рекомендованный период не более одного года), а узлы, покрытые эфиром фосфорной кислоты, следует хранить в помещении и при наличии такой возможности герметизировать, поскольку жидкость весьма гигроскопична. В случае проведения проверки при поставке оборудование непосредственно после этого следует герметизировать, предпочтительно с добавлением осушителя.

Для того, чтобы предотвратить попадание загрязнений во время сборки оборудования, следует обращать внимание на то, чтобы свести к минимуму количество отверстий в системе и строго соблюдать чистоту на участке работ. Предупреждение загрязнений на этом этапе облегчит процесс ввода в эксплуатацию и поможет в дальнейшем обеспечить безаварийную эксплуатацию.

При переходе с минерального масла:

Промывку системы следует осуществлять в соответствии с инструкциями изготовителя и до достижения заданных пределов загрязнения. Это очень важно, так как небольшие количества минерального масла могут отрицательно повлиять на склонность эфира фосфорной кислоты к вспениванию. Примеры процедур промывки приведены в Приложении 1. LANXESS рекомендует использовать промывочную жидкость **Reolube® Turboflush**.

Техническое обслуживание системы

Ни одна жидкость не сможет обеспечить удовлетворительный результат, если система, в которой она используется, не получает надлежащего технического обслуживания. К аспектам технического обслуживания системы, имеющим первостепенное значение с точки зрения эффективной работы жидкости, относится регулярная проверка всех фильтров и сапунов; сведение к минимуму утечек пара и течей в охладителе и предотвращение подсоса воздуха через сальники, уплотнения и т. п. Течи в системе следует свести к минимуму, чтобы ограничить утечку жидкости в окружающую среду. Это позволит сократить затраты на ликвидацию протечек, утилизацию пролитой жидкости и ее замену.

Первоначальное состояние жидкости

Жидкость производится с таким расчетом, чтобы соответствовать максимально широкому диапазону технических требований производителей турбин. В зависимости от их требований, перед применением систему можно промывать отдельной порцией жидкости или жидкостью, которая будет в дальнейшем использоваться в процессе обычной эксплуатации. Если используется второй вариант, то перед началом обычной эксплуатации необходимо провести испытания жидкости для проверки ее соответствия установленным нормам. В этом случае в жидкости, вероятнее всего, будут содержаться загрязнения и, возможно, влага. Циркуляции через фильтры системы, особенно через встроенную байпас систему очистки с твердыми адсорбентами, например фуллеровой землей, Selexsorb или ионообменными смолами может быть достаточно для восстановления приемлемого состояния эфиров фосфорной кислоты. Для получения дополнительного эффекта можно также использовать переносные установки фильтрования и удаления влаги.

Если соответствие жидкости установленным требованиям к первоначальному состоянию не будет обеспечено, это может привести к аннулированию гарантии на оборудование и (или) сокращению срока службы жидкости.

Условия эксплуатации системы

Эксплуатация в непрерывном или в равномерном режиме более благоприятна, чем прерывистый режим работы, так как в таком режиме, например при пуске, жидкость подвергается более высоким нагрузкам и интенсивному износу. При частых остановках и пусках повышается также вероятность загрязнения водой (см. ниже).

Одним из наиболее важных факторов, отрицательно влияющих на срок службы смазки или гидравлической жидкости, является ее температура. Обычно рабочая температура основного объема жидкости поддерживается на уровне от 50°C до 65°C. Однако температура может быть и ниже при условии, что принимаются меры по предупреждению увеличения содержания воды (а следовательно окисление жидкости), которое в противном случае могло бы произойти в результате конденсации в баке. Это особенно справедливо, если турбоагрегат регулярно отключают, например, на выходные. В таких случаях рекомендуется регулярно проверять содержание воды и при необходимости проводить работы по адсорбционной очистке/ или удаления влаги/ или осушения в течение всего времени остановки.

Несмотря на низкие температуры основного объема жидкости, могут иметь место участки локального нагрева, например, в клапанах или подшипниках, на поверхностях нагревателей, в районе газовых затворов и в редукторах. В этих местах может происходить окисление и (или) термический распад жидкости, что в экстремальных условиях (например, при температуре выше 150°C) может вызвать окисление и привести к образованию отложений.

В тех случаях, когда для повышения текучести жидкости при холодном пуске применяются подогреватели бака, их необходимо правильно отрегулировать, а жидкость должна циркулировать в районе подогревателей в течение максимального времени их работы, чтобы предотвратить локальный перегрев жидкости и образование отложений на поверхностях подогревателей.

Загрязнение и очистка

Загрязнение турбинных гидравлических жидкостей и смазок в течение срока службы может произойти в результате действия как внешних факторов (конденсация пара, течи в охладителе, истощение влагопоглотителя в сапуне и т. п.), так и внутренних (деградация жидкости, коррозия и износ насосов, подшипников и т. п.). Напомним, обеспечение чистоты системы при пуске крайне важно. Однако даже если чистота обеспечена, остается возможность загрязнения извне через уплотнения и воздухоотводы (а также в результате использования неправильной или загрязненной доливочной жидкости), поэтому следует принять меры для предотвращения такого загрязнения.

С другой стороны, внутри системы загрязнения образуются всегда. К таким загрязнениям относятся вода, частицы металла и продукты распада жидкости. Частицы металла могут появляться в результате износа редукторов, насосов, подшипников и клапанов. В системах, где присутствует влага, также могут образовываться частицы ржавчины. Такие загрязнения должны удаляться при помощи соответствующей конструкции фильтров и очистителей.

При использовании эфиров фосфорной кислоты особую важность представляет образование кислотных загрязнений, главным образом, в результате гидролиза, а также термического/ окислительного распада. Для того, чтобы обеспечить удовлетворительный срок службы жидкости, фосфат обычно обрабатывают или очищают путем контакта с твердым адсорбентом в байпас системе в обход главного бака гидравлической жидкости. Это твердое вещество позволяет удалить кислотные продукты распада, содержащие хлор вещества и некоторое количество воды, а также задерживает твердые частицы. Такая очистка настолько важна, что более подробно обсуждается в разделе «Очистка или регенерация жидкости»

Несмотря на то, что продукты Reolube® Turbofluids допускают взаимное смешивание, их все же не следует смешивать с жидкостями на основе эфира фосфорной кислоты других производителей без предварительной консультации с компанией LANXESS и изготовителем турбины. Категорически запрещается смешивать данные жидкости с минеральными маслами или водо-содержащими жидкостями из-за их ограниченной или полной несовместимости.

Объем доливочной жидкости

Объем доливочной жидкости и периодичность ее долива в систему играют важную роль в определении срока службы одной заливки жидкости. В тех случаях, когда объем доливочной жидкости относительно высок по сравнению с объемом распада, деградированная жидкость оказывает незначительное влияние на свойства основного объема и поэтому можно по-прежнему рассчитывать на удовлетворительные свойства жидкости.

