

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХЛОРИД-ИОНОВ НА ПОДПИТОЧНЫЕ ВОДОРОДНЫЕ КОМПРЕССОРЫ

М. Фуладиванда, М. А. Хейдари

Инвестиционная компания Иранской химической промышленности,
Иран, г. Исфахан, 8335144114

Перевод с английского

М. А. Федорова

Омский государственный технический университет,
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

Присутствие нежелательных химических веществ в технологических линиях и оборудовании вызывает дефекты и сбои, которые иногда оказывают значительное воздействие на системы и налаживают дополнительные затраты на производственный процесс. В этом исследовании исследуются два четырехступенчатых подпиточных водородных компрессора. Эти поршневые компрессоры, которые служат частью установки для обработки водорода, вышли из строя примерно одновременно. Подача этих компрессоров осуществляется чистым газом, богатым водородом. В обоих компрессорах подобные проблемы проявились на первой и второй ступенях. Одновременное повышение температуры цилиндра и уменьшение расхода привело к принудительному отключению компрессоров. Первоначальные проверки выявили наличие отложений, покрывающих цилиндр и его компоненты. Гидравлические испытания клапанов выявили значительную утечку во всех всасывающих и нагнетательных клапанах цилиндров. Более того, толщина всех поршневых колец уменьшилась до 50 процентов, что превышает допустимые значения. Состав отложений, проверенный методом рентгеновской флуоресценции (XRF) и рентгеновской дифракции (XRD), в результате анализа показал, что они содержат 35,2 процента (массовые доли) хлора и 27,5 процента железа и заметное количество серы или фосфора. Рентгеновский анализ показал, что гидрат хлорида железа является основной частью отложений. В этой статье исследуется влияние вышеупомянутых химических веществ на конструктивные элементы компрессора и предлагаются некоторые подходы к поглощению или ингибированию этих химических веществ.

Ключевые слова: водородный компрессор, отложения в цилиндре, аварийное отключение, рентгеновские исследования, поглощение и ингибирование.

Перевод публикуется с разрешения авторов и оргкомитета серии конференций IOP: «Материаловедение и инженерия» (IOP Conference Series Materials Science and Engineering) (Лондон, 2021).

1. Введение

Наиболее широко распространенный тип компрессоров, используемых в промышленности, это поршневые компрессоры [1, 2], которые являются важнейшими элементами процесса, обеспечивая сжатие газов до высоких давлений. Затраты на техническое обслуживание поршневых компрессоров примерно в три с половиной раза выше, чем у центробежных компрессоров [3]. Увеличение срока службы компрессора на одну неделю может означать экономии средств нефтеперерабатывающего завода от четверти до трех четвертей миллиона долларов [4]. Таким образом, сокращение затрат на техническое обслуживание и срока простоев имеет первостепенное значение для этих машин.

Ряд факторов оказывает непосредственное влияние на условия эксплуатации и эффективность поршневых компрессоров, которым были посвящены десятки экспериментальных и теоретических исследований, представленных в печати. В некоторых из этих исследований был проанализирован

механизм отказа компрессора. Так, Леонард [4] утверждает, что 8,8 % незапланированных остановок компрессора происходит из-за технологических проблем. Технологические сбои влияют на механические части поршневых компрессоров, такие как клапаны, уплотнения и поршневые кольца, которые вызывают остальные незапланированные остановки.

Клапаны компрессора также могут быть повреждены агрессивными химическими веществами. Это обычная проблема при незапланированных остановках поршневого компрессора. Согласно некоторым исследованиям, неисправность клапана компрессора может иметь механические причины или зависеть от среды. Последние — это те элементы в окружающей среде клапана, которые могут привести к отказам клапана, например коррозионные загрязнения, посторонние материалы, скопление жидкости или неправильная смазка.

Агрессивные химические вещества и загрязненный технологический газ могут нанести вред внутренним компонентам компрессоров и приве-

сти к остановке процесса, а также к повышенным затратам на ремонт. Следует указать на наличие коррозионных агентов, в том числе на их наличие в составе технологических жидкостей, которые могут вызвать коррозионное растрескивание, поэтому необходимо принять некоторые предупредительные меры [5].

Например, в процессе непрерывной регенерации катализатора появляется вязкая жидкость, называемая зеленым маслом, что создает проблемы для компрессоров этой установки. Реформатор ССР является одной из важнейших установок на нефтеперерабатывающих заводах. Полимеризованные углеводороды с длинной цепью, обычно называемые зеленым маслом, являются конечными продуктами нежелательных реакций полимеризации, происходящих на поверхности катализатора. Реакция хлористого водорода с углеводородами приводит к образованию молекул хлорированных углеводородов, которые являются зелеными или красными и содержат в основном углеводороды C₆-C₁₈, с потенциальным дополнением выше C₄₀. Считается, что эти углеводороды являются олигомерами легких олефиновых углеводородов, с ароматическими ядрами, включенными в структуры [6].

