

УДК 622.464-21.001.5

Кухарь В.Ю., канд. техн. наук, доцент
(ГВУЗ «НГУ»)

ОБРАТНЫЙ ИНЖИНИРИНГ КОРПУСОВ НАСЫПНЫХ УГОЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ

Кухар В.Ю., канд. техн. наук, доцент
(ДНВЗ «НГУ»)

ЗВОРОТНІЙ ІНЖІНІРИНГ КОРПУСІВ НАСИПНИХ ВУГІЛЬНИХ ФІЛЬТРІВ

Kukhar V.Y., Ph.D. (Tech), Associate Professor
(SHEI «NMU»)

REVERSE ENGINEERING OF THE BULK CARBON FILTER SHELLS

Аннотация. В статье показано, что при обратном инжиниринге корпусов насыпных угольных фильтров для использования в цикле подготовки питьевой воды следует особое внимание уделять выбору типа коррозионностойкого материала корпусов. Проведены исследования условий эксплуатации существующих корпусов фильтров, выявлены и обоснованы факторы, вызывающие их коррозионное разрушение, оценено влияние этих факторов на скорость коррозии. Установлено, что основными видами коррозии нержавеющей корпусов угольных насыпных фильтров являются ножевая, межкристаллитная и питтинговая коррозия. Обоснованы типы и марки нержавеющей сталей, обладающих наибольшей коррозионной стойкостью в качестве конструкционного материала для изготовления корпусов насыпных угольных фильтров.

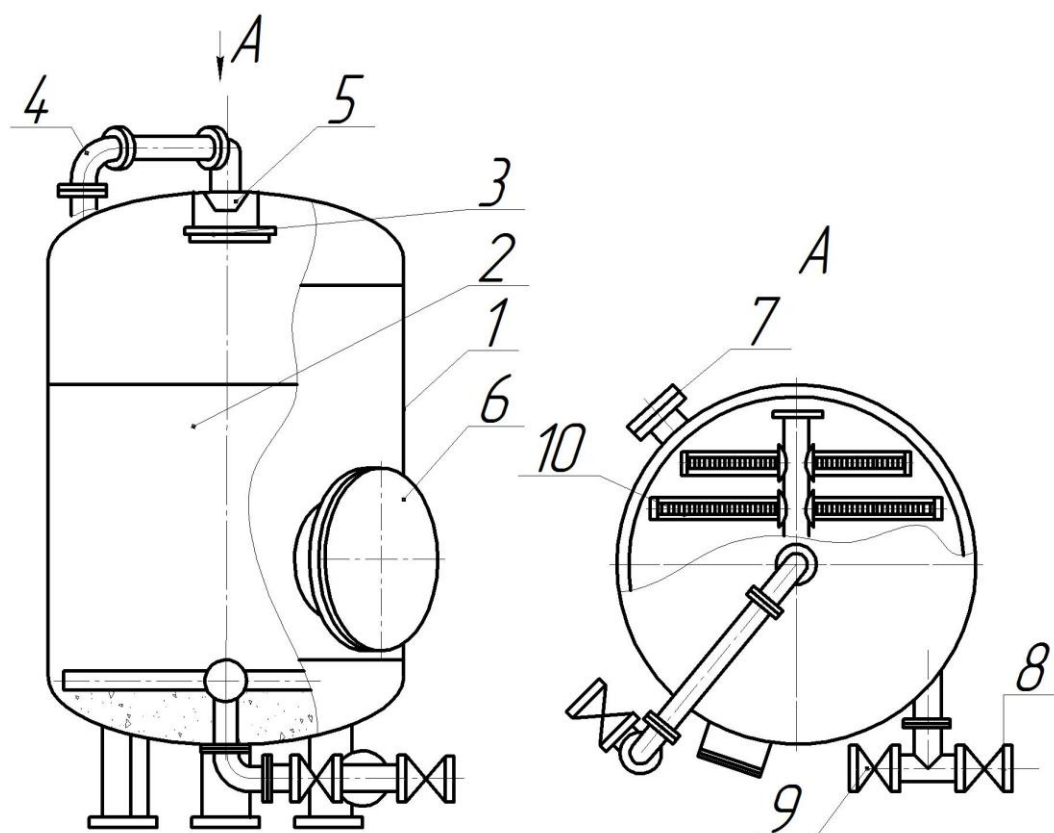
Ключевые слова: обратный инжиниринг, подготовка питьевой воды, насыпной угольный фильтр, активированный уголь, коррозионностойкая сталь, коррозия.

Введение

Приготовление очищенной питьевой воды в промышленных масштабах является одним из способов обеспечения чистой водой населения и предприятий пищевой промышленности. Очистка воды производится на комплексе последовательно установленных аппаратов водоподготовки, каждый из которых улучшает свойства исходной воды, устраняя тот или иной характерный вид загрязнений (механические частицы, растворенные соли, биологические загрязнения) или внося необходимые корректировки в органолептические характеристики (вкус, запах, цвет, замена солей жесткости на полезные для человеческого организма соли, изменение ионного состава и т.п.).