Добавление значительного объема холодной доливочной жидкости в работающую систему может оказать негативный эффект на ее свойства. Предпочтительно вводить доливочную жидкость приблизительно при той же температуре, какую имела рабочая жидкость перед дозаливкой.

Мониторинг состояния жидкости

Большинством производителей турбин и крупных предприятий энергетики установлены технические требования к качеству используемой жидкости. В случае превышения установленных норм, необходимо принять меры для того, чтобы либо регенерировать жидкость, либо заменить ее частично или полностью. Для того, чтобы обеспечить постоянный контроль за состоянием жидкости, необходимо регулярно контролировать ее свойства. Проверка некоторых свойств, например, содержание воды, кислотность, чистота и внешний вид, проводится достаточно часто (возможно ежемесячно), тогда как проверка других менее важных свойств может проводиться только раз в год. Если не проверять качество жидкости на регулярной основе, это может привести к сокращению ее срока службы и опасности выхода из строя самой турбины. Детали возможного графика проверок приведены в Таблице 3.

Старение жидкостей в процессе эксплуатации

При эксплуатации все турбинные гидравлические жидкости и смазки подвергаются термической и окислительной деградации; кроме того, эфиры фосфорной кислоты могут подвергаться гидролизу. Эти реакции ускоряются при высокой температуре; в присутствии таких катализаторов, как желтые металлы; в результате чего возрастает окисление. В некоторых случаях другие изменения характеристик жидкости, такие как величина деаэрации, сильное пенообразование или низкое сопротивление могут быть сигналом о деградации жидкости. Некоторое ухудшение свойств жидкости может не оказывать влияния на безопасность или эффективность работы системы. Поэтому большинством производителей турбин установлены дополнительные требования, относящиеся к показателям эффективности жидкости, которые позволяют определить момент, когда следует проводить регенерацию или замену жидкости. (При отсутствии таких рекомендаций следует руководствоваться указаниями, приведенными в Таблице 3).

Как было указано ранее, надлежащие процедуры мониторинга крайне важны для того, чтобы определить, что свойства жидкости изменились настолько, что необходимы дальнейшие действия.

Деградация жидкости может отрицательно повлиять на следующие свойства:

Вязкость

Если деградация не является серьезной, у Reolube® Turbofluids наблюдается относительно небольшие изменения вязкости. При этом изменения вязкости могут быть результатом загрязнения жидкости (например, водой или случайного использования несоответствующей доливочной жидкости). Поэтому основная цель проверки вязкости заключается в том, чтобы убедиться, что используется жидкость нужной марки, и определить сильное загрязнение.

Стойкость к окислению

Стойкость жидкости к окислению (а следовательно, и срок ее службы) может медленно снижаться, что может быть вызвано воздействием высоких температур на локальных участках или всего объема жидкости вследствие неправильно подобранных размеров клапанов или подогревателей бака, протечек пара или недостаточной теплоизоляции; либо каталитическим действием металлов, растворенных в результате вызванной кислотой коррозии; либо высоким содержанием воздуха. В каждом случае результатом будет повышение кислотности и, возможно, вязкости, сопровождающееся образованием нерастворимого вещества, которое может привести к неисправности сервоклапанов. Адсорбционная очистка помогает сохранять необходимое качество жидкости путем контроля кислотности и удаления нерастворимых веществ, но такой очистки недостаточно для обеспечения удовлетворительного состояния сильно окислившейся жидкости.

Учитывая склонность эфиров фосфорной кислоты к гидролизу, вода является наиболее вероятной причиной их деградации. Продукты окисления, которые могут катализировать дальнейший гидролиз, вызывают коррозию и (или) эрозию чувствительных компонентов и оказывают негативный эффект на антипенные свойства и деаэрацию жидкости. Из этого следует, что содержание воды должно всегда оставаться низким, предпочтительно от 200 до 1000 ppm. Зависимость степени загрязнения может быть достигнуто путем использования воздухоосушителя и установки на баке вытяжного вентилятора или, что более эффективно, за счет применения мембранного осушителя. Для удаления из жидкости большого количества воды, можно также использовать вакуумную установку обезвоживания.

Как и в случае с минеральным маслом, присутствие воды может стать причиной ржавления и сильного загрязнения. Например, паровое уплотнение или протечка охлаждающей среды может привести к эмульгации жидкости и, как следствие, к ухудшению ее стойкости, смазывающих свойств и т. п., а также возможному отделению свободной воды. Поскольку эмульсии стабилизируются твердыми загрязнениями и кислотной деградацией продуктов, чистая жидкость с низкой кислотностью будет способствовать быстрому отделению воды и предотвращению эмульгации. Если в баке образуется слой свободной воды, ее следует как можно скорее удалить, прекратив работу системы, чтобы тем самым обеспечить отстаивание и слив избытка. Остатки можно удалить при помощи эжектора бака, используя установку обезвоживания или осушения и (или) временно повысив температуру во всем объеме жидкости приблизительно до 70°C. Использование твердых адсорбентов (например, фуллеровой земли) для удаления большого объема воды неэффективно и потребовало бы нескольких замен фильтрующих элементов.

Загрязнение твердыми частицами

Твердые частицы в жидкости, как, например, грязь, ржавчина и частицы металла, могут быть в следствие некачественной промывки, внешнего загрязнения или деградации жидкости. Частицы металла в жидкости способствуют ее окислению, так как действуют как катализатор, и инициируют износ. Кроме того, твердые частицы обычно вызывают более интенсивное поглощение воздуха, вспенивание и эмульгацию. Они являются причиной задиров и разрушения подшипников и насосов, а также неполадок в работе управляющих устройств.

И хотя чистота системы важна в любое время, она приобретает первостепенное значение там, где применяются высокоточные сервоклапаны. Если твердые частицы загрязнения не удалены, возможен износ или образование шлама на этих клапанах и их заедание, и чувствительность системы может ухудшиться. Удельное сопротивление жидкости также оказывает влияние, что может привести к эрозии сервоклапана.

Антипенные свойства и деаэрация

Пена образуется в результате выделения воздуха из жидкости, а если воздух выделяется интенсивно, это может привести к потере жидкости и ухудшению смазывающей способности и теплопередаче. Причиной могут быть механические неисправности, например, подсос воздуха через сальники, уплотнения и т. п., а также истощение антипенной добавки, загрязнение или деградация жидкости. Если результаты лабораторных испытаний свидетельствуют об образовании устойчивой пены, может понадобиться частичная замена жидкости. Однако результаты лабораторных испытаний пены не всегда коррелируются с показателями эффективности, поскольку большое значение имеет конструкция бака. По возможности все сомнительные результаты испытаний следует проверять путем наблюдения за поведением жидкости в баке.

