

## **ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО ПОД ДАВЛЕНИЕМ**

**Кушнаренко В.М., Чирков Ю.А, Чирков Е.Ю.,  
Полищук В.Ю., Материнко К.Н.**

**Оренбургский государственный университет, г. Оренбург**

Оценку эффективности методов контроля технического состояния, периодичности и объемов диагностических обследований оборудования, работающего под давлением в условиях воздействия коррозионных сред, проводили путем опроса специалистов в соответствующей области. В данной работе под термином оборудование подразумеваются сосуды, аппараты и другие оболочковые конструкции, имеющие диаметр обечайки до 3000мм, толщину стенки до 60мм и эксплуатирующиеся при давлении до 10МПа в условиях воздействия коррозионных рабочих сред.

Существуют различные формы экспертного опроса (разные виды анкетирования, интервью), подходы к оцениванию (ранжирование, нормирование, различные виды упорядочивания и т. д.), методы обработки результатов опроса, требования к экспертам и формированию экспертных групп, вопросы тренировки экспертов, оценки их компетентности (при обработке оценок вводятся и учитываются коэффициенты компетентности экспертов, достоверности их мнений), методики организации экспертных опросов.

Выбор форм и методов проведения экспертных опросов, подходов к обработке результатов опроса и т. д. зависит от конкретной задачи и условий проведения экспертизы.

Возможность использования экспертных оценок, обоснование их объективности обычно базируется на том, что неизвестная характеристика исследуемого явления трактуется как случайная величина, отражением закона распределения которой является индивидуальная оценка специалиста-эксперта о достоверности и значимости того или иного события. При этом предполагается, что истинное значение исследуемой характеристики находится внутри диапазона оценок, получаемых от группы специалистов, и что обобщенное коллективное мнение является достоверным.

С целью оценки эффективности методов контроля при диагностировании оборудования и необходимых объемов применения методов контроля проведения диагностирования оборудования проведено анкетирование по методу Дельфи [1]. Данная методика позволяет с помощью опросов, интервью добиться максимального согласования при определении правильного решения. Базовым принципом метода является то, что некоторое количество независимых специалистов (часто не связанных друг с другом) лучше оценивает и предсказывает результат, чем структурированная группа. Метод позволяет избежать открытых столкновений между носителями противоположных позиций, так как исключает непосредственный контакт специалистов между собой и, следовательно, групповое влияние, возникающее

при совместной работе и состоящее в приспособлении к мнению большинства. Применение данного метода дает возможность производить опрос специалистов дистанционно, не собирая их в одном месте.

В данной работе опрошено 19 специалистов из разных областей деятельности – специалисты по неразрушающему контролю, диагностике и экспертизе промышленной безопасности оборудования, работающего под давлением в условиях воздействия коррозионных сред, Специалисты оценивали в баллах от 1 до 5 эффективность методов контроля при диагностировании и необходимые объемы применения методов контроля.

При анализе анкет осуществляли статистическую обработку полученных данных, определяли среднее значение, среднеквадратичное отклонение и коэффициент вариации. Результаты анализа анкетных данных приведены в таблицах 1-2.

*Оценка эффективности методов контроля при диагностировании оборудования.* Определяющим параметром при оценке эффективности методов контроля при диагностировании оборудования приняли среднее значение каждого метода контроля. По результатам анализа анкет по эффективности методов контроля при диагностировании оборудования (таблица 1) определили, что наибольшим средним значением оценки при диагностировании технического состояния оболочковых конструкций обладает визуально-измерительный контроль, далее следует ультразвуковая толщинометрия стенки оборудования, ультразвуковой контроль основного металла и сварных соединений, измерение твердости, гидравлические или пневматические испытания. Специалисты отмечали, что методы контроля на наличие трещиноподобных дефектов – магнитопорошковый, вихретоковый и проникающими веществами имеют примерно одинаковое значение, однако магнитопорошковому методу контроля отдавали большее предпочтение.

Радиационный контроль и метод акустической эмиссии специалисты посчитали менее информативными при техническом диагностировании. Эти методы неразрушающего контроля отметили как дополнительные при возникновении спорных вопросов, а метод акустической эмиссии отметили как повышающий безопасность гидравлических и пневматических испытаний оболочковых конструкций.

Вырезки из оборудования для лабораторных испытаний специалисты выделили как нецелесообразные, так как наиболее рационально определять изменение механических характеристик по изменению твердости металла.