Как правило, первичным этапом промышленной водоподготовки является напорная фильтрация исходной воды через насыпные фильтры с засыпкой из активированного угля и химически активной полимерной смолы. Цель такой фильтрации – удаление из исходной воды ароматических веществ, хлора и других органических соединений.

Корпуса угольных и смоляных фильтров изготавливаются из коррозионностойкой (нержавеющей) стали отечественными и зарубежными производителями. Несмотря на изготовление различными производителями, корпуса таких фильтров имеют однотипную конструкцию (рис. 1) [1, 2].



1 — корпус, 2 — неподвижный слой фильтровальной засыпки, 3 — отбойник,
 4 — трубопровод подачи очищаемой воды, 5 — воздушник, 6 — люк, 7 — трубопровод
 гидровыгрузки фильтровальной засыпки (может отсутствовать в некоторых конструкциях),
 8 — трубопровод отвода очищенной воды; 9 — трубопровод подачи взрыхляющей воды,
 10 — распределительная система труб для сбора фильтрата

Рисунок 1 – Схема вертикального напорного насыпного фильтра

При проектировании новых или при воспроизводстве существующих конструкций с их изменениями (обратный инжиниринг) корпусов фильтров разработчику следует согласовать (обосновать) с Заказчиком основные параметры (емкость, габариты, размеры, количество и расположение патрубков и люков, рабочее давление) и назначить материал для их изготовления.

Если первый круг вопросов может быть решен достаточно простыми способами (при обратном инжиниринге осуществляется геометрическое копирование, при необходимости с применением принципа геометрического подобия), то назначение марки материала зачастую сталкивается с рядом субъективных и объективных трудностей. Субъективные трудности обусловлены естественным желанием собственников будущих фильтров

минимизировать стартовые затраты на оборудование и связанным с этим стремлением использовать наиболее дешевые марки нержавеющей стали (типа AISI 301) без учета конкретных условий будущей эксплуатации оборудования и требуемой наработки на отказ фильтров. Попытки убедить заказчика в целесообразности обоснованного рассмотрения условий будущей эксплуатации фильтров зачастую наталкиваются на его нежелание раскрывать "секреты" принятых у него технологий водоподготовки. Объективными факторами, существенно влияющими на коррозионную стойкость фильтров, являются химсостав фильтруемой воды, свойства фильтрующих засыпок, технология изготовления и эксплуатации фильтров и ряд других факторов.

Внутренние полости корпусов насыпных угольных и смоляных фильтров, изготовленных из коррозионно-стойких сталей, за время их последующей эксплуатации для фильтрации воды подвергаются воздействию коррозии. Коррозия негативно сказывается на внешнем виде корпусов, приводит к вынужденным простоям фильтровального оборудования на период устранения течей и связанными с этим убытками производителей фильтрованной воды. Частично продукты коррозии переносятся в фильтруемую воду, ухудшая ее свойства.

Цели работы:

1. Установление причины (комбинации причин), вызывающих коррозионное разрушение эксплуатируемых в технологическом цикле промышленной очистки питьевой воды корпусов насыпных угольных фильтров;

2. Разработка рекомендаций по назначению марок коррозионностойкой стали для изготовления новых корпусов насыпных угольных фильтров, обеспечивающей приемлемый срок службы фильтров без нарушения их герметичности.

Задачи работы

При проведении исследований ставились задачи:

а) изучить технологическую схему промышленной очистки питьевой воды и применяемое в ней оборудование;

б) определить фактические марки нержавеющей стали, из которых изготовлены существующие корпуса насыпных фильтров;

в) установить материалы, вещества и реагенты, вызвавшие вследствие непосредственного механического, физического, химического и биологического воздействия на материал корпусов фильтров их преждевременное коррозионное разрушение;

г) обосновать рекомендации по назначению марок коррозионностойких (нержавеющих) сталей, обеспечивающей приемлемый срок службы фильтров без нарушения их герметичности;

д) разработать конструкторскую документацию на корпус насыпного угольного фильтра.

Работа была выполнена по заданию и на базе одного из предприятий очистки воды г. Днепра, однако ее результаты могут быть рекомендованы для других операторов питьевой водоподготовки.

Технологическая схема промышленной очистки питьевой воды

Промышленная очистка питьевой воды производится поэтапно. Этапы очистки и применяемое для этого оборудование варьируются у разных производителей, но общая последовательность (особенно первичных этапов водоподготовки), как правило, однотипна (рис. 2).