Поглощение воздуха смазками и гидравлическими жидкостями способствует окислению и повышает их сжимаемость. Последнее явление может ухудшить реакцию гидравлической системы. Определенный в лаборатории показатель деаэрации полезен для выявления тенденций свойств жидкости, но при этом не обязательно позволяет прогнозировать поведение используемой жидкости. На практике другие факторы, такие как степень циркуляции жидкости и конструкция бака, а также величина деаэрации и наличие воздуха на входе насоса может быть низким, тогда как показатель деаэрации высокий при лабораторных исследованиях. Поэтому предпочтительно измерять фактическое содержание воздуха на входе насоса, например, при помощи автоматического измерителя плотности.

Антипенные добавки на силиконовой основе, даже в небольших количествах, трудно диспергируются и отрицательно сказываются на величине всасывания жидкости. Следовательно, добавлять их к рабочей жидкости обычно не рекомендуется.

Объемное сопротивление

Если сервоклапаны установлены в гидравлической системе регулирования, обнаруживается высокое электрическое сопротивление (или низкая электропроводность), поэтому необходимо предотвратить электрохимическую эрозию золотника клапана под действием эфира фосфорной кислоты. Низкое сопротивление обычно наблюдается, если жидкость имеет значительную кислотность, содержит много воды или хлоридов, или загрязнена. Для поддержания удовлетворительного значения сопротивления обычно достаточно адсорбционной очистки.

Загрязнители и свойства жидкости

Кроме обычных загрязнителей, воды, воздуха и грязи, которые уже обсуждались, отрицательное влияние на эффективность жидкости могут оказывать следующие факторы:

Содержание хлора

Очень небольшие количества хлора (в виде хлорид-ионов), содержащиеся в эфирах фосфорной кислоты, могут также вызвать эрозию сервоклапанов в гидравлических системах, поэтому содержание хлора должно строго контролироваться. Этот загрязнитель может появиться в процессе производства жидкости, в результате использования для очистки системы хлорсодержащих растворителей, протечек системы охлаждения, а также в виде хлоридов атмосферного воздуха, когда электростанции располагаются недалеко от моря. Поэтому использование таких растворителей или морской воды для охлаждения не допускается.

Несмотря на то, что для определения содержания хлора в смазке существует целый ряд методов, большинство из них не годится, потому что в указанных случаях содержание хлора слишком мало, чтобы его можно было измерить точно. Вот почему настоятельно рекомендуется применять метод, указанный в Таблице 1.

Содержание минерального масла

Присутствующее в малом количестве (<0,5%) минеральное масло может отрицательно повлиять на такие свойства эфиров фосфорной кислоты, как склонность к вспениванию и деаэрация. При большом содержании масла (>4%) снижается огнестойкость и стойкость жидкости к окислению, а некоторые присадки к маслам, могут снизить сопротивление жидкости.

Содержание металлов и их солей

Ранее отмечалось, что определенные металлы каталитически ускоряют процесс окисления, однако растворимые и нерастворимые соли металлов неполных эфиров фосфорной кислоты иногда образуются в результате реакции окисленных продуктов распада с компонентами твердого адсорбента в системе кондиционирования жидкости или в результате коррозии металлических элементов системы. Соли металлов, особенно кальция и магния, могут вызывать вспенивание и повышать величину деаэрации; соли меди ускоряют процессы окисления и гидролиза.

Очистка жидкости или регенерация

Для того, чтобы обеспечить длительный срок службы жидкости, крайне важно контролировать чистоту жидкости, осушать и поддерживать кислотность жидкости на низком уровне. В случае с эфирами фосфорной кислоты этого обычно добиваются путем адсорбционной очистки и вакуумного обезвоживания или мембранного осушения. Предпочтительно, чтобы такое оборудование было постоянной частью системы, но можно применять и передвижные установки, чтобы регенерировать жидкость партиями.

Емкость системы адсорбционной очистки должна соответствовать объему жидкости в системе. В случаях, когда в системе за каждый час прокачивается 5-10% объема жидкости, обычно приемлемым является соотношение твердых адсорбентов к жидкости, равное 1,5-3% по массе. Если мощность системы очистки недостаточна или если величина деградации высокая, контролировать уровень кислотности, разумеется, будет трудно.

Во всех системах адсорбционной очистки сразу же за фильтром из твердого адсорбента должен быть установлен фильтр тонкой очистки с тонкостью фильтрации 3 мкм ($\beta = 200$) для удаления мелких частиц, которые в противном случае могут быть разнесены по всей системе.

Несмотря на то, что для регенерации рабочих жидкостей на основе эфиров фосфорной кислоты многие годы применяются такие адсорбенты, как фуллерова земля и глинозем (или Selexsorb), в процессе эксплуатации периодически возникают проблемы. При использовании фуллеровой земли неизбежно образуются отложения, что связано с высокой кислотностью жидкости и высоким содержанием карбонатов в фуллеровой земле. Высокая кислотность может привести к образованию нерастворимых полимерных фосфатов, а также растворимых и нерастворимых солей кальция и магния в результате взаимодействия с карбонатами в фуллеровой земле. Поскольку фуллерова земля является веществом естественного происхождения, она обладает переменным составом и в некоторых случаях высокое содержание карбонатов неизбежно.

В случае применения глинозема или адсорбента Selexsorb основной проблемой традиционно является удаление солей натрия, которые отрицательно сказываются на склонности к вспениванию и т. п.

Этих проблем можно избежать, если использовать ионообменные смолы, которые сейчас становятся самыми распространенными адсорбентами.

В присутствии кислоты реакция гидролиза эфиров фосфорной кислоты становится автокаталитической, поэтому важно поддерживать кислотность настолько низкой, насколько это возможно. Не рекомендуется допускать превышения предельного значения кислотности свежей жидкости, указанного изготовителем турбины, более чем на 0,1 мг КОН/г. Обычно это означает, что максимальная кислотность при эксплуатации составляет 0,2 мг КОН/г. Картриджи с твердым адсорбентом следует заменять при превышении предельного значения и постоянном росте кислотности. Как вариант, твердый адсорбент можно заменять через определенные интервалы времени (например, каждые 6 месяцев), при условии, что в промежутке между ними кислотность постоянно контролируется и не превышает установленных норм. При высоком содержании воды, фильтр необходимо менять чаще, поэтому при любом отклонении значений от предельных норм, следует как можно скорее выявить причину такого отклонения.

Фильтры с твердым адсорбентом могут также забиваться мелкими частицами, и картриджи фильтров следует менять, если перепад давления на фильтре превышает рекомендованные изготовителем значения (обычно приблизительно 2 бар).

Поскольку фуллерова земля или активный глинозем при контакте с атмосферным воздухом будет быстро адсорбировать влагу, элементы для замены следует поставлять и хранить в герметичных пластиковых пакетах. Непосредственно перед использованием твердый адсорбент следует просушить при температуре 110°C в течение не менее 12 часов, а затем охладить до 20-30°C в сушильной печи непосредственно перед помещением в фильтр. Это объясняется тем, что влага быстро адсорбируется вновь, если высушенный адсорбент оставить при температуре окружающей среды более чем на один час после просушки.

За исключением очистки с помощью смол, влажный адсорбент будет не только менее эффективно удалять продукты распада, но также может выделять в жидкость воду и тем самым способствовать гидролизу.