Зеленое масло образуется быстро при высоком давлении и температуре. В некоторых тематических исследованиях, которые были проведены на нефтеперерабатывающем заводе, наблюдения показали постоянные проблемы с наличием закупорки или загрязнения нижестоящего оборудования из-за наличия этого зеленого шлама. После удаления хлорида из технологического газа вышеупомянутые проблемы больше не наблюдались.

Другой пример отказа компрессора из-за технологических проблем был экспериментально изучен Ли и др. [7]. В этом исследовании на трех компрессорах были выявлены такие проблемы, как поврежденные клапаны и треснувшие поршни. В целях уменьшения возможности отказа компрессора были также рассмотрены процесс и механическая конструкция. Условия эксплуатации были скорректированы таким образом, чтобы уменьшить содержание легкого олефина. В результате было снижено образование зеленой нефти и хлоридов в технологических линиях. Кроме того, в этом исследовании было предложено изменить тип клапана и улучшить конструкцию поршня, чтобы он мог выдерживать большие нагрузки.

В дополнение к предыдущим исследованиям по наблюдаемым проблемам компрессоров, связанным с технологическими проблемами, это исследование было проведено в процессе дегидрирования и гидроочистки. Для лучшего понимания краткое описание процесса объясняется в следующем разделе.

1.1. Описание процесса.

Процесс дегидрирования представляет собой каталитический процесс с неподвижным слоем катализатора для селективного дегидрирования высококипящих нормальных алканов, подаваемых в соответствующий моноолефиновый продукт. Подача в установку дегидрирования осуществляется в результате обычного процесса разделения алканов (например, процесс Molex). Сырье должно быть соответствующим образом гидроочищено, чтобы быть свободным от потенциальных ядов катализатора дегидрирования, таких как соединения серы и азота [8].

Желаемый продукт из установки дегидрирования, основанной на лицензии Пакол, как правило,



Рис. 1. Установка дегидрирования алканов [8]
Fig. 1. Paraffin Dehydrogenation Unit [8]

представляет собой смесь нормальных моноолефинов с количеством атомов углерода в цепи, варьирующихся в пределах C₁₀-C₁₃ или C₁₁-C₁₄. Эти олефины затем используются на установке детергентного алкилирования для получения линейного алкилбензола (LAB) путем взаимодействия олефинов с бензолом. Линейный алкилбензол обычно сульфурит для получения биоразлагаемого моющего средства в установке, расположенной далее.

Как показано на рис. 1, реактор дегидрирования заполнен неподвижным слоем катализатора, содержащим платину. В этом реакторе происходит селективное дегидрирование нормального алканового сырья до соответствующего моноолефинового продукта. Технологическая схема и технологическое оборудование установки дегидрирования очень похожи на многие другие реакционные системы рециркуляции водорода, такие как платформа, изомер и др. Полученный чистый обогащенный водородсодержащий газ направляется в установку гидроочистки.

Потенциальные кислотные катализаторные яды, такие как хлоридные и фторидсодержащие соединения, не должны попадать в реактор дегидрирования. Эти соединения могут разлагаться на катализаторе, а на поверхности катализатора могут оседать ионы хлорида или фтора. Это привело бы к образованию участков кислотного катализатора, которые значительно увеличили бы реакции крекинга, производство легких продуктов и изомеризацию n-парафина. Следовательно, содержание фтора, хлорида и других нежелательных химических веществ, таких как сера и тяжелые металлы, должно быть меньше одного промилле в сырье для дегидрирования. Отделение этих нежелательных соединений производится в процессе гидроочистки с использованием водорода, полученного в установке дегидрирования.

Установка гидроочистки разработана на основании «лицензии Unionfining». На рис. 2 представлен общий вид технологической схемы установки гидроочистки керосина. Сырье смешивается с отходящими из реактора отходами, с рециркулирующим водородом, а затем нагревается до температуры реакции в нагревателе прямого нагрева. После этого комбинированное сырье проходит через реактор, который содержит катализатор, ускоряющий реакцию. Сточные воды реактора охлаждаются первоначально за счет сырья, а затем в ряде охладителей

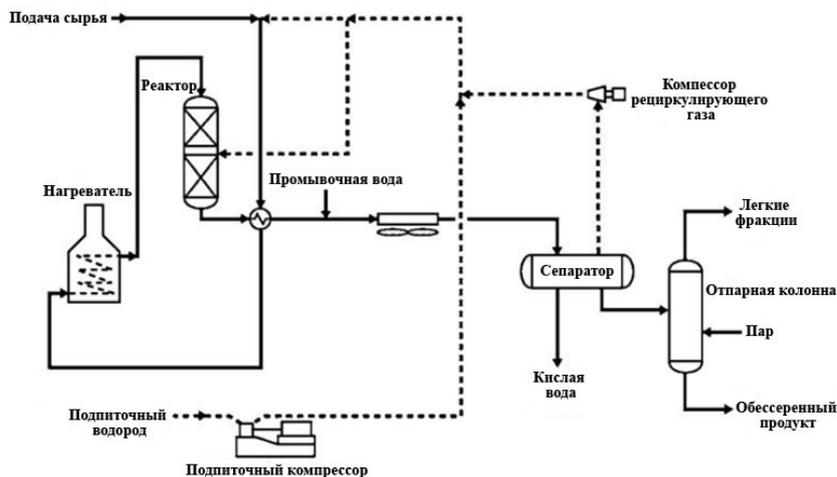


Рис. 2. Установка гидроочистки керосина (КНТ) [8]
Fig. 2. Kerosene Hydrotreating Unit (KHT) [8]

перед разделением в парожидкостном сепараторе. Часть пара сжимается, соединяется с полученным водородом и возвращается в реактор. Жидкая часть подается во фракционирующий аппарат, очищенный от легких фракций, H_2S и NH_3 [8].