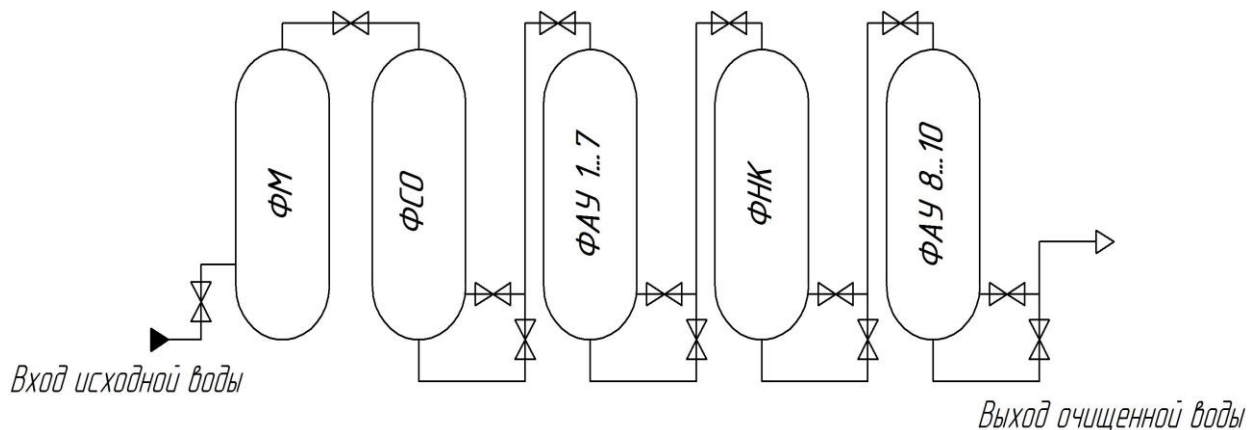


Рисунок 2 - Принципиальная технологическая схема водоподготовки промышленной очистки питьевой воды

Первичные этапы очистки воды:

а) грубая механическая очистка воды от механических примесей - осуществляется помощи фильтров механической очистки (ФМ) с рейтингом фильтрации 10 ... 50 мкм;

б) сорбция растворенных органических веществ (производных фульво- и гуминовых кислот, ароматических соединений и т.д.) - осуществляется при помощи фильтров сорбентов органических веществ (ФСО);

в) сорбция растворенных органических веществ и остаточного хлора - осуществляется при помощи фильтров с активированным углем (ФАУ);

г) тонкая механическая очистка воды от коллоидных примесей - осуществляется при помощи фильтров тонкой механической очистки с рейтингом фильтрации 1...5 мкм (ФМ);

д) умягчение воды - осуществляется при помощи фильтров натрий-катионитных (ФНК);

е) дополнительная очистка воды на фильтрах с активированным углем (ФАУ).

Дальнейшая подготовка воды может быть связана с ее обеззараживанием, с ультрафиолетовой ее очисткой, насыщением ионами полезных элементов и т.п. операциями. Все металлическое оборудование системы водоподготовки заземлено в соответствии с требованиями ПУЭ.

Используемое на последующих этапах (после п. б) оборудование устанавливается после насыпных угольных фильтров, поэтому в дальнейших исследованиях оно не рассматривается.

Первичным источником водоснабжения являются поверхностные либо подземные источники (река, скважина). Зачастую вода в систему водоподготовки отбирается из городской системы питьевого водоснабжения. В условиях исследуемого предприятия химический состав исходной воды в целом соответствует «Гигиеническим требованиям к воде питьевой, предназначенной для потребления человеком» (ГСан ПиН 2.2.4.-171-10). Отмечается почти постоянное превышение нормативного содержания в исходной воде хлора в соединениях (хлороформ).

Проведенный химический анализ воды на входе и выходе в фильтр с активированным углем ФАУ и анализ его результатов позволили установить, что в исходной входной в систему водоподготовки воде отмечаются превышения нормативного содержания хлора в связанном виде (хлороформ), а также достаточно много сухого остатка, в сочетании с хлором и натрием. Иных коррозионноактивных по отношению к сталям корпусов фильтров элементов во входной воде не выявлено. Гидравлический и гидродинамический анализ системы водоснабжения и оценка влияния гидравлических параметров системы на коррозионную стойкость оборудования не проводились по желанию заказчика.

Существующие исследуемые насыпные угольные фильтры

В существующей схеме водоподготовки предприятия применены следующие насыпные фильтры:

а) девять параллельно работающих фильтров с рейтингом сорбции органики ФСО1...ФСО9;



Рисунок 3 – Внешний вид насыпного угольного фильтра

б) семь угольных параллельно работающих фильтров ФАУ1...ФАУ7, установленных после фильтров тонкой механической очистки ФМ (25 мкм) и фильтров сорбции органики ФСО;

в) три угольных параллельно работающих фильтра ФАУ8...ФАУ10, установленных после ионнообменных натрий-катионитовых умягчителей воды ФНК.