Контролю напряженно-деформированного состояния специалисты присвоили низкую оценку эффективности. При диагностировании определяется техническое состояние элементов оборудования, включая вид, местоположение и размеры дефектов и повреждений, что позволяет рассчитать напряженно-деформированное состояние металла элементов оборудования.

Водородные зонды и зонды сопротивления посчитали мало информативными в плане оценки технического состояния оборудования. Скорость коррозии, как отмечали специалисты при обсуждении, можно определять по коррозионному состоянию внутренней поверхности

оболочковых конструкций при визуально-измерительном контроле. При этом коррозия зачастую является язвенной и имеет локальный характер, чаще всего располагаясь на нижней образующей сосудов и аппаратов, зоне раздела фаз и застойных зонах.

Таблица 1 – Эффективность методов контроля при диагностировании оборудования

№ п/п	Метод контроля	Среднее значение	Среднеквадратичное отклонение	Коэффициент вариации
1	Визуально-измерительный контроль (ВИК)	3,95	0,23	5,81
2	Измерение твердости (ИТ)	3,58	0,51	14,17
3	Ультразвуковая толщинометрия (УЗТ)	3,89	0,32	8,10
4	Капиллярный контроль (КК)	2,84	0,69	24,22
5	Магнитно-порошковый контроль (МПК)	2,84	0,69	24,22
6	Вихретоковый контроль (ВК)	2,79	0,71	25,57
7	Ультразвуковой контроль (УК) основного металла	3,84	0,37	9,75
8	Ультразвуковой контроль (УК) сварных соединений	3,74	0,45	12,11
9	Радиационный контроль (РК)	2,63	0,50	18,83
10	Гидравлические или пневматические испытания	3,68	0,58	15,81
11	Акустико-эмиссионный контроль (АЭК)	2,53	0,51	20,31
12	Контроль напряженно-деформированного состояния	-	-	-
13	Водородные зонды, зонды сопротивления, образцы-свидетели	-	-	-
14	Вырезки из оборудования для лабораторных испытаний	-	-	-

*Оценка необходимых объемов контроля при диагностировании оборудования.* Результаты анализа анкет по определению объема применения методов контроля при диагностировании оборудования приведены в таблице 2. Определяющим фактором оценки объемов контроля являлось среднее значение оценки объема контроля специалистами. Для повышения информативности анкетирования некоторые специалисты после анкетирования дополнительно были опрошены с целью обоснования своих ответов - почему именно такие ответы были даны и чем руководствовались при ответе на эти вопросы. Так же фиксировалось их личное мнение по отношению к неразрушающим методам

контроля. По результатам анализа анкет по объемам контроля при экспертном обследовании специалисты отмечали, что практически на стопроцентном уровне необходимо осуществлять визуально-измерительный контроль, толщинометрию и ультразвуковой контроль сварных соединений.

Таблица 2 – Объемы применения методов контроля при диагностировании оборудования

№п/п	Метод контроля	Среднее значение	Среднеквадратичное отклонение	Коэффициент вариации
1	Визуально-измерительный контроль (ВИК)	4,63	0,50	10,70
2	Измерение твердости (ИТ)	3,53	0,51	14,55
3	Ультразвуковая толщинометрия (УЗТ)	4,53	0,51	11,33
4	Капиллярный контроль (КК)	3,89	1,10	28,25
5	Магнитно-порошковый контроль (МПК)	3,63	0,50	13,65
6	Вихретоковый контроль (ВК)	2,84	0,69	24,22
7	Ультразвуковой контроль (УК) основного металла	3,63	1,07	29,33
8	Ультразвуковой контроль (УК) сварных соединений	4,42	0,51	11,47
9	Радиационный контроль (РК)	1,95	0,71	36,20
10	Акустико-эмиссионный контроль (АЭК)	2,05	0,71	34,35
11	Водородные зонды, зонды сопротивления, образцы-свидетели	-	-	-
12	Вырезки из оборудования для лабораторных испытаний	-	-	-

Специалисты сошлись во мнении, что ультразвуковой контроль сплошности основного металла оборудования необходимо осуществлять на уровне до 40-60 % от общей площади поверхности. Специалисты отмечали, что зоны контроля определяются при составлении карт контроля в ходе предварительного анализа документации на оборудование перед диагностированием. Также было отмечено, что на стопроцентном уровне необходимо проводить ультразвуковой контроль сплошности основного металла в области дефектов, обнаруженных другими методами.

