Пантелеев А.С.¹, Шматин Е.К.²

Предпосылки разработки системы управления качеством сложной технической системой (на примере компрессорной станции)

¹ РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина
(Россия, Москва)

² ТПП "ЛУКОЙЛ-Усинскнефтегаз"
(Россия, Усинск)

doi 10.18411/scc-09-2018-05

idsp 000001:scc-09-2018-05

Развитие газовой промышленности сегодня в значительной степени зависит от дальнейшего совершенствования эксплуатации и обслуживания систем трубопроводного транспорта природных газов. Оптимальный режим эксплуатации магистральных газопроводов заключается, прежде всего, в максимальном использовании их пропускной способности при минимальных энергозатратах на компримирование и транспортировку газа по газопроводу. В значительной степени этот режим определяется работой компрессорных станций (КС).

Современная компрессорная станция – это сложное инженерное сооружение состоящее из газоперекачивающих агрегатов (компрессор, двигатель и доп. оборудование), систем топливного, пускового, импульсного газа, системы очистки газа, аппаратов воздушного охлаждения, трубопроводной арматуры, узлов подключения, режимных кранов и т.д. – надежность данных узлов в ряде случаев взаимозависима и влияет на качество работы самой компрессорной станции.

Управление качеством КС должно осуществляться на всех этапах жизненного цикла – в связи с этим, применение наиболее актуальных инженерных решений в рамках как проектирования новых, так и реконструкции уже существующих решений будет способствовать увеличению ресурса и минимизации энергопотребления каждой готовой станции.

Поэтому важным фактором является целенаправленная работа по повышению управления качеством работы КС.

Основой создания высококачественного оборудования должно служить – создание нормативных документов максимально гармонизированных с международной практикой.

Учитывая столь стремительное развитие национальной системы стандартизации, активность российских компрессоростроительных предприятий в области международной стандартизации остаётся весьма низкой. В то же время некоторые российские предприятия, сертифицированные на соответствие требованиям международного стандарту ISO 9001-2015 «Система менеджмента качества предприятия», при разработке внутренней технической документации применяют в качестве основы соответствующие стандарты API и ISO. Активизация в этом направлении в значительной мере способствовала бы повышению технического уровня, безопасности и конкурентоспособности отечественного компрессорного оборудования, интеграции в мировое промышленное развитие, опережающему информационному обеспечению (о вновь разрабатываемых нормах, стандартах, требованиях, правилах), оперативному использованию прогрессивных показателей зарубежных стандартов, а также учёту интересов российских производителей и потребителей компрессорного оборудования в новых нормативных документах [1, 2].

Управления качеством компрессорной станции начинается с анализа показателей надежности узлов компрессорной станции, что позволяет способствовать выявлению возможных отказов и их своевременному предотвращению, а также сохранять заданные эксплуатационные качества в течение требуемого срока службы.

Таким образом, использование общих подходов для управления качеством сложных систем, и как следствие, разработка комплексной системы управления качеством на базе математических моделей с учетом особенностей для различных КС позволит уменьшить вероятность возникновения аварийных ситуаций и осложнений, повысить производительность технологического оборудования и экономичность газотурбинных установок, улучшить экологические характеристики, увеличить использование существующего вспомогательного оборудования, сократить резерв и тд.

Таким образом, основой построения математической модели управления качеством КС должен стать анализ процесса эксплуатации, вероятности возникновения аварий, их последствий и возможности их предотвращения.

Причины возникновения отказов на различных этапах жизненного цикла [4-7]

Этап проектирования-конструирования

На данном этапе, возникает вероятность следующих несоответствий (просчетов):

- заложенный с техническими нарушениями фундамент (не отвечающий требуемой прочности);
- спроектированный с нарушениями технических норм корпус (малое количество ребер жесткости и воздушных камер, что в свою очередь приводит к перегреву оборудования);
- сконструированная с техническими нарушениями лопатка турбины (неправильный изгиб, расчет отвода тепла, что приводит к уменьшению КПД);
- неправильный расчет отвода тепла и его конструирование в АВО;
- неправильная проектировка расположения подземного трубопровода.

Вывод: для того чтобы заведомо исключить описанные выше просчеты, необходимо своевременно провести анализ и контроль на этапе проектирования-конструирования, в противном случае данные просчеты могут привести к сбою работы ГПА, последующей остановке ГПА и как следствие к аварии.

Этап изготовления

- нарушение технических норм по подбору материала (изготовление рабочих и направляющих лопаток не из жаростойкого материала);
- изготовление агрегатов с нарушениями конструкторского проекта;
- нарушение норм обработки поверхностей (высокая шероховатость, не качественная шлифовка лопаток);
- использование не отвечающих требуемым параметрам материалов для диафрагмы;
- нарушение норм проведения литейных работ (некачественная отливка корпуса, впоследствии потеря прочности, образование трещин);
- изготовление изделий с нарушением расчетов на прочность, жесткость и пластичность (вал не обладает заданной жесткостью).