Корпуса насыпных фильтров ФСО и ФАУ конструктивно похожи между собой. Внешний вид существующего насыпного фильтра показан на рис. 3.

В качестве фильтрующей сорбентной засыпки в угольные фильтры ФАУ1...ФАУ10 используют активированный уголь Filtrasorb 400 [3].

Замена угольной засыпки производится по мере ухудшения ее сорбционных свойств в ФАУ (в среднем, 1 раз в 1,5 года).

При замене угольной засыпки очистку внутренних полостей корпусов ФАУ осуществляют механическим способом (щетки для нержавеющей стали с применением ручного электроинструмента – угловой шлифовальной машинки).

Анализ химического состава (содержание серы и других коррозионно-активных элементов) и испытания механических свойств гранул (твердость, абразивность) активированного угля в пределах настоящего исследования не проводился. Учитывая способ производства активированного угля из каменноугольного сырья, при котором не происходит существенных изменений механических свойств исходного материала, можно ожидать значение минералогической твердости частиц активированного угля в пределах от 1 до 3 по шкале Мооса [С.Г. Аронов, 1960], [Д.Д. Русчев, 1976]. Благодаря термической активации угля при температуре 800...1000 °С в процессе его производства, сера – легколетучий материал – возгоняется, и ее содержание в активированном угле должно снижаться по сравнению с содержанием в исходном сырье (в каменном угле содержание серы колеблется от 1 до 6 %) [4]. Угольная засыпка располагается на поддерживающем двухслойном гравийно-песчаном слое.

В качестве насыпного сорбента органики в фильтрах ФСО применяют органопоглотитель на основе DOWEXMWA-1 производства DOW Chemical. Сорбент органики представляет собой полимерный органопоглотитель с анионообменными свойствами со стиролдивинилбензольной матрицей и макропористой структурой.

Коррозионное разрушение нержавеющей корпусов насыпных фильтров

За время эксплуатации в составе технологического оборудования системы водоподготовки все корпуса угольных фильтров ФАУ1 ... ФАУ10 подверглись коррозионному разрушению. Типы разрушений для различных корпусов фильтров однотипны, но степени разрушения различны. Они представлены на рис. 4.

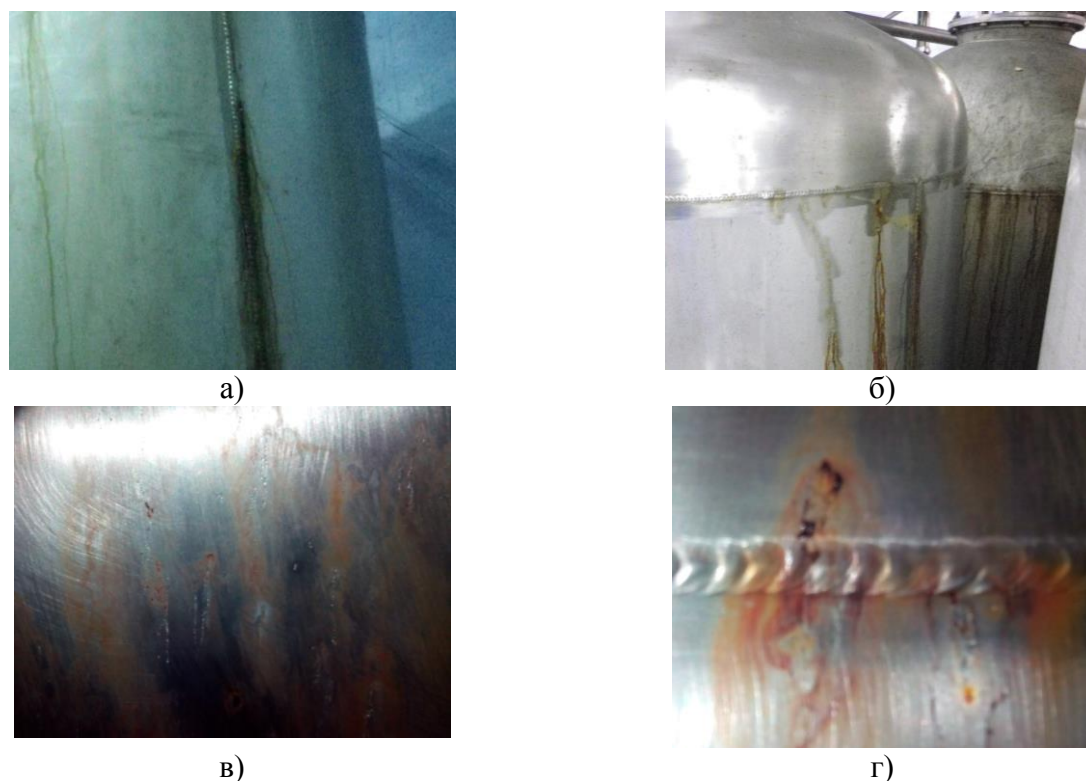
Типы коррозионных разрушений угольных фильтров. Характерным признаком разрушений явилась потеря корпусами герметичности по сварным швам и по основному материалу корпуса фильтров.