Процесс гидроочистки снижает содержание серы и азота до менее чем 0,5 мас. частей на миллион, а металлов — до неопределяемых уровней [6]. Подпиточный водород добавляется в выходящий из реактора поток до того, как он попадет в конденсатор. Подпиточный водород получают из водородной установки и установки дегидрирования. Поскольку гидроочиститель керосина работает при давлении 59 кг/см², давление подпиточного водорода должно быть повышено до номинального с помощью подпиточного компрессора. Компрессор подпитки водорода из установки дегидрирования представляет собой четырехступенчатый поршневой компрессор. Водород из рециркулирующего газового потока установки дегидрирования поступает при давлении около 2 кг/см² на всасывание на первой ступени четырехступенчатого компрессора, а очищенный газ из испарительного барабана низкого давления поступает на всасывание 3-й ступени.

Четырехступенчатый поршневой компрессор увеличивает давление подпиточного газа примерно с 2 кг/см² до давления в сепараторе продуктов реактора около 59 кг/см².

Как упоминалось ранее, даже присутствие небольшого количества хлористого водорода в чистом газообразном водороде может вызвать проблемы с процессом и оборудованием, такие как коррозия в трубопроводах, клапанах и компрессорах. Номинально хлорирующий агент вводится во время производства и регенерации катализатора в процессе оксихлорирования для восстановления оптимальной дисперсии металлической фазы катализатора на основе платины и восстановления типичного содержания хлора в катализаторе 0,9–1,1 мас. %. Это, как правило, приводит к гидроочистке подпиточного газа с содержанием хлора около одного промилле. Поскольку газообразный водород из установки дегидрирования содержит хлор, поступающий на всасывание компрессора подпитки, основным источником хлора является гидроочистка подпиточного газа, что приводит к обострению проблем образования зеленой нефти, коррозии и загрязнения.

1.2. Предыдущие обзоры.

Аналогичные проблемы наблюдались в некоторых отраслях промышленности. Такая же жидкость была обнаружена на корейском нефтеперерабатывающем комплексе. Проблема была решена путем установки поглотителя хлорида на выходной линии камеры восстановления. Специальный абсорбент в сосуде с неподвижным слоем может удалять небольшие количества хлорида в качестве улавливающего материала в потоках жидкости или газа [6].

Высокоактивированный оксид алюминия является правильным выбором для удаления хлорида водорода в газовой фазе; предназначен для улавливания как неорганических, так и органических хлоридных примесей в технологическом потоке. Некоторые компании также рекомендовали свои адсорбенты, которые обеспечивают эффективность удаления хлора до 99 % и снижают эксплуатационные расходы платформы CCR.

Карими и Мохаммадморади [9] также провели технико-экономическое обоснование для изучения путей сокращения добычи экологически чистой нефти с использованием иерархического анализа с помощью программного обеспечения экспертного выбора. Они выбрали три адсорбента активированного оксида алюминия, улучшенный оксид алюминия и комбинацию углеродного волокна и активированного угля. Они также указали, что альтернативный гибридный углеродный волокна и активированного угля был выбран в качестве лучшего адсорбента с приоритетом 35,3 % по сравнению с другими адсорбентами.

2. Замечания и обсуждение

В соответствии с процессом, упомянутым ранее, газообразный водород из установки дегидрирования подается в компрессоры подпитки и включается в водородный цикл установки гидроочистки. Для подачи в реакционный контур гидроочистки давление газообразного водорода должно быть увеличено до 59 кг/см². Компрессоры подпитки представляют собой четырехступенчатые поршневые установки, где соотношение давлений для каждой ступени составляет приблизительно 2,5. Давление всасывания первой ступени составляет 2,58 кг/см². Как правило, из-за низкого рабочего давления при наблюдении в программе технического обслужива-



Рис. 3. Образование загрязнений в первой ступени подпиточного компрессора:
 а) цилиндр, б) клапаны, в) поршень коснулся гильзы цилиндра
 Fig. 3. Fouling formation in make-up compressor section first stage:
 a) cylinder, b) valves, c) piston touched the cylinder liner