Вывод: на данном этапе практически все несоответствия связаны с некачественной работой изготовителя, также имеет место не достаточная квалификация персонала выполняющего работы по доводке, литью, шлифовке. Нельзя исключать и ситуации когда была получена неправильная информация от проектировщика, и как результат, это повлекло к ошибкам, которые трудно устранимы. В связи с этим необходимо вести контроль с этапа проектирования и проводить диагностику оборудования по заявленным критериям, перед сборкой и монтажом.

Этап эксплуатации

- внеплановые остановки ГПА (приводит к поломке оборудования);

- нерегламентированные остановки (резкая остановка ГПА, что приводит к изгибам или трещинам лопаток, разрыв диафрагмы, из-за частых незапланированных остановок);
- нарушение регламента обслуживания (в частном случае, плохое обслуживание и не частая смазка подшипников, приводит к их раннему износу);
- нарушение норм эксплуатации СТГ (использование некачественного топливного газа приводит к образованию нагара в камерах сгорания и газоходах);
- резкое переключение режимов работы теплообменников;
- отключение или перегрузка системы очистки газа приводит к недопустимому увеличению количества вредных и мех. примесей в газе;
- плановое открытие/закрытие запорной арматуры (это ведет к ее износу, несвоевременная смазка и проверка. Перетяг или срыв резьбы, что приводит к разгерметизации);
- низкая квалификация работников при проведении монтажных работ (неправильное подключение двигателей вентиляторов и их обслуживание. Несвоевременное проведение очистительных работ).

Вывод: на этапе эксплуатации большую часть ошибок, возможно, избежать, если вести мониторинг процессов, проводить своевременно диагностику и очистительно-восстановительные работы. А также, немало важным фактором является квалифицированный персонал.

Этап проведения ремонтных работ

- нарушение технических норм по подбору материала (использование для ремонта разнородных материалов, что приводит к последующему разрушению изделия);
- повреждение защитного слоя лопаток во время проведения ремонтных работ;
- нарушение норм режимов очистки (изменение толщины стенок камеры сгорания во время очистительных работ, что приводит к уменьшению прочности и последующей поломке);
- нарушение норм проведения ремонтных работ (неправильная замена сетчатых фильтров в пылеуловителях, что приводит к неправильной эксплуатации);
- выполненный с техническими нарушениями ремонт СВД (что может привести к аварии);
- технические нарушения проведения сварочных работ (некачественно проваренные швы, приводят к уменьшению герметичности, падению давления и, в конечном счете, к аварии).

Вывод: возникновение такого рода ошибок в первую очередь связано с низкой квалификацией рабочих, проводивших ремонт, а также из-за технического дефицита материалов для ремонта и оборудования для ремонта.

Этап монтажа и сборки

Нарушение технических норм при сборке и монтаже:

- не правильная сборка компрессора, угловое отклонение лопаток на несколько градусов, что недопустимо и может повлечь за собой аварию;
- плохая фиксация подшипников, перекося колец, что также может привести к аварии;
- некачественная фиксация корпуса на фундаменте, что увеличивает вибрации и ухудшает работу компрессора;
- неправильная установка газоходов, что приводит к ранней коррозии;

- неправильное расположение труб в АВО, что ведет к недостаточному отводу тепла;
- неправильная сборка фильтров, что приводит к плохой фильтрации и увеличению мех. примесей;
- неправильный монтаж подземных трубопроводов, что приводит к ранней коррозии и их износу.

Вывод: обозначенные ошибки связаны с низкой квалификацией персонала, а также из-за отсутствия инструкций по монтажу и сборке конкретного оборудования.

Принимая во внимание, описанные выше, возможные причины возникновения отказов и аварий, применим FMEA-анализ для формирования начальных основ построения математической модели.

FMEA-анализ включает два основных этапа:

- 1) построение компонентной, структурной, функциональной и потоковой моделей объекта анализа;
- 2) исследование моделей, в ходе которого определяются:
 - потенциальные дефекты для каждого из элементов компонентной модели объекта;
 - потенциальные причины дефекта;
 - потенциальные последствия дефектов для потребителя;
 - возможности контроля появления дефектов.

Для оценки каждого из выявленных дефектов используется следующий расчетный алгоритм:

- 1) на основе экспертных оценок определяются следующие параметры, характеризующие дефект:

- а) параметр частоты возникновения дефекта (А);
- б) параметр тяжести последствий для потребителя (В);
- в) параметр вероятности обнаружения дефекта (Е);

Все параметры (А, В, Е) проставляется по 10-балльной экспертной шкале.