Характерным типом разрушений явились сквозные свищи металла цилиндрического корпуса, его эллиптического днища и сварных швов. При изучении внутренних поверхностей корпусов ФАУ2 выявлены одиночные каверны и группы каверн с размером до 3...5 мм на поверхности металла и сварных швов.

Сколько-нибудь заметных трещин по металлу корпуса и по сварным швам не наблюдается.

Степень коррозионного разрушения по угольным фильтрам

Число свищей в фильтрах насыпных угольных и их локализация приведены в таблице 1.



а) сварные швы корпуса, б) сварные швы корпуса и эллиптического днища, в) металл внутренней поверхности корпуса, г) металл внутренней поверхности верхнего эллиптического днища

Рисунок 4 –Типовые коррозионные нарушения (сквозные свищи) насыпного угольного фильтра

Таблица 1 – Локализация сквозных свищей на ФАУ

Номер фильтра	Срок эксплуатации, лет	Число сквозных свищей					Удельное (среднегодовое) число свищей, год ⁻¹
		сварной шов корпуса	сварной шов корпуса и верхнего днища	металл корпуса	металл верхнего днища	Общее число свищей	
ФАУ1	10	-	12	-	-	12	1,20
ФАУ2	10	-	16	3*	-	19	1,90
ФАУ3	13	-	16	1*	-	17	1,31
ФАУ4	13	-	7+1*	-	-	8	0,62
ФАУ5	10	-	15	-	-	15	1,50
ФАУ6	10	-	20	1*	-	21	2,10
ФАУ7	3	3	6	2	-	11	3,67
ФАУ8	13	-	15	-	-	15	1,15
ФАУ9	13	-	14	-	-	14	1,08
ФАУ10	3	3	4	-	-	7	2,33

Примечание: *-свищ заварен

Корпуса фильтров ФАУ7 и ФАУ10 имеют меньшее абсолютное число повреждений, однако эти повреждения возникли за меньшее время эксплуатации, чем у других фильтров.

Удельное число свищей, год⁻¹ (отношение числа всех свищей на корпусе фильтра к сроку его эксплуатации) показывает "скорость" износа корпусов:

$$A = \frac{\sum n_i}{t},$$

где n_i – суммарное число свищей корпуса фильтра ФАУ, шт.; t – срок эксплуатации корпуса фильтра ФАУ, лет.

Численные значения удельного числа свищей для угольных фильтров приведены в табл. 1, их графическое отображение – на рис. 5.

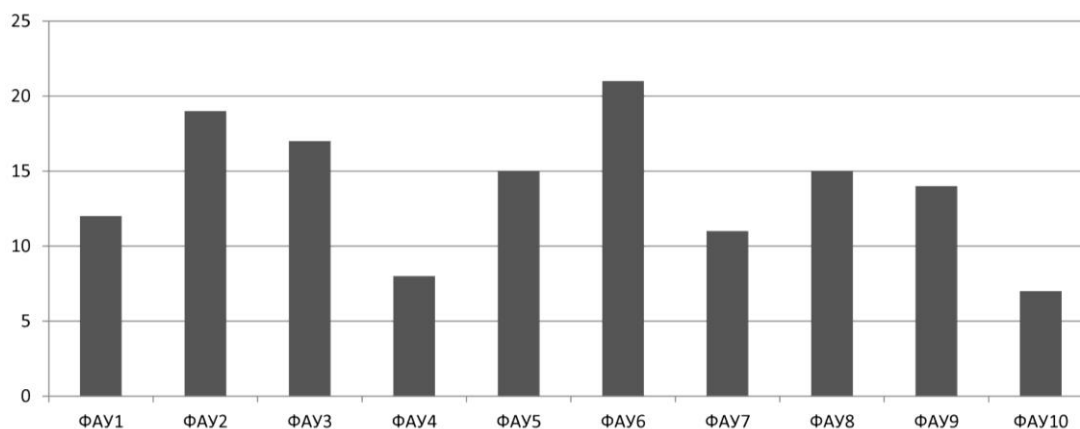


Рисунок.5 – Гистограмма удельных (среднегодовых) коррозионных нарушений (сквозные свищи) насыпных угольных фильтров

Состояние корпусов фильтров сорбции органики ФСО1...ФСО9. По состоянию на октябрь 2016 года в результате визуального внешнего осмотра корпусов указанного оборудования (с корпусами аналогичной угольным фильтрам конструкции) заметные нарушения герметичности выявлены только у трех корпусов первой поставки. В остальных корпусах ФСО признаков заметного ухудшения герметичности не обнаружено.