Для регенерации фосфорной кислоты применяются как влажные, так и частично высушенные ионообменные смолы. Если используются влажные смолы, вода вытесняется из смолы и может вызвать помутнение рабочей жидкости после фильтра. Поэтому необходимо чаще контролировать содержание воды в жидкости и при необходимости поддерживать его в пределах норм, установленных для используемой жидкости, путем обезвоживания или мембранного осушения, особенно когда используются свежие фильтры. Когда турбину отключают и жидкость остывает, в баке может образовываться конденсация, в результате которой происходит гидролиз эфира. Если длительность простоя превышает 1 неделю, рекомендуется по возможности производить кондиционирование жидкости раз в неделю в течение времени, достаточного для проведения, как минимум, одного цикла прогонки залитого объема жидкости через твердый адсорбент при включенной установке осушки в течение этого времени.

В случае длительных простоев пробы эфира фосфорной кислоты с целью определения кислотности и содержания воды следует отбирать с интервалом (скажем) в четыре недели для гарантии отсутствия превышения рекомендованных норм. При невозможности организовать циркуляцию жидкости через твердый адсорбент, пробы для анализа следует все равно отбирать с указанной периодичностью, а если кислотность возрастет до >0,3 мг КОН/г, то перед включением турбины в работу следует как можно скорее произвести регенерацию, чтобы понизить кислотность (и содержание воды) до значения ниже рекомендованных норм. Если кислотность превысит 0,5 мг КОН/г, повторная регенерация всего объема жидкости может оказаться затруднительной или даже невозможной, и может потребоваться ее замена. В таких случаях следует проконсультироваться с поставщиком жидкости по поводу приемлемости качества жидкости.

Ввиду возможного образования солей металлов в результате химической реакции между продуктами кислотного распада и фуллеровой землей, глиноземом или адсорбентом Selexsorb, их присутствие следует определять со строгой периодичностью.

Некоторые твердые вещества могут удалять из жидкости некоторые присадки, такие как антипенные добавки, и в тех случаях, когда для регулирования кислотности жидкости требуется интенсивная адсорбционная очистка, истощение присадок может увеличиваться.

Когда пробы жидкости отбираются из бочек, баков или работающего оборудования, важно строго соблюдать рекомендованные методики. Ниже предлагаются некоторые указания по правильному порядку отбора проб жидкости.

Из бочек

В случае, когда имеются подозрения о присутствии свободной воды, тогда пробу следует брать из верхней части бочки. Пробы обычно отбирают из середины нижней части бочки при помощи подходящего погружного приспособления или пробоотборной трубки, которые тщательно промывают профильтрованным не содержащим хлора растворителем (предлагается изопропанол или ацетон) и высушивают чистым и сухим воздухом. Чтобы предотвратить образование осадка, перед взятием проб жидкость следует тщательно взболтать, либо путем ее перемешивания, либо путем перекачивания бочки. В тех случаях, когда бочки находились на хранении некоторое время, а особенно, если они влажные, рекомендуется перед взятием проб тщательно очистить крышку и область вокруг нее. Не следует брать пробы, если существует вероятность внешнего загрязнения во время этой процедуры, например, из-за дождя или сильного ветра.

Пробу помещают в подходящий контейнер, как описано в разделе «Контейнеры для проб».

Более подробные сведения об отборе проб из бочек можно найти в стандарте ISO 3170 «Нефтепродукты: жидкие углеводороды – отбор проб вручную», или методе испытаний ASTM F302 «Стандартная методика отбора проб авиационно-космических жидкостей в контейнеры». Несмотря на название, последний метод пригоден для применения в промышленности, при условии что не используются хлорсодержащие растворители.

Из емкостей и резервуаров для хранения

Когда жидкость находится в емкости или резервуаре для хранения, перед взятием проб из середины верхней части при помощи предварительно промытого погружного приспособления, следует обеспечить интенсивную циркуляцию жидкости (в течение приблизительно 1 часа); отобранные пробы помещают в чистый контейнер. Подробные сведения о подходящих методиках отбора проб из емкостей и резервуаров для хранения содержатся в Американском национальном стандарте B93.44 «Метод отбора проб жидкости из резервуара работающей гидравлической жидкости силовых систем».

Из трубопроводов (динамический отбор проб)

Пробы можно также отбирать из трубопровода, по которому свободно течет жидкость, преимущественно, в турбулентном режиме, если необходимо определить чистоту этой жидкости. В этом случае перед взятием пробы место отбора проб или клапан следует тщательно промыть. Количество промывки будет зависеть от размеров трубопровода, но, в качестве общего правила, перед взятием пробы через клапан следует пропустить не менее 1-2 литров жидкости. (Во время промывки и отбора проб клапан не следует регулировать). Промывочную жидкость обычно утилизируют.

К подходящим местам отбора проб относят:

- Перед основным блоком фильтров (для полного анализа жидкости)
- После основного блока фильтров (для проверки эффективности фильтрации и чистоты жидкости, поступающей в систему)
- После системы адсорбционной очистки (для оценки эффективности удаления кислоты, воды, хлорсодержащих соединений и частиц, а также улучшения показателя объемного сопротивления)
- После установки обезвоживания (для проверки эффективности установки для удаления воды)

В тех случаях, когда пробы отбирают в целях определения загрязнения механическими частицами, весьма полезным является специальный клапан для отбора проб. Более подробно об этом клапане и методике отбора проб представлено в

стандарте ISO 4021: «Гидравлические гидроприводы - анализ степени загрязнения частицами – отбор проб жидкости из трубопроводов и работающих систем»
и
Американском национальном стандарте B93.19 «Метод отбора проб жидкости из трубопроводов работающей гидравлической жидкости силовых систем (для анализа степени загрязнения частицами)».

В продаже также имеются комплекты для отбора проб в полевых условиях из бочек или трубопроводов с целью определения степени загрязнения частицами. Как вариант, возможен оперативный анализ для определения степени загрязнения или других переменных параметров, таких как содержание воды и объемное сопротивление.

Дополнительную общую информацию по отбору проб жидкости можно найти в стандартной методике ручного отбора проб нефти и нефтепродуктов согласно ASTM D4057.

Контейнеры для проб

Пригодный контейнер для пробы должен быть:

- **Устойчивым к воздействию фосфатов.** Поскольку фосфаты выступают в качестве пластификаторов, некоторые пластиковые контейнеры, например, изготовленные из ПВХ, не пригодны для использования. Если определяется степень загрязнения частицами, необходимо использовать чистую стеклянную бутылку с широким горлом, с нейлоновой или полипропиленовой крышкой. Для других анализов допускаются чистые полипропиленовые контейнеры. Следует избегать использования пробок с вкладышами из бумаги или волокнистого картона, так как они могут стать источником загрязнения твердыми частицами.
- **Чистым и сухим.** Если оценивается чистота пробы, контейнер следует поочередно промыть дистиллированной или деминерализованной водой и профильтрованным не содержащим хлора растворителем (например, изопропанолом) и просушить чистым, сухим, отфильтрованным воздухом. (Более подробно о подходящей методике см. в ISO 3722 «Контейнеры для проб жидкостей»)
- **Сертификационным и контрольным методам очистки,** или соответствовать Британскому стандарту 5540, части 1 и 3, «Анализ степени загрязнения частицами гидравлических жидкостей». В рамках менее строгой методики, контейнер можно несколько раз промыть той жидкостью, проба которой отбирается; в таком случае пробу следует взять непосредственно после промывки.
- **Быть герметичным**
- **Достаточного объема** для проведения всех необходимых анализов. Обычно достаточно 1 литра пробы.

