

ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕННОГО РЕГЕНЕРАТОРА УСТАНОВКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОБХОДИМЫХ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ДЛЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В.Д. ПОЗНЯКОВ, В.П. ДЯДИН, Е.А. ДАВЫДОВ

ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Рассматриваются основные особенности, на которые следует обращать внимание при проведении диагностического обследования поврежденного нефтехимического оборудования. Отмечены наиболее типичные ошибки, которые допускаются при выполнении обследований. Табл. 1, рис. 3.

Ключевые слова: ремонт нефтеперерабатывающего оборудования, неразрушающий контроль, сквозные трещины в сварных соединениях

Необходимость проведения диагностического обследования была вызвана тем, что в процессе предварительного пневмонагружения регенератора обнаружилось сквозные трещины в сварных соединениях, а также в местах приварки ремонтных накладок. Выявленные повреждения ставили под сомнение возможность его безопасной эксплуатации.

В этой связи одной из основных задач, которая была поставлена заказчиком на первом этапе исследований специалистом ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ, являлось определение возможности проведения ремонтно-восстановительных работ для дальнейшей безопасной эксплуатации регенератора.

Для решения этой задачи на начальном этапе обследования были проведены стандартные исследования, которые включали:

- анализ технической документации и результатов предыдущих диагностических обследований;
- визуальный контроль поврежденных мест регенератора и определение мест возможных вырезов поврежденного металла для дальнейших лабораторных исследований;
- УЗ-контроль наиболее характерных зон повреждения регенератора, оценка размеров трещин;
- определение границ поврежденных участков околосшовных зон сварных соединений, подверженных интенсивному растрескиванию.

На момент проведения обследования специалистами ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ регенератор отработал более 130000 ч.

Анализ технической документации. Принимая во внимание, что основные повреждения по результатам визуального контроля были сконцентрированы в районах монтажных сварных соеди-

нений регенератора, при изучении технической документации уделялось особое внимание особенностям монтажной сборки и необходимости проведения последующих текущих ремонтов. Опуская детальный анализ, отметим лишь наиболее важные моменты, связанные с особенностями сборки регенератора.

Монтажная сборка регенератора выполнялась спецуправлением «Химмонтаж» укрупненными элементами, поставляемыми из России. Вальцовку царг и их сборку с применением сварки проводили без последующей термообработки. Толщина основных элементов аппарата составляла 20...22 мм, что очень близко к толщинам, необходимым для термообработки сварных соединений после сварки.

Опрос персонала, участвовавшего в монтаже регенератора, позволил выявить определенные сложности при стыковке укрупненных элементов в связи с необходимостью их предварительного натяга перед сваркой. Наибольшие нестыковки в процессе сборки укрупненных элементов наблюдались в местах геометрических переходов корпуса в верхней части регенератора, где его диаметр составлял 11000 мм. Регенератор был введен на данном предприятии в эксплуатацию в 1993 г.

Технические характеристики регенератора

Давление рабочее, МПа	
вверху, не более	0,14
внизу, не более	0,17
расчетное	0,35
Температура рабочая, °С	
среды, не более	700
стенки	150
расчетная	300
Рабочая среда	дымовые газы, воздух, водяной пар, микросферический цеолитсодержащий катализатор

Геометрические размеры ($D_{нар.} \times$ толщину) элементов конструкции регенератора: обечайки 11000/9000×22; днища полусферического 11000×20; верхнего конуса 11000/9000×22; нижнего конуса 9000/1400×36; высота каждого элемента 500 мм; полный объем 1800 м³; материал 09Г2С-12; ГОСТ 19282–73.

Сведения о ремонтах.

2010 г. Обнаружено массовое растрескивание сварных соединений вварки штуцеров в корпус аппарата, выполненных аустенитным сварочным материалом. Часть штуцеров была отремонтирована, другая – удалена и заменена вставками. При вварке вставок проводился дополнительный ремонт в связи с их растрескиванием по околошовной зоне.

При проведении испытания регенератора на плотность в сварных кольцевых соединениях обечайки диаметром 11000 мм и верхнего днища выявлены сквозные трещины. В процессе проведения ремонта из корпуса регенератора в местах большого сосредоточения трещин были вырезаны участки металла для исследования и заменены вставками.

2013 г. При пневматическом нагружении регенератора с использованием акустической эмиссии (АЭ) были выявлены новые сквозные трещины в сварных соединениях обечайки диаметром 11000 мм и верхнего днища, что не позволяло закончить процесс АЭ обследования.

Для завершения испытания методом АЭ было предложено закрыть выявленные сквозные трещины с помощью приварных накладок. Это привело к дополнительному растрескиванию металла в околошовной зоне и в местах приварки накладок с дальнейшим выходом в основной металл.