Изучение корпусов насыпных фильтров выявил их подверженность коррозионному разрушению в ходе их эксплуатации. Основным видом коррозионного разрушения являются сквозные свищи. Локализация свищей неравномерная, в основном в зоне сварного шва корпуса и верхнего днища и пришовной области металла. Наибольшую "скорость" появления сквозных свищей выявлено на корпусах ФАУ7 и ФАУ10 (3,67 и 2,33 свища в год соответственно). Остальные корпуса ФАУ имеют среднюю "скорость" появления свищей 1,36 свища в год.

Одинаковые корпуса фильтров (один изготовитель, одинаковый срок эксплуатации, одинаковая угольная засыпка) ФАУ7 и ФАУ10 работают с различной по химическому составу водой: первый фильтрует неумягченную воду, второй работает с фильтрованной умягченной водой. Более высокую "скорость" появления сквозных свищей имеет корпус фильтра ФАУ7. Поэтому одной из причин коррозионного разрушения корпуса можно считать состав фильтруемой воды, в частности, соединения хлора и жесткость исходной воды.

Лабораторные исследования по сталям корпусов насыпных фильтров

Коррозионная стойкость нержавеющей стали в первую очередь определяется химическим составом самой стали. Для установления возможных причин коррозионного разрушения корпусов насыпных фильтров были проведены лабораторные исследования их химического состава. Определение химического состава материала корпусов было проведено бесконтактным способом в соответствии с ГОСТ 18895-97 «Сталь. Метод фотоэлектрического спектрального анализа» лабораторией ООО СП «Общество технического надзора ДИЭКС» (г. Днепр).

Для лабораторных исследований были выбраны наиболее характерные корпуса угольных фильтров:

- ФАУ7 (2013 год изготовления) как наиболее коррозионно разрушенный корпус с максимальной "скоростью" коррозии;
- ФАУ2 (2006 год изготовления) как корпус со средней "скоростью" коррозии.

Оба корпуса фильтра установлены в одном месте технологической схемы водоподготовки. Это обуславливает одинаковые условия эксплуатации и коррозионноактивные факторы.

Исследования химсостава материалов корпусов были проведены специализированной сертифицированной лабораторией предприятия ООО СП «Общество технического надзора ДИЭКС».

Корпус насыпного фильтра ФАУ2. Химический состав металла обечайки соответствует стали аустенитного класса с низким содержанием углерода 08X18H10 ГОСТ 5632-72 (аналоги - AISI 304, ASTM A 240), днищ - стали 12X18H9 ГОСТ 5632-72, химсостав сварных швов соответствует марке сварочной проволоки СВ 04X19H11M3 ГОСТ 2246-70.

Корпус насыпного фильтра ФАУ7. Химический состав обечайки и днищ - сталь аустенитно-мартенситного класса 07X16H6 ГОСТ 5632-72 (зарубежный аналог сталь AISI301). Марку примененной присадочной проволоки для сварки корпуса фильтра ФАУ7 не исследовали.

Причины коррозионного разрушения корпусов насыпных угольных фильтров

Коррозионное разрушение корпусов насыпных фильтров вызывается комплексом одновременно действующих факторов:

- а) свойства исходной воды, подвергаемой фильтрации;
- б) материал корпусов фильтров и технология их изготовления;
- в) коррозионная химическая и механическая активность угольной

фильтрующей засыпки;

г) принятый регламент эксплуатационного обслуживания корпусов.

Исходная вода, отбираемая из городской системы питьевого водоснабжения, почти постоянно содержит избыток хлора в соединениях (хлороформ). Хлор (его соединения, ионы) является самым опасным агентом из галогенов именно для коррозионно-стойких сталей с точки зрения их коррозионного повреждения, вызывает питтинговую коррозию, перерастающую в сквозные свищи.

Косвенно оценить влияние качества исходной воды и ее химического состава на коррозионный износ нержавеющей корпусов можно исходя из следующих соображений. Фильтры ФАУ7 и ФАУ10 имеют одинаковую угольную засыпку и изготовлены из одного материала. Однако фильтр ФАУ7 установлен сразу после фильтров сорбции органики ФСО, а фильтр ФАУ10 – после ФСО, ФАУ первой ступени очистки и после натрий-катионитовых умягчителей воды ФНК. Вода на входе ФАУ10 проходит более глубокую очистку и умягчение, и является менее коррозионноактивной, чем вода на входе в ФАУ7. Отношение средней "скорости" коррозионного износа фильтров ФАУ7 и ФАУ10, равное $\left(1 - \frac{2,33}{3,67}\right) \cdot 100\% = 36,5\%$, косвенно характеризует влияние качества исходной воды и ее примесей на коррозионную стойкость корпусов. Таким образом, степень влияния качества исходной воды на коррозионную стойкость корпусов фильтров (по ФАУ7 и ФАУ10) можно оценить как треть от всей совокупности коррозионных факторов.

