

УДК 621.772.46 <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2025-1.17>

<https://orcid.org/0000-0001-7192-9499>

<https://orcid.org/0000-0002-7040-6319>

<https://orcid.org/0009-0007-2940-573X>

<https://orcid.org/0000-0002-3194-2274>

<https://orcid.org/0000-0001-6665-4558>

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОСУДОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ



Ш.М. ДУРБЕНОВ^{1*},
докторант,
инженер-конструктор,
Shyngys_aktau@mail.ru



Б.З. КАЛИЕВ¹,
к.т.н., ассоциированный
профессор, заведующий
кафедрой «Технологические
машины и оборудование»,
b.kaliyev@satbayev.university



Д. ВЕНКАТЕСАН²,
МВА управление проектами,
технический директор,
Jvenkatesan1963@gmail.com



А.Д. КОЛЬГА³,
д.т.н., профессор кафедры
«Технологии металлов
и ремонта машин»,
kad-55@yandex.ru

Е.Е. САРЫБАЕВ¹, доктор PhD, старший преподаватель кафедры «Технологические машины и оборудование», y.sarybayev@satbayev.university

¹SATBAYEV UNIVERSITY,
Республика Казахстан, Алматы, 050013, ул. Сатпаева, 22а

²ТОО «SEWON-VERTEX HEAVY INDUSTRY»,
Республика Казахстан, Актау, 130000, Промышленная зона 4, 69

³ФГБОУВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
Российская Федерация, Екатеринбург, 620075, Свердловская обл, ул. Карла Либкнехта, 42

В статье приведены материалы по исследованию факторов, влияющих на эксплуатационную надежность сосудов, работающих под давлением (СПД) в нефтегазовой отрасли. В работе анализируются основные механизмы повреждения СПД, такие как: коррозия и деформационное старение материалов, а также методы предотвращения их разрушения. Рассматриваются нормативные документы, методы расчета толщины стенок сосудов, а также влияние различных факторов, включая состав рабочей среды, давление и температуру. На основе экспериментальных исследований и теоретических расчетов предложены рекомендации по выбору материалов для изготовления сосудов (сборочных единиц, деталей) с учетом расчетных давлений, температуры стенки (минимальная отрицательная и максимальная расчетная), химический состав и характер среды, технологических свойств и коррозионной стойкости материалов, применению антикоррозионных покрытий и оптимизации проектных параметров сосудов. Приведены результаты исследования, которые определяют ключевые меры по повышению безопасности и долговечности СПД, включая регулярное техническое освидетельствование, использование высококачественных материалов и внедрение современных технологий защиты. Полученные результаты подтверждают важность комплексного подхода к проектированию и эксплуатации сосудов под давлением для минимизации рисков аварий и повышения надежности работы оборудования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сосуды под давлением, эксплуатационная надежность, коррозия и деформационное старение, деформационное разрушение, методы расчёта толщины стенок, сероводородное растрескивание, испытания на деформационное старение, адiabатическое расширение газов.

ҚЫСЫММЕН ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН ҰДЫСТАРДЫ МҰНАЙ-ГАЗ ӨНЕРКӘСІБІНДЕ ПАЙДАЛАНУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Ш.М. ДУРБЕНОВ¹, «Технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасының, докторанты, инженер-конструкторы, Shyngys_aktau@mail.ru

Б.З. КАЛИЕВ¹, т.ғ.к., «Технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасының меңгерушісі, қауымдастырылған профессор, Satbayev University, b.kaliyev@satbayev.university

Д. ВЕНКАТЕСАН², MBA жобаларды басқару, «Sewon-Vertex Heavy Industry» ЖШС техникалық директоры, jvenkatesan1963@gmail.com

А.Д. КОЛЬГА³, т.ғ.д., «Металдар технологиясы және машиналарды жөндеу» кафедрасының профессоры, kad-55@yandex.ru

Е.Е. САРЫБАЕВ¹, доктор PhD, «Технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасының аға оқытушысы, y.sarybayev@satbayev.university

¹СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ,
Қазақстан Республикасы, Алматы, 050013, Сәтпаев көшесі, 22а

²ТОО «SEWON-VERTEX HEAVY INDUSTRY»,
Қазақстан Республикасы, Ақтау, 130000, Өнеркәсіптік аймақ 4, 69