Сведения об экспертных обследованиях. Регенератор допущен к эксплуатации: 2002 г. – на 2 г.; 2004 г. – на 2 г.; 2006 г. – на 2 г.; 2008 г. – на 4 г.

По результатам технического диагностирования и результатам лабораторных исследований металла темплетов, вырезанных из корпуса в 2010 г., регенератор к дальнейшей эксплуатации не допускается.

Техническим надзором завода на основании проведенного анализа результатов технического диагностирования, выполненного в 2010 г. двумя экспертными предприятиями, принято решение о допуске к эксплуатации регенератора до конца 2012 г. без изменения рабочих параметров.

В 2013 г. при проведении диагностического обследования экспертной организацией работы были временно приостановлены из-за наличия массового растрескивания сварных соединений.

Виды контроля при проведении предыдущих диагностических обследований и их основные результаты. Как следует из технической докумен-

тации, диагностические обследования с 2002 г. выполнялись несколькими организациями.

Важно отметить, что до 2010 г. ни одной из этих организаций дефекты обнаружены не были. В то же время, если судить по представленным выводам: «коррозионное растрескивание в результате длительного воздействия коррозионно-активных веществ рабочей среды и наличия остаточных напряжений в металле», является основной причиной обнаруженных в 2010 г. дефектов.

Развитие таких дефектов до их выхода на поверхность на практике является длительным процессом. На это также не было обращено внимание. Исключение могут составлять случаи перегрева и перегрузки стенки регенератора (из анализа представленной документации такие случаи не были зарегистрированы). Однако косвенным признаком возможного перегрева стенки может служить появление «отдушины» в нижней части регенератора, которая была выявлена в 2010 г. одной из диагностических организаций.

Следует отметить, что представленные данной организацией результаты контроля являются более полными и практически не вызывают сомнений за исключением нескольких позиций. Для простоты анализа результатов контроля отчета за 2010 г. они представлены в таблице.

Так, в частности, настораживают противоречия между результатами УЗК и металлографическими исследованиями: по результатам УЗК дефектов не было выявлено, а по результатам металлографии выявлены микро- и макротрещины. Причем, наличие трещин зафиксировано в основных выводах: «на внутренней поверхности корпуса регенератора имеются как макротрещины, так и микротрещины, которые находятся в стадии развития, не выходящие на внешнюю поверхность».

В то же время специалисты, проводившие УЗК-контроль, утверждают, что на проверенных участках сварных соединений и их околошовных зонах дефекты отсутствуют. Действительно, почти на всех участках, где проводился контроль, растрескивания в сварных соединениях отсутствуют. Выбор этих участков осуществлялся, очевидно, совершенно независимо от результатов обследования, которые были получены другими методами.

Возникает вопрос, каким образом осуществлялся выбор зон ультразвукового контроля. Если эти зоны выбирались специалистами по УЗК в силу собственного разумения, то результат вполне закономерен. Почему контроль не выполнялся в местах, где было обнаружено растрескивание и почему параметры контроля не были адаптированы к выявлению несплошностей типа обнаруженного растрескивания? Без проведения подобной коррекции вероятность обнаружения не будет высокой. Кроме того, совершенно очевидно, что при

Результаты контроля регенератора за 2010 г.