Проведенный химический анализ материалов корпусов фильтров выявил применение сталей с высоким (0,07...0,12%) для рассматриваемых условий эксплуатации содержанием углерода в металле. Это отрицательно влияет на коррозионную стойкость.

Исходя из изложенного, наиболее вероятными видами коррозии, вызывающей появление сквозных свищей в корпусах насыпных фильтров следует считать:

- ножевую коррозию сварных швов;
- межкристаллитную, переходящую в ножевую коррозию в присварочной области металла обечайки;
- исключительно активную межкристаллитную и питтинговую коррозии металла обечайки корпуса в местах контакта с ним гранул активированного угля и в местах механических повреждений пассивировочного слоя с последующим усугублением коррозии этих мест при непосредственном контакте металла с гранулами активированного угля.

Исключительно активное коррозионное воздействие на металл нержавеющей корпусов насыпных фильтров имеет засыпка из активированного угля.

Известно [2], что уголь в виде углерода или графита является одним из самых опасных веществ для коррозионно-стойких сталей. Он вызывает активное коррозионное разрушение стали в месте ее контакта с углем. В случае

повреждения тонкой пассивирующей пленки на поверхности изделия из коррозионностойкой стали, в процессе эксплуатации, происходит диффузия углерода в металл (прежде всего на границы зерен). Это увеличивает локальное содержание углерода в стали и будет приводить к коррозии (ножевой, межкристаллитной, питтинговой, что в дальнейшем приводит к более масштабным коррозионным повреждениям).

Периодическая частая промывка угольной засыпки и регулярная (в период замены фильтрующей засыпки) очистка внутренних поверхностей корпусов фильтров механическими щетками оказывают, по сути, одинаковое действие – нарушение пассивировочной оксидной пленки на поверхности металла. Однако степень их воздействия различна.

Очистка металлическими щетками проводится редко, примерно 1 раз в 1...1,5 года и приурочивается к замене фильтрующей засыпки. Однако пассивирующая пленка на открытом воздухе достаточно быстро восстанавливается, и к моменту засыпки свежего угля уже обеспечивает свое защитное действие. Поэтому влияние этого фактора на коррозию можно считать незначительным.

Наиболее значимым эксплуатационным фактором, приводящим к коррозии, является необходимость периодической промывки активированного угля. При этом гранулы угля восходящим промывочным потоком воды взвешиваются и постоянно трутся о внутренние поверхности корпусов, вызывая тем самым царапающее действие на тончайший (толщина 10...30 ангстрем) и механически слабый против истирания пассивировочный слой. После завершения промывки гранулы угля снова естественным образом укладываются внутри корпуса, контактируя с чистым металлом в виде царапин.

Рекомендации по выбору марок сталей для изготовления корпусов насыпных угольных фильтров

Условия эксплуатации фильтровального оборудования в системах питьевой водоподготовки отличаются комбинацией достаточно активных в коррозионном отношении факторов. Для подобных условий наибольшей коррозионной стойкостью будут иметь стали аустенитного класса с низким содержанием углерода (не выше 0,03 %), с высоким содержанием марганца, хрома, никеля и молибдена, желателен стабилизированный титаном.

Таким требованиям наиболее полно удовлетворяет сталь типа TP 316L (аналог 03X17N14M2 ГОСТ 5932). Прогнозируемый срок службы корпусов угольных фильтров, изготовленных из такой стали толщиной 5...6 мм, до появления первых коррозионных нарушений герметичности, составляет не менее 6...7 лет, что является приемлемым для Заказчика. Более бюджетными вариантами, обеспечивающими приемлемую коррозионную стойкость (3...4 года), могут выступить стали типа 321 (аналог 08X18N10T, 05...06X18N10T или даже 03X18N10T ГОСТ 5932) или типа 304/304L (аналог 03X18N11 ГОСТ 5932), с содержанием углерода не более 0,03%, нестабилизированная титаном сталь.

Для сварки следует использовать материал с содержанием углерода 0,02-

0,03%, желательно из такой же марки, что и основной металл.

Промышленное внедрение результатов исследований

Результаты исследований в виде рекомендаций по назначению марок коррозионностойких сталей для изготовления корпусов насыпных угольных фильтров были переданы Заказчику работы и в НП ООО "Окенамашэнерго". По техническому заданию Заказчика НП ООО "Окенамашэнерго" разработан комплект рабочих чертежей на корпус насыпного угольного фильтра и передан в производство.

Выводы

1. Обратный инжиниринг корпусов насыпных угольных фильтров, используемых в системах промышленной водоподготовки питьевой воды, включает геометрическое копирование (при необходимости с адаптацией под конкретные требования производства) конфигурации и размеров существующих корпусов и назначение марок коррозионностойких сталей для их изготовления, обеспечивающих приемлемую для заказчика стойкость корпусов (не менее 5...7 лет).