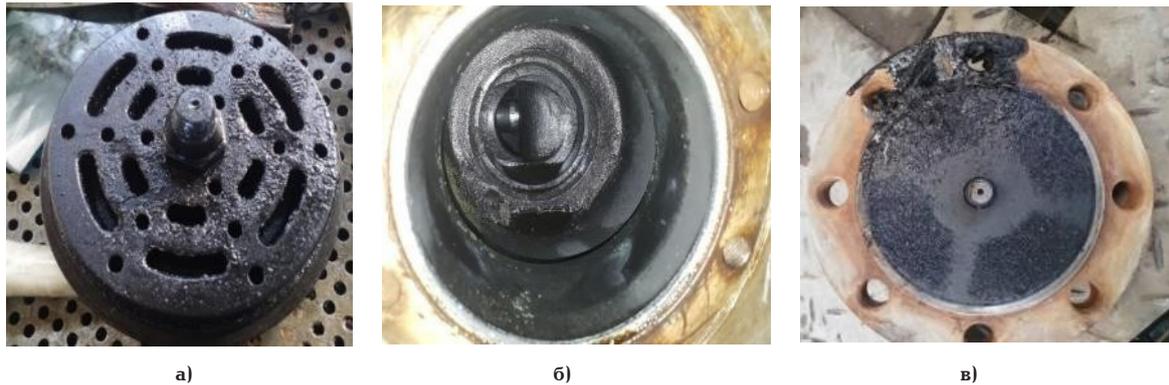


Рис. 4. Образование загрязнений на второй ступени подпиточного компрессора:
 а) на клапане, б) в цилиндре, в) на крышке клапана
 Fig. 4. Fouling formation in second stage of make-up compressor:
 a) on the valve, b) in the cylinder, c) on the valve cover



Рис. 5. а) Загрязнение газовых уплотнительных колец; б) неисправный клапан
 Fig. 5. a) Fouling on the gas packing rings; b) defected valve

ния не было выявлено серьезных проблем для первой и второй ступеней этих компрессоров.

Наиболее распространенными проблемами, которые приводят к внеплановому техническому обслуживанию этих компрессоров, согласно опыту эксплуатации и технического обслуживания, являются повышение температуры нагнетаемого газа и уменьшение общего расхода компрессоров. В некоторых случаях, когда компрессоры вынуждены останавливать работу, исследования компонентов выявили некоторые химические вещества, покрывающие клапаны и внутреннюю часть цилиндров

первой и второй ступеней. Загрязнение, образующееся на этих ступенях, показано на рис. 3–5.

Измерение диаметральных размеров направляющего поршневого кольца второй ступени с помощью щупа показало, что скорость износа была высокой и геометрия поршневых колец должна была измениться. Химикаты, которые покрывали первую ступень, были похожи на порошок, а компоненты второй ступени были покрыты каким-то осадком. В ходе этого исследования в цилиндре третьей ступени также было обнаружено жидкое масло, а клапанная пластина была покрыта коксованным

Таблица 1. Результаты полуколичественного рентгеновского анализа загрязнения на основе ASTM E 1621-13 [10]
Table 1. XRF Semi-Quantitative fouling analysis results based on ASTM E 1621-13 [10]

Компоненты	L.O.I ^a	Fe	Cl	S	Ca	P	Si	Al
Массовая доля (%)	30	27,5	35,2	5,3	0,26	0,26	0,08	1,4

^aПотери при прокаливании, измеренные путем нагрева образца в течение 1,5 ч до 950 °С

Таблица 2. Результаты анализа рентгеновского загрязнения на основе стандарта BSEN 13925-1 [11]
Table 2. XRD fouling analysis results based on BS EN 13925-1 [11]

Компонент	Гидрат хлорида железа	Гидрат хлорида железа	Сера
Химическая формула	FeCl ₂ ·2H ₂ O	FeCl ₂ ·4H ₂ O	S

Таблица 3. Результаты анализа образцов сырья для установки гидроочистки и конденсатов из дренажных каналов компрессоров на основе ASTM D4929 [13]
Table 3. Results of Analysis of hydrotreating unit feed and condensates samples from compressors drain paths based on ASTM D4929 [13]

Испытание	Метод испытания	Точки отбора проб		
		Слив компрессора установки гидроочистки	Слив компрессора установки дегидрирования	Подача керосина в установку гидроочистки
Содержание органических хлоридов (мг/л)	ASTMD4929	<1	<1	2

углеводородом. Клапаны прошли гидравлические испытания, и все они были забракованы.

Наблюдения за компонентами клапана показали, что часть кольца клапана была повреждена. Кроме того, пружины были сломаны или не были обнаружены в клапанном узле. Более того, все уплотнительные кольца были покрыты ранее упомянутыми отложениями.

В этом случае анализ образца загрязнения, взятого из компонентов компрессора, был отличным методом диагностики и анализа этих проблем. Эта проблема повторялась несколько раз, но часто количества пробы не хватало для лабораторных исследований. В одном случае, когда для целей анализа было доступно достаточное количество образцов, образцы отложений были отправлены в аккредитованную лабораторию для рентгенофлуоресценции (XRF) на основе стандарта ASTM E 1621-13 и рентгеновской дифракции (XRD) на основе стандартного анализа BS EN 13925-1. Образец загрязнения компрессора содержал 35,2 мас. % хлора и 27,5 весовых процентов железа. Также были обнаружены сера, кальций и фосфор. Результаты испытаний приведены в табл. 1, 2.