Вид контроля	Результаты контроля
ВК	В основном металле корпуса регенератора на отдельных участках наблюдается язвенная коррозия глубиной до 0,8 мм. На отметке 16,8 м над люком-лазом имеется вспучина диаметром до 400 мм. В сварных швах корпуса – поры, усадочные раковины и подварки. Под штуцерами Ду50, расположенными на высотных отметках 25,2 м и 16,8 м, выявлены раковины с трещиноподобными дефектами. Выборка этих дефектов показала, что глубина дефекта под штуцером на высотной отметке 25,2 м распространяется на всю толщину стенки регенератора, глубина дефекта под штуцером на высотной отметке 16,8 м достигает 9 мм. Внутри патрубков отдельных штуцеров регенератора выявлена питтинговая коррозия. Все штуцеры с дефектами были отремонтированы. При проведении испытания регенератора на плотность в сварных соединениях обечайки диаметром 11000 мм и верхнего днища были выявлены сквозные трещины. В процессе проведения ремонта из корпуса регенератора в местах большого сосредоточения трещин были вырезаны участки, которые затем были порезаны на темплеты для проведения исследований. На внутренней поверхности этих участков металл подвержен коррозионному растрескиванию.
УЗТ	Измеренные значения толщин металла элементов регенератора не выходят за пределы расчетных значений. Толщина стенки штуцеров регенератора не ниже отбраковочной.
МПД	На проконтролированных участках сварных швов дефектов не обнаружено.
ЦД	В патрубках штуцеров и в сварных швах вварки их в корпус регенератора выявлены трещиноподобные дефекты. На высотной отметке 36,4 м пять штуцеров удалены и на их место вварены вставки или накладки. На высотной отметке 25,2 м штуцер, под которым был выявлен сплошной дефект, был удален.
УЗК	На проконтролированных участках сварных швов дефектов не обнаружено.
Проведенные исследования	
Металлографические исследования	В металле вспучины выявлены микроразрушения, развивающиеся по границам зерен. На основном металле обечайки регенератора диаметром 9000 мм выявлены микротрещины.
Измерения твердости	Твердость металла регенератора находится в допустимых пределах для стали, из которой изготовлен регенератор.
Лабораторные исследования	Основной металл и сварные швы корпуса регенератора подверглись коррозионному растрескиванию в результате длительного воздействия коррозионно-активных веществ рабочей среды и наличия остаточных напряжений в металле. В основном металле и в сварных швах корпуса регенератора образовались как микро-, так и макротрещины, часть из которых сквозные. Трещины начинаются с внутренней поверхности корпуса регенератора. Ускоряющими факторами зарождения новых и развития имеющихся трещин являются произошедшие в металле корпуса регенератора структурные изменения (разложение перлитной составляющей, образование пор и цепочек пор ползучести по границам зерен, микротрещин по границам зерен) и наводороживание металла. Результаты лабораторных исследований позволяют утверждать, что на внутренней поверхности корпуса регенератора имеются и микро-, и макротрещины, которые находятся в стадии развития и не вышли на наружную поверхность. Такие трещины могут быть уверенно выявлены только с внутренней поверхности корпуса регенератора. Прочностные характеристики металла корпуса регенератора удовлетворительные.

обнаружении растрескивания в сварных соединениях программа проведения НК должна быть пересмотрена в соответствии с новой информацией.

По правилам обследования общий анализ результатов, полученных в рамках отдельных методов, проводит эксперт и он же при необходимости должен вносить изменения в план обследования. В данном случае специалист УЗК должен был получить задание на выявление несплошностей определенного типа, поскольку после вырезки и последующих лабораторных исследований такая информация стала доступной. Дополнительные места контроля также должны быть указаны экспертом исходя из конструктивных особенностей регенератора.

В нашем случае был выполнен формальный контроль на очень ограниченном количестве

участков, которые являлись просто удобными для проведения работ по УЗК и мало подходили для реальных задач диагностического обследования.

Вырезка образцов (см. приведенную выше таблицу: «Металлографические исследования»; «Лабораторные исследования»). Вырезку образцов проводили газовой резкой. В случае, когда участок вырезки располагался в зоне с высокими остаточными напряжениями, велика вероятность развития трещиноподобных дефектов от поверхности реза, т.е. они могли образоваться в процессе термической резки. Поэтому представленные выводы подлежали уточнению.

Подтверждение наличия трещиноподобных несплошностей на других участках, например, ультразвуковым исследованием, практически не оставил

бы никаких сомнений в правильности сделанных выводов и соответственно этому линия дальнейшего поведения по отношению к перспективе безопасной эксплуатации регенератора была бы более обоснованной и, следовательно, надежной.

Определение мест вырезки контрольных образцов для лабораторных исследований. *Визуальный контроль поврежденных мест регенератора.* Для уточнения мест вырезки образцов для контрольных проб металла с учетом высказанных замечаний специалистами ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ был проведен визуальный осмотр обнаруженных повреждений сварных соединений регенератора.

Визуальный осмотр сварных соединений проводился в то время, когда значительная часть дефектов была уже обварена накладками, что несколько затрудняло выбор мест с наиболее характерными типами повреждений сварных соединений. Вместе с тем даже в этом случае были выявлены дополнительные трещиноподобные дефекты в заводских сварных соединениях, выполненных при укрупнении царг перед их вальцовкой (рис. 1).

Абсолютное большинство выявленных дефектов располагались в монтажных кольцевых швах и на их пересечениях в верхней части регенератора. Исключения составляли только дефекты в местах ремонтных подварок или накладок, которые развились за пределы околошовной зоны (рис. 2, 3).