Примечание: При отборе проб жидкостей Reolube® Turbofluids следует принимать надлежащие меры предосторожности. Паспорта безопасности, содержащие подробную информацию, предоставляются по требованию.

Маркировка проб

Пробу следует промаркировать с указанием следующей информацией:

- Наименование заказчика
- Название электростанции и номер турбины (если имеется)
- Наименование или тип жидкости
- Идентификационный номер пробы
- Дата отбора пробы и количество отработанных часов
- Место отбора пробы
- Отмеченные проблемы при эксплуатации
- Был ли контейнер предварительно очищен для проведения анализа степени загрязнения частицами

Методы испытаний

Применимые методы оценки качества продукции **Reolube® Turbofluids** приведены в Таблице 1. Несмотря на то, что большинство параметров жидкости можно, казалось бы, определить несколькими разными методами, они не обязательно равноценны. Поэтому следует убедиться в том, что выбран правильный метод.

График испытаний

- **Свежая жидкость.** Требования к качеству жидкости в поставленном состоянии устанавливаются изготовителем турбины, при этом следует указать ссылку на соответствующие технические условия, где можно найти подробные сведения о рекомендованных методах и предельных значениях контролируемых параметров. Количество бочек из новой партии, из которых отбираются пробы перед применением жидкости, обычно согласовывается поставщиком и потребителем.
- **Испытания в эксплуатации.** Большинство изготовителей турбин (и некоторые эксплуатанты) также выдают рекомендации по техническому обслуживанию жидкости в процессе эксплуатации, которые следует соблюдать. Обычно предусматривается необходимость исследования жидкости после промывки (если предполагается продолжить эксплуатацию того же залитого объема в обычных условиях) и периодического анализа определенных важных свойств. Предлагаемый в Таблице 2 график приводится в качестве примера на случай отсутствия официальных рекомендаций изготовителя. График составлен на основе допущения о том, что система содержит высокоточные сервоклапаны (с зазором <10 мкм) и осуществляется непрерывная адсорбционная очистка системы. Если в системе нет высокоточных сервоклапанов, график может быть менее жестким, например, без измерения сопротивления и содержания хлора. В случае если очистка системы осуществляется в периодическом режиме или если имеются неполадки в системе, то необходимо уделять более регулярное внимание, чем это предусмотрено приведенным графиком.

Предельные значения качества жидкости

Предельные значения большинства важных эксплуатационных параметров представлены в Таблице 3. Эти значения приводятся в качестве общего ориентира и их следует использовать только при отсутствии рекомендаций изготовителей турбин (или эксплуатантов) или в сочетании с такими требованиями. При составлении таблицы было сделано допущение, что в случае обнаружения какой-либо проблемы, которая может быть вызвана отклонениями от нормальных условий эксплуатации или неисправностью системы, будут проведен анализ для определения возможных причин. Частые проверки качества жидкости (при необходимости, ежедневные) следует осуществлять до тех пор, пока неисправность не будет устранена и качество жидкости не будет признано удовлетворительным для продолжения эксплуатации.

Хранение

Продукция **Reolube® Turbofluids** поставляется в бочках массой нетто 230 кг. Изнутри бочки покрыты лаком, чтобы свести к минимуму загрязнение твердыми частицами; с такими бочками следует обращаться с осторожностью, чтобы не повредить данное внутреннее покрытие. Бочки следует хранить в чистом и сухом помещении, предпочтительно при постоянной температуре. Пустые бочки следует хранить в таких же условиях на тот случай, если они потребуются для хранения жидкости, слитой из системы на период проведения технического обслуживания.

В зависимости от условий хранения, кислотность жидкости может постепенно повышаться вследствие гидролиза. Если жидкость хранилась более 1 года, перед использованием следует проверить ее качество. После взятия проб бочки следует немедленно вновь загерметизировать.

Обычно использование небольшого количества жидкости (например, до 10%) с несколько повышенной кислотностью для доливки не оказывает заметного влияния на кислотность общего объема жидкости и поэтому вполне допустимо. Если «старая» жидкость применяется в качестве заменителя всей заливки, то перед использованием следует выполнить проверку полного объема такой жидкости. При любых сомнениях в ее пригодности следует проконсультироваться с изготовителем оборудования или поставщиком жидкости.

С поврежденными бочками следует обращаться с осторожностью; в случае протечки следует воспользоваться песком или опилками и после впитывания пролитой жидкости его следует утилизировать как твердые отходы.

Таблица 1. Рекомендованные методы испытаний (не обязательно идентичные)

	Метод испытаний/ стандарт				
Параметр	ASTM	DIN	IP	ISO	Другие
Вязкость	D445	51562	71	3104	
Кислотное число	D664 ¹	51558	177	6619	
Температура застывания	D97	-	15	3016	
Содержание воды	-	51777	-	760	ISO 6296
Эмульгационные характеристики	D1401	51589	19	6614	
Величина деаэрации	D3427	-	313	9120	
Склонность к вспениванию	D892	-	146	6247	
Температура воспламенения	D92	-	36	2592	
Температура воспламенения в коллекторе	-	-	-	20823	
Тест Вика	-	-	-	14935	
Воспламеняемость в распы- ленном состоянии	-	-	-	15029-2	
Температура самовоспламенения	D2155/E659 ²	51794		3988	
Объемное сопротивление	D1169 (mod) ³				IEC 6022473
Содержание хлора			510		
Минеральное масло	Тонкослойная хроматография или ИК-спектроскопия				
Степень загрязнения*					
■ Автоматический счетчик				11500	DEF STAN 05-46
■ Гравиметрический метод				4405	SAE ARP 485A
■ Микроскопический метод	F312			4407	SAE ARP 598C
Окислительная стабильность					FTMS 5308.6, EN14832
Гидролитическая стабильность	D2619				MIL-PRF-19457D, EN 14833
Содержание металлов	D5185/6595				

* Обычно применяется классификация по степени загрязнения на основе гранулометрического состава. К применимым стандартам относятся ISO 4406; SAE AS 4059E

¹ Кислотное число можно измерять колориметрическим (ASTM D974/ISO 6618) или потенциометрическим (ASTM D664/ISO 6619) методами. Полученные этими двумя методами значения будут различаться. Однако при том, что для анализа свежей жидкости можно использовать оба метода, потенциометрический метод является предпочтительным для анализа жидкости, находившейся в работе, особенно если она потемнела. При использовании колориметрического метода для анализа свежей жидкости и потенциометрического метода для анализа использованной будут получены несопоставимые результаты.