- 2) рассчитывается параметр приоритета риска для потребителя (RPZ) как произведение параметров А, В, Е. Параметр RPZ теоретически может быть в диапазоне от 1 до 1000; соответственно чем он выше, тем более серьезен отказ. Результаты анализа заносятся в «Таблицу FMEA-анализа объекта». В связи с тем, что таблица является весьма громоздкой (более 7 страниц) приведем лишь ее фрагмент (таблица 1).

Таблица 1

Фрагмент FMEA-анализа компрессорной станции

Шаги процесса	Место потенциального дефекта	Потенциальная причина	Потенциальное последствие	А	В	Е	RPZ	Контроль
Работа ГТУ	Рабочие лопатки и ротор турбины	-перегрев (трещины, поломка) -поломка из-за аварийной остановки -заводской брак -мех. примеси в газе -перепад температур	-остановка ГТУ -авария	3	10	8	240	-диагностика -плавная остановка -контроль перепадов температур -очищенный газ
	Направляющие лопатки и диафрагма	-перегрев (трещины, поломка) -поломка из-за аварийной остановки	-остановка ГТУ -авария	4	9	8	288	-диагностика -плавная остановка -контроль перепадов температур

		-заводской брак -мех. примеси в газе -перепад температур -износ диафрагмы						-очищенный газ -использование более лучшего материала для диафрагмы
	Подшипники	-Усталостные разрушения поверхности -Несоосность колец -Перегрев -Разрушение из-за дисбаланса -Раскалывание, раздробление деталей	-остановка ГТУ -авария	5	7	6	210	-контроль смазки -изначальный контроль при сборке -контроль обжима наружного кольца -внешняя температура -контроль нагрузки -

После проведения FMEA-анализ его итогом должны стать корректирующие мероприятия, которые должны проходить в определенной последовательности.

Проведение корректирующих мероприятий

Рассматривая таблицу FMEA, и анализируя потенциальные причины возникновения дефектов можно предложить следующие мероприятия [3,4]:

1. Исключить причину возникновения дефекта, тем самым снизив вероятность возникновения дефекта/отказа при помощи статистического регулирования (уменьшение параметра A).

Газотурбинные установки:

Как известно, самым уязвимым местом любой компрессорной станции является ГПА, поэтому наибольшее количество отказов и дефектов связано с этим агрегатом. Поэтому для дополнительного анализа работы ГПА можно предложить использовать причинно-следственную диаграмму Исикавы (рис.1).

Применим к сложной системе, представленной в виде компрессорной станции, диаграмму причинно-следственных связей (рис. 1) для более детального дифференцирования взаимосвязи и взаимовлияния отдельных узлов и элементов КС.

Рисунок 1 – Диаграмма причинно-следственных связей отказов и/или осложнений в работе ГТУ

Из диаграммы видно, что основными секторами оказывающими влияние на причины отказов и аварийность являются: оборудование, персонал, комплектующие изделия и методы контроля. Более детальное разбиение секторов на составляющие, позволяет систематически и полно определить причины возникновения проблемы (отказов).

Системы очистки газа:

- привлечение квалифицированных экспертов с целью оценки работы и состояния парка пылеуловителей, фильтр-сепараторов и отстойников;
- вторичная линия системы очистки на случай ремонта или аварии;
- постепенная замена парка системы очистки новым оборудованием;
- осуществление автоматизированного контроля давления и температуры внутри и снаружи агрегатов;
- изменение конструкции и материалов, из которых изготовлены сетчатые пакеты, что увеличит срок их службы и улучшит функционирование системы очистки в целом;
- увеличение частоты замены сетчатых пакетов;
- строгое соблюдение регламента обслуживания.

Запорная арматура:

- перевод отдельных задвижек и элементов запорных устройств с ручного режима на пневмопривод;
- проведение частой и тщательной проверки состояния всех частей арматуры;
- необходимо иметь запасные элементы запорно-регулирующих устройств на случай аварии или непредусмотренного ремонта;
- незамедлительно проводить замену в случае нарушения герметичности или целостности резьбы;
- строгое соблюдение регламента обслуживания;
- совершенствование системы автоматизированного контроля герметичности трубопровода.

Аппараты воздушного охлаждения (АВО):

- пересчет отбора тепла;
- пересчет количества вентиляторов и изменение их расположения;
- автономное питание для двигателей вентиляторов;
- возможность замены турбин вентиляторов;
- изменение частоты вращения вентиляторов;

1) снизить влияние дефекта на последующий процесс (уменьшение параметра В):

Создание на КС возможностей для перераспределения энергии на случай аварий, ремонта, непредвиденных остановок. Этого можно достичь при создании дополнительных или резервных парков (пылеуловителей, фильтр-сепараторов и АВО), а также применение ГПА модульного типа, позволит снять или перераспределить нагрузку на основную ГТУ на время ее ремонта или аварийного режима работы, тем самым сбой работы на КС никак не отразится на поставках газа.