Благодаря характеристикам процесса гидроочистки можно прогнозировать выявление небольших количеств соединений серы, фосфора и кальция в образцах загрязнений. Но результаты анализа показали, что в образцах загрязнений было обнаружено значительное количество хлорированных соединений.

Кроме того, присутствие соединений хлорида железа указывало на то, что это химическое вещество вызвало коррозию в компонентах компрессора, что привело к образованию вышеупомянутого продукта коррозии.

Доминирующим металлом в составе примесей (загрязнений) является железо с содержанием 27,5 мас. %. Это говорит о том, что остаток при

анализе твердых частиц в основном состоит из соединений железа. Рентгеновский анализ показал, что гидрат хлорида железа является основной частью загрязненного образца. Следовательно, наличие следов хлора в водороде, который был получен в установке дегидрирования, может образовывать некоторые отложения с соединениями железа. Он также может образовывать зеленое масло с содержанием углеводородов в рециркулирующем газе и оседать в компонентах компрессора.

Для точного определения количества хлора в компонентах компрессора были проанализированы образцы газообразного водорода и конденсатов, отделенных на ступенях компрессора. Однако содержание хлора в этих образцах было меньше, чем уровень, обнаруживаемый при помощи использованных ранее методов измерения.

Среди методов анализа, которые были использованы в этом исследовании, могут быть применимы следующие:

- анализ водородсодержащего газа с использованием метода Dräger [12] на основе ASTM D4490 (в этом анализе не были обнаружены соединения хлора);

- анализ проб конденсата, подаваемого на установку гидроочистки, отделенных в дренажных каналах компрессора (результаты испытаний приведены в табл. 3);

- анализ кислой воды, отделенной от углеводородов в сепараторе установки гидроочистки (результаты испытаний приведены в табл. 4).

Приведенные выше результаты анализа показали, что хлор, обнаруженный при загрязнении компрессора, не был обнаружен ни в одном из других образцов жидкости и газа, как упоминалось выше, поэтому в таком случае единственным надежным методом обнаружения хлора является анализ загрязнения компонентов компрессора во время ремонтных работ.

Таблица 4. Результат испытания кислой воды, отделенной в сепараторе установки гидроочистки на основе стандартного метода 4500 [14]

Table 4. The test result of sour water separated in hydrotreating unit separator based on Standard Method 4500 [14]

Испытание	Методы испытания	Содержание хлоридов в кислой воде
Содержание ионного хлорида, мг/л	Стандартный метод 4500	1

Таблица 5. Результаты полуколичественного рентгеновского анализа загрязнения на основе ASTM E 1621-13 [10]

Table 5. XRF Semi-Quantitative fouling analysis results based on ASTM E 1621-13 [10]

Компонент	L.O.I. ^a	Fe ₂ O ₃	Cl	SO ₃	CaO	I ₂ O ₃	MnO	SiO ₂
Перед тестом L.O.I. (%)	54,42	34,4	8,25	2,8	0,04	01	0,08	N.D.
После теста L.O.I. (%)	0	98,1	0,16	0,14	0,35	24	0,03	0,98
^a Потери при прокаливании, измеренные путем нагревания образца в течение 1,5 часа при температуре 950 градусов Цельсия								

Для более надежного определения источника загрязнения после 9 месяцев эксплуатации компрессора был проведен более точный анализ загрязнения. В этом случае рентгенофлуоресцентное исследование образца (XRF) проводилось в два этапа: до теста потерь при прокаливании L.O.I. и после теста потерь при прокаливании, результаты которых представлены в табл. 5.

Как показано в табл. 5, содержание хлоридов в образцах изменяется до и после теста потерь при прокаливании (L.O.I.). Из этого анализа следует, что в образце присутствуют два типа соединений хлора:

— органические хлорированные соединения, которые теряются во время теста потерь при прокаливании (L.O.I.);

— неорганические хлорированные соединения, которые остаются после теста потерь при прокаливании (L.O.I.).

Важно отметить, что большинство хлорированных соединений в образцах являются органическими. Эти соединения могут быть получены в результате реакции полимеризации, в ходе которой образуется зеленое масло. По-видимому, лучшей стратегией решения этой проблемы было удаление хлорида из этого потока водорода с использованием специального адсорбента. По этой причине был определен план действий по внедрению защитного слоя хлорида в потоке газообразного водорода из реактора дегидрирования.

Лицензиарами были предложены некоторые процедуры ингибирования хлорида в технологическом газе, которые обсуждаются во введении. Однако, чтобы получить наилучший результат, необходимо изучить и рассмотреть эту проблему с разных сторон и использовать подходящие решения. По этой причине более пристальный взгляд на решения, их плюсы и минусы имеет большое значение. Для выбора оптимального подхода решающее значение имеет расчет стоимости каждого предлагаемого решения и оценка надежности решения. Необходимо отметить, что инвестиции в основной капитал и затраты на техническое обслуживание этих хлоридных систем должны быть рассчитаны и сопоставлены с другими решениями.