² Метод ASTM D2155 в настоящее время устарел, но отраслевые специалисты по-прежнему на него ссылаются, так как заменивший его метод E659 дает более низкие значения.

³ Эти два метода измерения сопротивления дают разные значения и не являются взаимозаменяемыми.

Таблица 2. Примерный график испытаний для определения важных свойств жидкости

Свойство	Заливка свежей жидкости ⁴	Периодичность испытаний после пуска ⁵					Последующие действия ⁶
		1 неделя	2 недели	1 месяц	2 месяца	3 месяца	
Внешний вид	■	■	■	■	■	■	Раз в месяц
Вязкость при 40°C	■	■		■		■	Каждые 6 месяцев
Кислотное число	■	■	■	■	■	■	Раз в месяц
Содержание воды	■	■	■	■	■	■	Раз в месяц
Величина деаэрации	■	■		■		■	Каждые 3 месяца
Содержание хлора	■	■		■		■	Каждые 3 месяца
Загрязнение твердыми частицами	■	■	■	■	■	■	Раз в месяц
Объемное сопротивление	■	■	■	■	■	■	Раз в месяц
Содержание минерального масла	■	■		■		■	Каждые 3 месяца
Содержание кальция/магния/натрия ⁷	■					■	Каждые 6 месяцев

⁴ После промывки или если жидкость заменяют после 24 часов циркуляции.

⁵ Этот график испытаний составлен на основании допущения о том, что эксплуатация осуществляется в непрерывном или полунепрерывном режиме. В случае длительного простоя качество жидкости следует проверить до пуска, а в дальнейшем, при условии получения удовлетворительных результатов, проверять его с периодичностью, рекомендованной выше для последующей эксплуатации.

⁶ В случае возникновения в процессе эксплуатации какой-либо проблемы может потребоваться сокращение интервала контроля отдельных свойств до тех пор, пока проблема не будет устранена.

⁷ При использовании фуллеровой земли, глинозема или адсорбента Selexsorb, или если эти адсорбенты использовались в прошлом.

Таблица 3. Интерпретация результатов испытаний рабочей жидкости и рекомендованные меры

Свойство	Предельная граница	Интерпретация	Действие
Внешний вид	Помутнение жидкости	Загрязнение водой и (или) твердыми частицами	Определить степень загрязнения водой и твердыми частицами
	Быстрое обесцвечивание	Загрязнение или повышенная деградация	Определить химический состав и кислотность жидкости
Вязкость	+/- 5% от первоначального значения при 40°C	Загрязнение водой, неправильно выбранная жидкость или сильная деградация жидкости	Определить химический состав, содержание воды и металлов
Кислотное число	0,2 мг КОН/г	Необходимо заменить фильтрующий элемент и (или) высокая степень загрязнения водой	Заменить фильтрующий элемент и определить содержание воды
	0,5 мг КОН/г	Очень высокая степень загрязнения водой и (или) термическая нестабильность жидкости и (или) некачественно выполненная адсорбционная очистка/обезвоживание	Проверить качество жидкости; рассмотреть возможность замены, при необходимости; проверить работу системы адсорбционной очистки/установки обезвоживания или осушения (включая эжектор бака)
Содержание воды	1200 ppm	Течь, попадающая в систему, и (или) недостаточная пропускная способность установки обезвоживания/осушения и (или) истощение влагопоглотителя в сапуне	Проверить бак, охладитель и уплотнения на наличие течи и убедиться в удовлетворительной работе установки обезвоживания/осушения (включая эжектор бака), заменить влагопоглотитель в сапуне
Пенообразование	Толстый слой пены в резервуаре или стойкая пена, обнаруженная при лабораторных испытаниях	Истощение антипенной присадки, воздух в системе, загрязнение минеральным маслом, твердыми частицами, солями металлов и т. п.	Убедиться в наличии антипенной присадки, проверить уплотнения, сальники и т. п. на подсос воздуха, проверить жидкость на предмет загрязнения
Деаэрация	10 минут при 50°C	Загрязнение минеральным маслом, твердыми частицами, солями металлов и т. п. или сильная степень деградации	Проверить жидкость на предмет загрязнения и изменения вязкости
Содержание минерального масла	0,5%	Загрязнения вследствие некачественной промывки, повреждение уплотнения или применение несоответствующей доливаемой жидкости	Заменить жидкость
Степень загрязнения частицами (при наличии сервоклапанов)	ISO Класс чистоты 18/16/13	Источники частиц	Определить источник и природу частиц
Степень загрязнения частицами (при отсутствии сервоклапанов)	ISO Класс чистоты 19/17/14	Жидкость, пыль или зола, проникающие в систему, мелкие частицы из земельных фильтров, частицы износа, частички ржавчины или продукты деградации	Проверить систему фильтрации и обеспечить герметичность бака
Содержание хлора	50 ppm	Течь в охладителе, истощение влагопоглотителя в сапуне или загрязнение жидкости хлорсодержащими компонентами растворителями для чистки	Установить причину и обеспечить непрерывное фильтрование, чтобы снизить степень загрязнения до приемлемого уровня, затем заменить фильтрующий элемент; если степень загрязнения не снижается, рассмотреть возможность замены жидкости, при необходимости заменить влагопоглотитель в сапуне
Объемное сопротивление	4×10^{-9} Ом·см (40 МОм·м) при 20°C	На объемное сопротивление отрицательное воздействие оказывают такие факторы, как пыль, хлорид-ионы, продукты окисления и вода; возможно, фильтр с твердым адсорбентом не обеспечивает удовлетворительное кондиционирование жидкости	Определить состояние жидкости, и если она загрязнена, принять соответствующие меры, как описано выше, заменить картриджи фильтра и контролировать параметр сопротивления через короткие интервалы времени, пока его значение не превысит этот предел
Содержание кальция/магния/натрия	5 ppm ¹ любого из данных металлов или 15 ppm суммарно	Взаимодействие между жидкостью и твердым адсорбентом	Определить кислотность жидкости и содержание воды и заменить фильтрующий элемент, использоваться ионообменную смолу для снижения степени загрязнения

Процедуры промывки

Обычно систему промывают по одной из трех причин:

- необходимо удалить загрязнения из новой системы перед нормальной эксплуатацией;
- необходимо заменить предыдущую заливку другого типа жидкости, например, минеральное масло;
- необходимо заменить весь объем загрязненного эфира фосфорной кислоты

В каждом случае следует придерживаться процедуры, рекомендованной производителем турбины. Другие источники сведений о процедурах промывки перечислены в разделе ссылок после Приложения. При отсутствии подробных рекомендаций можно воспользоваться процедурами, описанными ниже.