2. Коррозионное разрушение корпусов насыпных угольных фильтров является следствием комплексного воздействия химического состава исходной воды, нерационального выбора марок коррозионно-стойких сталей для изготовления корпусов фильтров, химических и механических свойств угольной фильтрующей засыпки, принятого регламента эксплуатации оборудования.

3. Наиболее высокой коррозионной стойкостью обладает сталь типа TP 316L (аналог 03X17H14M2). Более бюджетными вариантами и несколько менее коррозионно-стойкими являются стали типа 321 (аналоги 08X18H10T, 05...06X18H10T или 03X18H10T) и типа 304/304L (аналог 03X18H11). Для сварки следует использовать материал с содержанием углерода 0,02-0,03%, желательно из такой же марки, что и основной металл.

4. Разработан комплект рабочей конструкторской документации на корпус насыпного угольного фильтра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фрог, Б. Н. Водоподготовка: Учебн. пособие для вузов / Б.Н. Фрог, А.П. Левченко. - М.: Издательство МГУ, 1996 - 680 с.
2. Водоподготовка: Справочник. / Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. - М.: Аква-Терм, 2007. - 240 с.
3. Гранулированный активированный уголь Filtrasorb 300 и 400. Описание продукта [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.antris.com.ua/Base/Filtermedia/F300-400.pdf>.
4. Справочник коксохимика. В 6 томах. Том 1. Угли для коксования. Обогащение углей. Подготовка углей к коксованию / Под общ. ред. Л.Н.Борисова, Ю.Г.Шаповала. - Харьков: Издательский Дом «ИНЖЭК», 2010. - 536 с.

REFERENCES

1. Frog, B.N. and Levchenko, A.P. (1996), *Vodopodgotovka: Uchebn. posobiye dlya vuzov* [Water training. manual for college], Publishing House of Moscow State University, Moscow, RU.]
2. *Vodopodgotovka: Spravochnik*. [Water conditioning: reference book] (2007), Aqua-Therm, Moscow, RU.
3. *Granulirovannyj aktivirovannyj ugol Filtrasorb 300 i 400. Opisanyie produkta*. [Granular Activated

Carbon Filtrasorb 300 and 400. Product Description], available at: <http://www.antris.com.ua/Base/Filtermedia/F300-400.pdf> (Accessed 7 January 2017)

4. Borisov, L.N. and Stepanov, Yu.G. (2010), *Spravochnik koksokhimiya. V 6 tomakh. Tom 1. Ugli dlya koksovaniya. Obogashheniye ugle. Podgotovka ugley k koksovaniyu* [Handbook of coke chemistry. In 6 volumes. Volume 1. Coals for coking. Enrichment of coal. Preparation of coal for coking], Publishing House "INZHEK", Kharkov, UA.

Об авторе

Кухарь Виктор Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры горных машин и инжиниринга ГБУЗ "Национальный горный университет" (ГБУЗ "НГУ"), Днепр, Украина, vkuhar@narod.ru.

About the author

Kukhar Viktor Juryevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor, Associate Professor of Department of Mining Machines and Engineering, The State Higher Educational Institutional "National Mining University" (SHEI "NMU"), Dnepr, Ukraine, vkuhar@narod.ru.

Анотація. У статті показано, що при зворотному інжинірингу корпусів насипних вугільних фільтрів для використання в циклі підготовки питної води слід особливу увагу приділяти вибору типу корозійностійкого матеріалу корпусів. Проведені дослідження умов експлуатації існуючих корпусів фільтрів, виявлено та обґрунтовано фактори, що викликають їх корозійне руйнування, оцінено вплив цих факторів на швидкість корозії. Встановлено, що основними видами корозії нержавіючих корпусів вугільних фільтрів є ножова, міжкристалічна та пітингова корозії. Обґрунтовано типи і марки нержавіючих сталей, що володіють найбільшою корозійною стійкістю як конструкційний матеріал для виготовлення корпусів насипних вугільних фільтрів.

Ключові слова: зворотний інжиніринг, підготовка питної води, насипний вугільний фільтр, активоване вугілля, корозійностійка сталь, корозія.

Abstract. The article shows that in order to use drinking water in the preparation cycle when reverse engineering of the bulk carbon filter shells is applied, special attention should be drawn to the type of corrosion-resistant material chosen for the shells. Conditions of the existing filter shell operation were studied, factors, which cause the shell corrosion, were identified and justified, and impact of these factors on the rate of corrosion was evaluated. It is stated that the main types of corrosion of stainless steel shells of the bulk carbon filters are the knife, grain-boundary and pitting corrosions. The stainless steel types and grades with the highest corrosion resistance were validated for using as a structural material for the bulk carbon filter shells.

Keywords: reverse engineering, preparation of drinking water, bulk carbon filter, activated carbon, stainless steel, corrosion.

Статья поступила в редакцию 16.12.2016

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.П. Надутым