Поэтому следует рассмотреть другие решения. Первой и наиболее уязвимой частью поршневых компрессоров, как показывает опыт их эксплуатации, являются всасывающие и нагнетательные клапаны, поэтому можно выбрать другой тип клапана для более надежного, эффективного и надежного типа. Одним из наиболее удобных вариантов для более надежного клапана является модернизация внутренних элементов клапана с использованием прочного материала для колец и пружин, чтобы внутренняя конструкция компрессоров не менялась при обновлении внутренних компонентов клапана. Однако для серьезного нежелательного попадания химических веществ в компрессоры, которые создают больше проблем, предлагается заменить клапан кольцевого типа клапанами тарельчатого типа. Благодаря этому изменению клапаны используют большую площадь подъема и аэродинамический путь потока. Срок службы клапана может увеличиться в два раза благодаря его конструкции. В этой процедуре будет изменена конструкция клапанов компрессора.

Применение неметаллических деталей, таких как направляющие кольца и уплотнительные кольца, которые выдерживают жесткие условия эксплуатации, является решением, которое может повысить срок службы и надежность компонентов. Предпочтительными являются использование более подходящего состава материала, такого как сплав политетрафторэтилена (ПТФЭ) с высокоэффективным наполнителем или запатентованная смесь ПТФЭ с низкой ползучестью.

Из-за более высокой температуры и давления на третьей и четвертой ступенях, а также из-за разницы в технологических условиях этих ступеней из-за добавления очищенного отходящего газа из гидроочистного испарительного барабана на третьей ступень был выбран вышеупомянутый улучшенный материал для этих ступеней компрессора. Таким образом, обновление материалов увеличивает срок службы направляющих колец в среднем с 1000 часов до 10000 часов. Поэтому целесообразно использовать эти материалы для неметаллических компонентов первой и второй ступеней.

Вышеупомянутые проблемы могут возникнуть в том случае, если невозможно предотвратить попадание нежелательных химических веществ в технологические линии. Для снижения затрат на техническое обслуживание мониторинг компрессора является приоритетной задачей. Диагностируя неисправности компрессоров в нужное время, можно предотвратить незапланированные остановки. Например, используя график зависимости давления от объема плюс мониторинг температуры, можно точно определить неисправные клапаны или нажимные кольца. Используя падение стержня, можно легко обнаружить уменьшение полосы наездника.

Первоначальная стоимость настройки для мониторинга состояния компрессоров высока. Однако, по сравнению с другими нежелательными и навязанными расходами на техническое обслуживание, более логичным будет использовать системы мониторинга. Для долгосрочного решения представляется, что комбинация вышеупомянутых решений является идеальным выбором для более надежных технологических условий и непрерывного производства. Кроме того, необходимы дополнительные аналитические исследования, исследования и расчеты затрат для выбора наилучшей процедуры для достижения наилучшей стабильности и надежности процесса.

3. Заключение

Хлориды, присутствующие в рециркулирующем и подпиточном водородсодержащем газе, образующиеся в установках дегидрирования, вызывают такие проблемы, как коррозия и загрязнение проточной части трубопроводов, арматуры, компрессоров и реакторов, нарушают работу процесса, отравляют катализаторы и снижают надежность процесса.

Анализ показал, что единственным надежным методом обнаружения хлора является анализ загрязнений в компонентах компрессора во время ремонтных работ. Состав этих образцов осадка, проверенных методом рентгеновской флуоресценции (XRF) и рентгеновской дифракции (XRD), указывает на то, что они содержат значительное количество соединений хлора и железа. Рентгеновский анализ показал, что гидрат хлорида железа является основной частью загрязняющих образцов. Более точный анализ загрязнения подчеркивает тот факт, что большинство хлорированных соединений в образцах являются органическими.

Для более надежных компрессоров и технологических условий, согласно опыту и исследованиям, может быть применена комбинация этих решений:

— удаление хлоридов из технологических потоков. Похоже, что лучший способ предотвратить эти проблемы — устранить источник проблемы. Аналогичный опыт показывает, что после удаления хлорида из процесса вышеупомянутая проблема больше не наблюдалась. Определенные типы адсорбентов, загруженных в емкость с неподвижным слоем, позволяют удалять небольшие количества хлорида в потоках жидкости или газа;

— использование более подходящего материала для неметаллических изнашиваемых деталей, таких как поршневые кольца, уплотнительные кольца и металлические компоненты, которые могут выдерживать суровые условия окружающей среды или загрязненный технологический газ, может быть решением для повышения срока службы и надежности компонентов;

— внедрение системы мониторинга для диагностики проблем с компрессорами до того, как произойдет какой-либо катастрофический сбой из-за неисправности компрессоров;

— изменение типа клапанов с кольцевого на тарельчатый; клапаны тарельчатого типа используют большую площадь подъема и аэродинамический путь потока. Срок службы клапана может быть значительно увеличен благодаря его конструкции.