Следует отметить, что при промывке не все загрязнения могут быть удалены и они могут проявиться позже в переходных процессах. Однако эфиры фосфорной кислоты обладают ярко выраженным эффектом «растворителя» и поэтому гораздо лучше «транспортируют» твердые загрязнения, чем минеральное масло. Вследствие этого первоначальный объем циркулирующих частиц может быть больше, поэтому может потребоваться более длительная промывка, чем обычно.

В качестве альтернативы вместо жидкости **Reolube® Turbofluid** компания LANXESS рекомендует применять для промывки промывочную жидкость **Reolube® Turboflush**.

Подготовка системы

Перед началом промывки необходимо сделать некоторые приготовления, чтобы свести к минимуму повреждение чувствительных компонентов и создать условия для максимально эффективной операции. Эти приготовления могут несколько отличаться в зависимости от применяемой процедуры и конструкции системы. Промывку можно осуществлять при помощи специальной промывочной установки или путем доработки существующей системы. Дальнейшие примечания основываются на допущении, что применяется последний способ.

Внутренние поверхности труб и оборудования лучше всего очищать в условиях турбулентного потока жидкости. Этого можно добиться, когда скорость потока превышает $0,1413dv$ литров/минуту, где d – внутренний диаметр в мм, а v – вязкость жидкости в сантистоксах при температуре промывки. Простукивание по трубопроводам до и в процессе промывки также будет способствовать разрыхлению грязи, осадка и т. п.

Если главный маслоснасос не способен обеспечить прокачку необходимого объема жидкости, могут потребоваться вспомогательные или внешние насосы.

Все компоненты, которые могут быть повреждены протекающей с высокой скоростью жидкостью, такие как небольшие диафрагменные клапаны, редукторы, моторы, цилиндры и приводы следует заглушить или демонтировать из системы, заменив их с помощью байпасов при необходимости, которые совместимы с промывочным материалом.

На входе насоса можно временно установить фильтр ячейками приблизительно 100 меш и воспользоваться вспомогательным или перепускным бумажным фильтром, чтобы повысить скорость фильтрации и контролировать размер частиц. В условиях турбулентного потока не стоит применять фильтры тонкой очистки. При необходимости фильтры системы можно оставить на месте, но извлечь фильтрующие элементы.

Установка воздухоотводчиков (при их отсутствии) в высоких точках системы обеспечит полное заполнение системы, тогда как сливы следует устраивать в каждой нижней точке системы.

Возможно будет целесообразно разделить систему на секции или контуры и промывать их по отдельности. В этом случае для каждой секции следует предусмотреть соответствующие соединения для промывки, а секции следует промывать в строго определенной последовательности.

Промывка новых систем

Во время сборки трубопроводы, фитинги и внутренние поверхности бака новой системы должны быть уже очищены, высушены и покрыты консервационной жидкостью, совместимой с эфиром фосфорной кислоты. Однако некоторые производители рекомендуют после сборки протравить трубопроводы системы кислотой. Поскольку остаточное содержание кислоты или воды снижает эффективность фосфата, при выполнении рекомендованной изготовителем процедуры необходимо соблюдать максимальную осторожность.

Компоненты системы должны поставляться в чистом состоянии с покрытием из пленки защитной жидкости. По окончании сборки оборудования его следует при необходимости доработать, чтобы обеспечить удовлетворительное качество промывки, выполняемой в соответствии с общими комментариями, приведенными в Разделе 2.

Перед промывкой следует осмотреть внутренние поверхности, к которым имеется доступ, и компоненты, которые можно демонтировать, а консервант или масло полностью удалить при помощи безворсовой ткани и углеводородного растворителя, например, толуола, ксилола или растворителя «сольвент-нафта»⁸. Следует избегать применения хлорсодержащих растворителей, особенно в системах, оборудованных сервоклапанами. Если имеются следы ржавчины, их следует удалить щеткой или шлифованием, тщательно удаляя при этом все частицы металла. Очищенные поверхности необходимо защищать от контакта с атмосферным воздухом, если заливка системы планируется через значительный промежуток времени. В данном случае поверхности следует покрыть промывочной жидкостью или совместимым с фосфатом консервантом в зависимости от предполагаемого времени до заливки.

Затем систему следует продуть сухим сжатым воздухом, после чего бак заливают промывочной жидкостью до минимального рабочего уровня. Может потребоваться 60-85% от нормального эксплуатационного объема заливки. Используемая жидкость должны быть идентична заливаемой (или такого же химического типа и той же вязкости), профильтрованной через фильтр с тонкостью фильтрации 3 мкм ($\beta = 200$) перед заливкой в систему. Применение для промывки другой жидкости может привести к изменению характеристик рабочей жидкости и аннулированию гарантии на нее или оборудование.

Во время последующей циркуляции жидкости, полное заполнение достигается с помощью воздухоотводов, затем температуру жидкости повышают до 60-65°C, после чего увеличивают скорость жидкости для создания турбулентного потока.

Продолжительность промывки будет варьировать от нескольких часов до нескольких дней, в зависимости от размера и сложности системы, уровня загрязнения и необходимой степени чистоты. При применении в турбинах, в частности, в гидравлических системах, обычно требуется высокий уровень чистоты, и рекомендуется регулярно контролировать жидкость на предмет загрязнения частицами. После того, как результаты измерения степени загрязнения перестали изменяться, можно либо слить жидкость и заправить новую, либо продолжить фильтрацию, чтобы снизить степень загрязнения до приемлемого уровня перед началом нормальной эксплуатации. При отсутствии рекомендаций изготовителя для гидравлических систем с сервоклапанами обычно считается приемлемой степень чистоты 17/15/12 согласно ISO 4406. Для систем без сервоклапанов приемлемой считается степень чистоты 18/16/13 в соответствии с ISO 4406.

Во время промывки основные и вспомогательные фильтры могут довольно быстро забиваться, поэтому элементы следует менять при первом выявлении заметного роста перепада давления на фильтрах.

Если система была сильно загрязнена и требуется свежая заливка для обеспечения приемлемого уровня содержания частиц, следует, на сколько это возможно, полностью слить жидкость из системы, пока она еще теплая и продуть систему сухим воздухом, чтобы удалить остатки жидкости. Затем следует осмотреть те внутренние поверхности, к которым имеется доступ, чтобы проверить, нет ли на них следов отложений, масляных пленок и т. п. и при необходимости очистить их, как описано в Разделе 3 настоящего Приложения.

Для второй заливки режим турбулентного потока, возможно, и не нужен, поэтому систему можно собрать в нормальной рабочей конфигурации, включая оборудование для тонкой фильтрации и адсорбционной очистки. Вторую заливку вводят в систему через фильтры и прокачивают при нагревании до тех пор, пока уровень загрязнения не снизится до приемлемого. Если промывочную заливку предполагается использовать в качестве рабочей жидкости, следует обеспечить ее циркуляцию через фильтры до тех пор, пока не будет достигнута соответствующая степень чистоты/загрязнения. При необходимости систему следует затем очистить и привести в нормальное рабочее состояние.