2. повысить достоверность выявления дефекта, облегчить выявление дефекта и последующего ремонта (уменьшение параметра Е):

- Создание «центра контроля качества работы агрегатов» - модель работы ГТУ (в дальнейшем и других агрегатов) в режиме реального времени, с контролируемыми параметрами - это позволит диагностировать поломку

на раннем уровне, а также анализировать режим работы и предполагать дальнейший ход работы установки. В последующем создание на основе «модели работы ГТУ» базы статистических данных и расчет остаточного ресурса работы установки.

— Использование новых методов диагностики на основе пьезоэлементов.

Для повышения качества процесса или изделия в рамках корректировочных мероприятий могут предусматриваться: изменение структуры объекта (конструкции, схемы и т.д.); изменение процесса функционирования объекта (последовательности операций и исходов, их содержания и др.); улучшение системы менеджмента качества предприятия.

После проведения корректировочных мероприятий заново пересчитывается параметр RPZ. Если не удалось его снизить до приемлемых пределов (малого риска ($RPZ < 40$) или среднего риска ($RPZ < 100$)), разрабатываются дополнительные корректировочные мероприятия и повторяются предыдущие шаги (рис.2).

Закключение

Таким образом, применение простых инструментов управления качеством, которые были использованы выше для такой сложной технической системы как КС, может стать хорошим фундаментом для создания и построения математической модели управления качеством сложных систем.

Дальнейшее направление исследований будет сосредоточено на разработке математической модели системы контроля оптимального функционирования компрессорной станции, с рассмотрением перспектив разработки интегрированной системы управления качеством продукции, созданной на принципах управления рисками и предусматривающей интегрирование в единый комплекс составляющих систем управления качеством, охраны труда, промышленной безопасности и окружающей среды, в соответствии с ISO 9001, 14001, 31000, а также OHSAS 18001.

1. Пантелеев А.С. Проблемы стандартизации в компрессоростроении России / Пантелеев А.С., Солдатов В.А. // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2017 г. № 3-4. С. 47-50.

2. Пантелеев А.С. Проблемы стандартизации в компрессоростроении России. Сборник материалов XII Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности» (газ, нефть, энергетика), Москва, 24-27 октября 2017 г.
3. Пантелеев А.С. Сборник материалов XII Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса», Москва, 12-14 февраля 2018 г.
4. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры / В.М. Черкасский. - М.: Медиа, 1984. - 887 с.
5. Bloch H.P. Compressors and Modern Process Applications / John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2006. — ISBN-13: 978-0-471-72792-7 (cloth).
6. Bloch Heinz P., Geitner Fred K. Compressors: How to Achieve High Reliability & Availability / McGraw-Hill Education TAB, 2013. — (Electronics). — ISBN 10 0071772871, 13 978-0071772877.
7. Brun K., Nored M.G. Guideline for Field Testing of Gas Turbine and Centrifugal Compressor Performance / Gas Machinery Research Council (GMRC), Southwest Research Institute (SWRI). Release August 2006.

Патраль А.В.

Алфавит цифровой на основе 4-позиционного формата

*Всесоюзный научно – исследовательский институт методики и техники разведки
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi 10.18411/scc-09-2018-06

idsp 000001:scc-09-2018-06

Аннотация

В статье рассматриваются новые цифровые алфавиты на основе сегментных форматов индикаторов с наименьшим числом элементов в знаках. Формируемые знаки новых цифровых алфавитов имеют значительные преимущества перед форматами индикаторов с алфавитом цифровых знаков арабского происхождения. Применение новых цифровых форматов способствует увеличению дальности наблюдения их, улучшению восприятию знаков и снижению энергопотребления, особенно при уменьшении габаритных размеров их.

Ключевые слова: цифровые знаки, элемент отображения, обнаружения знака, различение знака, опознание знака.

Abstract

Describes a new digital alphabets derived from the segment formats indicators with the smallest number of elements in the characters. Generated by signs the new digital alphabets have significant advantages to tracers formats with digital signage alphabet of Arab origin. Application of new digital formats helps to increase the range of their observation, improve the perception of the signs and reduce energy consumption, especially when reducing their dimensions..

Keywords: digital signs, display element, mark detection, distinction mark, the identification mark.

Введение

Современные арабские цифры (0 1 2 3 4 5 6 7 8 9), представляющие собой один из видов визуального кодирования цифровых знаков, а именно, кодирование формой, хорошо опознаются, хорошо различимы и прочно укоренились в нашу жизнь, стали достаточно привычными за 300 лет их применения на Руси. Поэтому мы не задумываемся о каком-либо ином виде визуального кодирования цифровых знаков арабского происхождения, ставших привычными, о замене их другими цифровыми знаками или символами, обеспечивающими максимальную эффективность обнаружения, различения, идентификации и опознания их.