Одним из важных моментов в решениях является то, что при наблюдении за проблемами как в оборудовании для рециркуляции, так и в оборудовании для подпитки водородного газа выбор оптимального места для защиты от хлоридов оказывает значительное влияние на эффективность системы удаления хлоридов.

Из-за большого объема газа в контуре рециркуляции водорода установка защитной хлоридной системы на систему циркуляции водородсодержащего газа может ухудшить преимущества этого решения. Поэтому для достижения наилучшего решения требуются дополнительные экономические исследования по этому вопросу.

4. Благодарности

Мы хотели бы выразить нашу особую благодарность руководителям инвестиционной компании Iran Chemical Industries (ICIC), которые предоставили нам возможность реализовать этот проект.

Список источников

1. Bloch H. P., Godse A. Compressors and modern process applications. John Wiley & Sons, 2006. P. 3–20. ISBN 978-0-470-04720-0.
2. Bloch H. P., Hoefner J. J. Reciprocating compressors: operation and maintenance. Gulf Professional Publishing, 1996. 433 p. ISBN 0-88415-525-0.
3. Griffith W. A., Flanagan E. B. Online Continuous Monitoring of Mechanical Condition and Performance For Critical Reciprocating Compressors // Proceedings of the 30th Turbomachinery Symposium. Texas: Texas A&M University Turbomachinery Laboratories, 2001. DOI: 10.21423/R1J656.
4. Leonard S. M. Hydrocarbon processing Increase reliability of reciprocating hydrogen compressors // Hydrocarbon Processing. 1996. Vol. 75. P. 67–74.
5. Api Standard 618 — Reciprocating Compressors for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services. 5th ed. Washington DC, USA: American Petroleum Institute, 2007. 69 p.
6. Karan O. K., Kahraman K. Ay Ma, Selmen A. Combating green oil formation in a CCR reformer // Petroleum Technology Quarterly. 2013. 18 p.
7. Kim B. Uk., Lee S., Lee Sangioo. Reliability Improvement for Booster Reciprocating Compressor In CCR Reformer // Int. Conf. on 46th Turbomachinery Symposium. Texas: Texas A&M University Engineering Experiment Station Turbomachinery Laboratory, 2017.
8. Meyers R. A. Handbook of petroleum refining processes. McGraw-Hill Education, 2016. P. 5.138.37.
9. Karimi A., Mohamadmoradi H. R. Study of Reducing the Amount of Green Oil in the CCR Plant of Oil Refinery Unit // Iranian Chemical Engineering Journal. 2020. Vol. 18 (107). P. 6–14.
10. ASTM E1621-13. Standard guide for elemental analysis by wavelength dispersive X-Ray fluorescence spectrometry. West Conshohocken, PA, 2013. 9 p.
11. BS EN 13925-1. Standard Non-destructive testing X-ray diffraction from polycrystalline and amorphous materials General principles. British Standard Institute, 2003. 16 p.

12. ASTM D4490-96. Standard Practice for Measuring the Concentration of Toxic Gases or Vapors Using Detector Tubes. West Conshohocken, PA, 2016.

13. ASTM D4929-19. Standard Test Method for Determination of Organic Chloride Content in Crude Oil. West Conshohocken, PA, 2019. 16 p.

14. 4500 Cl-Chloride standard methods for the examination of water and wastewater. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Water Works Association, 1999. 17 p.

Источник перевода: Fouladivanda M., Heidary M. A. A study into the impact of chloride ions on the make-up hydrogen compressors // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1180 (1). 012052. DOI: 10.1088/1757-899X/1180/1/012052.

Ссылка на полный текст статьи:

https://www.researchgate.net/publication/354795804_A_study_into_the_impact_of_chloride_ions_on_the_make-up_hydrogen_compressors

Для цитирования

Фуладиванда М., Хейдари М. А. Исследование влияния хлорид-ионов на подпиточные водородные компрессоры = Fouladivanda M., Heidary M. A. A study into the impact of chloride ions on the make-up hydrogen compressors / пер. с англ. М. А. Федоровой // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2022. Т. 6, № 1. С. 75–84. DOI: 10.25206/2588-0373-2022-6-1-75-84.

Статья поступила в редакцию 18.01.2022 г.

© М. Фуладиванда, М. А. Хейдари

Сведения о переводчике

ФЕДОРОВА Мария Александровна, кандидат филологических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Иностранные языки» Омского государственного технического университета, г. Омск.