⁸ **Примечание:** углеводородные растворители являются огнеопасными, обращаться с осторожностью.

Промывка систем, ранее содержавших минеральное масло

Минеральное масло следует заменять эфиром фосфорной кислоты только после консультации с производителем турбины, который выдаст рекомендации по доработке системы для обеспечения совместимости с новой жидкостью.

Поскольку присутствующее минеральное масло может оказать вредное воздействие на уплотнения некоторых типов (например, из этилен пропилена) и на такие свойства эфира фосфорной кислоты, как вспенивание, деаэрация и огнестойкость, важно обеспечить минимальное остаточное содержание масла после промывки. Для ответственных систем, т. е. работающих под высоким давлением и содержащих сервоклапаны, содержание минерального масла должно быть снижено до 0,1% или менее. Для других систем обычно допускается присутствие 0,25% минерального масла.

Обычно жидкость из системы сливают, чтобы иметь возможность внесения в нее необходимых изменений, но на металлических поверхностях по возможности должна оставаться пленка жидкости в целях предотвращения ржавления в период переоборудования системы. Если предполагается, что переоборудование займет некоторое время, следует обеспечить наличие жидкости максимально долго в тех частях системы, которые не модифицируются, а поверхности, к которым имеется доступ, следует защитить подходящей консервационной жидкостью. Любые замеченные следы ржавчины следует удалить, а соответствующий участок очистить аналогичным образом. Поскольку большинство лакокрасочных материалов не совместимы с эфирами фосфорной кислоты, внутренние поверхности, покрытые любым материалом, кроме двухкомпонентной эпоксидной, винилэфирной краски или эмали горячей сушки, следует очистить от покрытия при помощи щелочного очистителя, тщательно промыть водой и высушить непосредственно перед нанесением на них консервационного покрытия.

В случае, если оборудование необходимо очистить в рамках доработки, очистку следует выполнять безворсовой тканью, пропитанной углеводородным растворителем. Применения хлорсодержащих растворителей следует избегать, особенно в системах с сервоклапанами.

После монтажа доработанные или замененные компоненты, если они не защищены от ржавчины, следует покрыть промывочной жидкостью или совместимым с эфиром фосфорной кислоты консервантом. При необходимости остальную часть системы следует тщательно промыть и продуть сухим сжатым воздухом, чтобы удалить, насколько это возможно, все минеральное масло. Съемные компоненты, предварительно не очищенные и не покрытые промывочной жидкостью или совместимым с эфиром фосфорной кислоты консервантом, обрабатывать следует, только если возникнет необходимость удаления грязи или ржавчины.

Систему следует адаптировать к промывке в режиме турбулентного потока, как указано в Разделе 2 настоящего Приложения.

Бак следует заполнить до минимального рабочего уровня промывочной жидкостью, профильтрованной через фильтр с тонкостью фильтрации 3 мкм ($\beta = 200$). Эта жидкость должна быть идентична той, которая будет использоваться в последующей эксплуатации.

При помощи воздухоотводов жидкость прокачивают по системе, обеспечивая ее полное заполнение. Температуру повышают до 60-65°C, а затем увеличивают скорость циркуляции, чтобы обеспечить прохождение турбулентного потока через промываемую систему или секцию. Следует обращать внимание на состояние фильтра во время промывки, а его элемент следует менять, когда перепад давления на фильтре заметно возрастет.

Промывка может занять несколько дней в зависимости от остаточного содержания масла и степени загрязнения системы. Во время промывки рекомендуется тщательно следить, как минимум, за такими параметрами, как содержание минерального масла и степень загрязнения частицами. После того как эти параметры перестанут изменяться, жидкость следует слить, пока она еще теплая, и продуть систему сухим сжатым воздухом для удаления остатков жидкости. Следует осмотреть все внутренние поверхности, к которым имеется доступ, и компоненты, которые можно демонтировать, на предмет наличия отложений, масляных пленок и т. п., которые следует удалить при обнаружении.

Повторная заливка промывочной жидкости обычно не требуется, если только система не загрязнена очень сильно. Затем систему приводят в состояние для нормальной эксплуатации: удаляют байпас и заглушки и устанавливают на место чувствительные компоненты.

Систему заливают рабочей жидкостью, предварительно пропустив ее через фильтр с тонкостью фильтрации 3 мкм ($\beta = 200$).

После прокачки, но до начала нормальной эксплуатации следует произвести анализ жидкости, чтобы убедиться в том, что она соответствует требованиям производителя турбины, даже если гарантийный срок оборудования уже истек. В случае любых сомнений в качестве жидкости следует проконсультироваться с производителем оборудования и поставщиком жидкости.

Замена загрязненного эфира фосфорной кислоты

При замене отработанного эфира фосфорной кислоты заливка промывочной жидкости обычно не требуется. Однако, в случае значительного загрязнения жидкости (например, водой, минеральным маслом или частицами грязи), может быть целесообразно слить жидкость и промыть систему. В случаях, когда загрязнение минеральным маслом и (или) частицами представляет собой проблему, можно применить процедуру, описанную в Разделе 4 настоящего Приложения, при этом создание турбулентного потока, возможно, не потребуется.

Если в систему попало значительное количество воды, она будет циркулировать вместе с жидкостью и отделится в баке. В этом случае перед тем, как слить жидкость из системы, следует удалить максимально возможное количество свободной воды. После слива жидкости следует продуть систему горячим сухим воздухом, чтобы удалить остатки жидкости и выпарить следы воды.

Следует тщательно осмотреть все поверхности, к которым имеется доступ, и съемные компоненты; ржавчину следует удалить, а поверхности покрыть составом для защиты от коррозии, совместимым с эфиром фосфорной кислоты. При подозрении на наличие ржавчины в трубопроводах эффект будет лучше от промывки в турбулентном режиме, но, возможно, возникнет необходимость в замене компонентов со следами ржавчины; в этом случае следует проконсультироваться с их производителем.

Если при новой заливке содержание воды осталось на уровне 0,25% или выше, может потребоваться замена, как минимум, части залитой жидкости, чтобы быстро снизить содержание воды до приемлемого уровня. Как вариант, можно использовать установки вакуумного обезвоживания или мембранной осушки. Адсорбционная очистка неэффективна при удалении большого количества воды. Повышение температуры жидкости в течение некоторого времени также способствует удалению воды, но цель в данном случае должна заключаться в том, чтобы максимально быстро снизить содержание воды, чтобы свести к минимуму возможность гидролиза жидкости или ржавления.

Утилизация промывочной жидкости

Жидкость, которая загрязнена минеральным маслом в количестве 0,5% или более, нельзя использовать повторно для промывки или доливки, ее следует утилизировать сжиганием.

Жидкость, которая использовалась для промывки новых систем, можно сохранить и использовать повторно (возможно, после регенерации) для промывки других новых или бывших в эксплуатации систем, в зависимости от рекомендаций производителя турбины и удовлетворительных результатов анализа жидкости.