Измерение твердости основного металла, сварных соединений и зоны термического влияния специалисты определили на уровне до 40-60 % от общего количества сварных соединений оболочковой конструкции. Как правило, измерению твердости должны подвергаться каждый силовой элемент

оболочковых конструкций, сварные швы в нагруженных зонах. Измерение твердости должно проводиться при диагностировании оборудования для косвенной оценки механических свойств металла и проверки их соответствия требованиям нормативных документов.

При анализе анкет выяснено, что контроль на наличие трещин – капиллярный, магнитопорошковый и вихретоковый достаточно осуществлять на уровне 40-80 % от общего количества контролепригодных участков оборудования. Методы контроля необходимо выбирать в каждом конкретном случае с учетом конструктивных особенностей и условий контроля оболочковых конструкций.

Радиационный контроль металла специалисты посчитали нецелесообразным, однако согласно результатам анкетирования необходимо осуществлять радиационный контроль для идентификации дефектов, выявленных при ультразвуковом контроле сварных соединений оборудования.

Специалисты отметили, что при пневматических испытаниях оболочковых конструкций целесообразно применять акустико-эмиссионный контроль для повышения безопасности проведения испытаний. Так же было отмечено, что метод акустической эмиссии позволяет выявлять скрытые дефекты, определять потенциальную опасность выявленных дефектов и склонность к их развитию, однако, в связи со сложностями интерпретации полученных данных, достоверность данного метода не высокая.

Водородные зонды, зонды сопротивления и вырезки из оборудования, согласно мнению специалистов, применять нецелесообразно как неэффективные.

## ВЫВОДЫ

1. Наиболее результативными методами технического диагностирования оборудования, работающего под давлением в условиях воздействия коррозионных сред, является визуально-измерительный контроль, далее идет измерение толщины стенки элементов оборудования, ультразвуковой контроль основного металла и сварных соединений, измерение твердости, гидравлические или пневматические испытания. Методы контроля оборудования на наличие трещиноподобных дефектов – магнитопорошковый, вихретоковый и капиллярный контроль имеют примерно одинаковое значение, однако магнитопорошковому методу контроля следует отдавать большее предпочтение.

2. Такие методы контроля как радиационный контроль и метод акустической эмиссии менее информативны при техническом диагностировании оборудования. Данные методы неразрушающего контроля необходимо применять как дополнительные при возникновении спорных вопросов, а метод акустической эмиссии как повышающий безопасность гидравлических и пневматических испытаний оборудования. Контроль напряженно-деформированного состояния при диагностировании не несет значимого количества информации и экономически не оправдан. Оценку напряженно-деформированного состояния элементов оборудования возможно

выполнить расчетными методами с учетом результатов диагностирования. Водородные зонды и зонды сопротивления дают мало информации о техническом состоянии оборудования. Скорость коррозии точнее определить по коррозионному состоянию внутренней поверхности оболочковых конструкций при визуально-измерительном контроле.

3. Визуально-измерительный контроль, толщинометрию и ультразвуковой контроль сварных соединений необходимо осуществлять на стопроцентном уровне. Контроль на наличие трещин – капиллярный, магнитопорошковый и вихретоковый целесообразно выполнять на уровне 40-80 % от площади внутренней поверхности оборудования. Как правило, швы вварки штуцеров и горловин люков должны подвергаться капиллярному контролю в объеме 100 %, сопряжения кольцевых и продольных швов корпуса – 100 %, кольцевые швы приварки днищ – 30 %, швы приварки опорных конструкций – 100 % в доступных зонах, потенциально опасные участки и дефектные участки, выявленные при ВИК и УК, – 100 %. Измерение твердости основного металла, сварных соединений и зоны термического влияния специалисты определили на уровне до 40-60 % от общего количества сварных соединений оборудования. Ультразвуковой контроль сплошности металла оборудования необходимо осуществлять на уровне до 40-60 % от общей площади внутренней поверхности и 100 % в области дефектов, обнаруженных другими методами. Радиационный контроль следует применять для подтверждения и уточнения результатов ультразвукового контроля, а метод акустической эмиссии – при пневматических испытаниях оборудования для повышения безопасности проведения испытаний.

#### *Список литературы*

*1. Агафонов, В.А. Анализ стратегий и разработка комплексных программ. / В.А Агафонов. – М.: Наука, 1990 – 245 с.*