SPIN-код: 5636-7474

AuthorID (РИНЦ): 636900

ORCID: 0000-0002-0899-6303

AuthorID (SCOPUS): 57193409850

ResearcherID: D-7718-2014

Адрес для переписки: sidorova_ma79@mail.ru

A STUDY INTO THE IMPACT OF CHLORIDE IONS ON THE MAKE-UP HYDROGEN COMPRESSORS

M. Fouladivanda, M. A. Heidary

Iran Chemical Industries Investment Company,
Iran, Esfahan, 8335144114

Translated from English
M. A. Fedorova

Omsk State Technical University,
Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

The presence of unwanted chemicals in process lines and downstream equipment causes defects and failures, which sometimes have significant impacts on systems and imposes extra costs for the production process. In this study, one pair of four-stage make-up hydrogen compressors is investigated. These reciprocating compressors which serve as a part of the hydrogen treating unit have failed approximately simultaneously. The feed of these compressors is net hydrogen-rich gas. Both dry compressors have shown similar problems in the first and second stages. The simultaneous rise in the cylinder temperature and decrease in the flow has forced shut-down of the compressors for the next actions in the process. Initial inspections have revealed some kind of deposits covered the cylinder and its components. The valves, liquid tested and results have shown significant leakage of all the suction and discharge valves of the cylinders. Moreover, the thickness of all piston rings have decreased up to 50 percent which is more than allowable values. The compositions of deposits, tested by X-ray fluorescence (XRF) and X-ray diffraction (XRD), result from the analysis shown that it contains 35,2 percent (mass fractions) of Chlorine and 27,5 percent of Iron, and noticeable amount of Sulfur or Phosphor. XRD analysis has reported that the Iron Chloride Hydrate is the main part of the fouling sample. In this paper, the impact of the aforementioned chemicals on the compressor components are investigated, and some approaches are proposed to absorb or inhibit these chemicals.

Keywords: hydrogen compressors, cylinders deposits, forced shut-down, X-ray tests, absorption and inhibition.

Printed by permission from the authors and the Centre for IOP Conference Series Materials Science and Engineering (International Conference on Compressors and their Systems) (London, 2021).

References

1. Bloch H. P., Godse A. Compressors and modern process applications. John Wiley & Sons, 2006. P. 3–20. ISBN 978-0-470-04720-0. (In Engl.).
2. Bloch H. P., Hoefner J. J. Reciprocating compressors: operation and maintenance. Gulf Professional Publishing, 1996. 433 p. ISBN 0-88415-525-0. (In Engl.).
3. Griffith W. A., Flanagan E. B. Online Continuous Monitoring of Mechanical Condition and Performance For Critical Reciprocating Compressors // Proceedings of the 30th Turbomachinery Symposium. Texas: Texas A&M University Turbomachinery Laboratories, 2001. DOI: 10.21423/R1J656. (In Engl.).
4. Leonard S. M. Hydrocarbon processing Increase reliability of reciprocating hydrogen compressors // Hydrocarbon Processing. 1996. Vol. 75. P. 67–74. (In Engl.).
5. Api Standard 618 – Reciprocating Compressors for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services. 5th ed. Washington DC, USA: American Petroleum Institute, 2007. 69 p. (In Engl.).
6. Karan O. K., Kahraman K. Ay Ma, Selmen A. Combating green oil formation in a CCR reformer // Petroleum Technology Quarterly. 2013. 18 p. (In Engl.).
7. Kim B. Uk., Lee S., Lee Sangioo. Reliability Improvement for Booster Reciprocating Compressor In CCR Reformer // Int. Conf. on 46th Turbomachinery Symposium. Texas: Texas A&M University Engineering Experiment Station Turbomachinery Laboratory, 2017. (In Engl.).
8. Meyers R. A. Handbook of petroleum refining processes. McGraw-Hill Education, 2016. P. 5.138.37. (In Engl.).
9. Karimi A., Mohamadmoradi H. R. Study of Reducing the Amount of Green Oil in the CCR Plant of Oil Refinery Unit // Iranian Chemical Engineering Journal. 2020. Vol. 18 (107). P. 6–14. (In Engl.).
10. ASTM E1621-13. Standard guide for elemental analysis by wavelength dispersive X-Ray fluorescence spectrometry. West Conshohocken, PA, 2013. 9 p.
11. BS EN 13925-1. Standard Non-destructive testing X-ray diffraction from polycrystalline and amorphous materials General principles. British Standard Institute, 2003. 16 p. (In Engl.).
12. ASTM D4490-96. Standard Practice for Measuring the Concentration of Toxic Gases or Vapors Using Detector Tubes. West Conshohocken, PA, 2016. (In Engl.).
13. ASTM D4929-19. Standard Test Method for Determination of Organic Chloride Content in Crude Oil. West Conshohocken, PA, 2019. 16 p. (In Engl.).

14. 4500 Cl-Chloride standard methods for the examination of water and wastewater. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Water Works Association, 1999. 17 p. (In Engl.).

About the translator

FEDOROVA Maria Aleksandrovna, Candidate of Philological Sciences, Associate Professor of Foreign Languages Department, Omsk State Technical University, Omsk.

SPIN-code: 5636-7474

AuthorID (RSCI): 636900

ORCID: 0000-0002-0899-6303

AuthorID (SCOPUS): 57193409850

ResearcherID: D-7718-2014

Correspondence address: sidorova_ma79@mail.ru

For citations

Fouladivanda M., Heidary M. A. A study into the impact of chloride ions on the make-up hydrogen compressors / trans. from Engl. M. A. Fedorova // Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering. 2022. Vol. 6, no. 1. P. 75–84. DOI: 10.25206/2588-0373-2022-6-1-75-84.

Received January 18, 2022.

© M. Fouladivanda, M. A. Heidary