Учитывая данные особенности повреждения верхней части регенератора, основное внимание при выборе мест вырезки контрольных проб металла уделялось сварным соединениям монтаж-



Рис. 1. Растрескивание по линии сплавления заводского сварного шва при укрупнении царги обечайки диаметром 11000 мм



Рис. 2. Типичное растрескивание монтажных кольцевых швов в верхней части регенератора



Рис. 3. Растрескивание монтажных кольцевых швов в верхней части регенератора в местах ремонтных подварок

ных кольцевых швов и их околошовным зонам в местах их пересечения с продольными швами.

Выбор методов НК для предварительной оценки состояния регенератора. Принимая во внимание достаточно большое количество сквозных трещин, которые были обнаружены при выполнении АЭ испытаний, был сделан вывод, что регенератор требует обширного восстановительного ремонта. На момент обследования практически отсутствовала информация о количественных характеристиках повреждения металла корпуса реактора: геометрические размеры трещин, их расположение и преимущественные места образования. Ответы на эти вопросы были определяющими при решении задачи о возможности и целесообразности разработки технологии ремонта.

Решение поставленной задачи усложнялось следующими обстоятельствами:

- наличием достаточно большой площади для обследования, даже участки с известной поврежденностью были значительны по площади;
- отсутствием доступа к внутренней поверхности стенки регенератора;
- в связи с предыдущим обстоятельством ограниченный выбор методов НК.

Действительно, возможность выявления трещин на внутренней стороне аппарата, которая закрыта слоем торкрет бетона, существенно сужена для выявления физическими методами НК. Из всех возможных методов НК целесообразно применить только УЗ исследования. Относительно простые и дешевые методы типа капиллярного и магнитного контроля в этом случае можно использовать лишь в ограниченном объеме. Поэтому надежное выявление внутренних трещин и относительно точная оценка их геометрических размеров, которые в массе своей не выходят на наружную поверхность, требовало разработки специальных подходов к проведению УЗК.

Выводы

Программа проведения диагностического обследования, которая по формальным требованиям научно-технической документации разрабатывается

до начала работ, должна предполагать возможность ее корректировки в зависимости от текущих результатов обследования.

Эффективное использование методов НК может потребовать серьезной адаптации имеющихся (штатных) методик или даже разработки специальных.

Экономическая целесообразность проведения ремонтно-восстановительных работ зависит от сте-

пени поврежденности основного металла, находящегося вне зоны сварных соединений, и поэтому должна быть определена, что всегда предполагает выполнение значительных объемов работ НК.

Обязательным условием надежной эксплуатации является использование технологий ремонтно-восстановительных работ, позволяющих разгрузить остаточные напряжения в наиболее нагруженных поврежденных местах.

The paper presents the main features to be taken into account during diagnostic examination of damaged petrochemical equipment. The most typical errors made during examination are noted. 1 Table, 3 Figures.

Keywords: repair of petrochemical equipment, NDT, through-thickness cracks in welded joints

*Поступила в редакцию
19.01.2016*

РАЗРАБОТАНО В ИЭС

ПУТЕИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕЛЕЖКА КВ-1П ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ШИРИНЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ КОЛЕИ И ВЗАИМНОГО ПРЕВЫШЕНИЯ РЕЛЬСОВЫХ НИТЕЙ

Путеизмерительная тележка КВ-1П предназначена для сплошного автоматизированного контроля ширины железнодорожной колеи и взаимного превышения рельсовых нитей (уровня колеи) с привязкой к путевой координате. Для взаимодействия с оператором предусмотрены жидкокристаллический цветной дисплей и мембранная клавиатура. Результаты измерений сохраняются в энергонезависимую память микропроцессорного блока. Для детальной обработки результатов измерений и формирования отчетных документов разработано специализированное программное обеспечение. Определяются следующие неисправности пути: сужения и уширения колеи; перекосы и плавные отклонения уровня пути.



Основные особенности путеизмерительной тележки КВ-1П:

- индикации результатов измерения в виде цифровых значений и графических диаграмм;
- обнаружение значительных отклонений от норм содержания железнодорожного пути «на лету» непосредственно в процессе работы тележки;
- возможность ввода паспортных данных железнодорожной колеи и просмотра результатов измерений на дисплее микропроцессорного блока;
- быстрый ввод особых отметок оператора (электронные заметки).

Основные технические характеристики:

- диапазон измерения ширины колеи, мм 1500...1560
- точность измерения ширины колеи, мм 1,0
- диапазон измерения уровня колеи, мм 160
- точность измерения уровня колеи, мм 1,5
- точность измерения пройденного пути, % ±2,5
- время автономной работы, часов, не менее 7
- степень защиты по IP IP 64
- диапазон рабочих температур, °С от -25 до +50

Путеизмерительная тележка КВ-1П по техническим характеристикам, уровню исполнения и автоматизации не уступает лучшим зарубежным устройствам данного типа.