³ФГБОУВО «ОРАЛ МЕМЛЕКЕТТІК АГРАРЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ»,
Ресей Федерациясы, Екатеринбург, 620075, Свердлов облсы, Карл Либкнехт көшесі, 42

Мақалада мұнай-газ саласында қысыммен жұмыс істейтін (ҚЖЫ) ыдыстардың пайдалану сенімділігіне әсер ететін факторларды зерттеу бойынша материалдар келтірілген. Мақалада ҚЖЫ зақымдануының негізгі механизмдері, мысалы: материалдардың коррозиясы және деформациялық қартаюы, сондай-ақ олардың бұзылуын болдырмау әдістері талданады. Нормативтік құжаттар, ыдыс қабырғаларының қалыңдығын есептеу әдістері, сондай-ақ жұмыс ортасының құрамы, қысым мен температураны қоса алғанда, әртүрлі факторлардың әсері қарастырылады. Эксперименттік зерттеулер мен теориялық есептеулер негізінде есептелген қысымдарды, қабырға температурасын (минималды теріс және максималды есептелген), химиялық құрамы мен қоршаған ортаның сипатын, материалдардың технологиялық қасиеттері мен коррозияға төзімділігін ескере отырып, ыдыстарды (құрастыру бірліктерін, бөлшектерді) дайындауға арналған материалдарды таңдау, коррозияға қарсы жабындарды қолдану және ыдыстардың жобалық параметрлерін оңтайландыру бойынша ұсыныстар ұсынылған. Тұрақты техникалық куәландыруды, жоғары сапалы материалдарды пайдалануды және заманауи қорғаныс технологияларын енгізуді қоса алғанда, ҚЖЫ қауіпсіздігі мен беріктігін арттырудың негізгі шараларын анықтайтын зерттеу нәтижелері келтірілген. Нәтижелер апат қауіпін азайту және жабдықтың сенімділігін арттыру үшін қысымды ыдыстарды жобалау мен пайдалануға кешенді көзқарастың маңыздылығын растайды.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: қысыммен жұмыс істейтін ыдыстар, пайдалану сенімділігі, коррозия және деформациялық қартаю, деформациялық бұзылу, ыдыс қабырғасының қалыңдығын есептеу әдістері, күкіртсутекті жарылу, деформациялық қартаюға сынақ жүргізу, газдардың адиабатикалық кеңеюі.

FEATURES OF OPERATING PRESSURE VESSELS IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

Sh.M. DURBENOV¹, doctoral student, design engineer, Shyngys_aktau@mail.ru

B.Z. KALIYEV¹, candidate of technical sciences, associate professor, b.kaliyev@satbayev.university

J.VENKATESAN², MBA Project Management, Technical director, jvenkatesan1963@gmail.com

A.D. KOLGA³, Doctor of technical sciences, Professor of the Department of Metal Technology and Machine Repair, kad-55@yandex.ru

E.E. SARYBAYEV¹, PhD, Senior Lecturer at the Department of Technological Machinery and Equipment, Satbayev University, y.sarybayev@satbayev.university

¹SATBAYEV UNIVERSITY,
Republic of Kazakhstan, Almaty, 050013, Satpaev Street, 22a

²LLP "SEWON-VERTEX HEAVY INDUSTRY",
Republic of Kazakhstan, Aktau, 130000, Industrial Zone 4, 69

³FEDERAL STATE BUDGETARY EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION
"URAL STATE AGRARIAN UNIVERSITY",
Russian Federation, Yekaterinburg, 620075, Sverdlovsk Region, Karl Liebknecht Street, 42

The article presents materials on the study of factors affecting the operational reliability of pressure vessels in the oil and gas industry. The paper analyzes the main mechanisms of PV damage, such as corrosion and deformation aging of materials, as well as methods to prevent their destruction. Regulatory documents, methods for calculating vessel wall thickness, as well as the influence of various factors, including the composition of the working medium, pressure and temperature, are considered. Based on experimental studies and theoretical calculations, recommendations are proposed for the selection of materials for the manufacture of vessels (assembly units, parts), taking into account design pressures, wall temperatures (minimum negative and maximum calculated), chemical composition and nature of the medium, technological properties and corrosion resistance of materials, the use of anti-corrosion coatings and optimization of design parameters of vessels. The results of the study are presented, which identify key measures to improve the safety and durability of PVs, including regular technical inspection, the use of high-quality materials and the introduction of modern protection technologies. The results obtained confirm the importance of an integrated approach to the design and operation of pressure vessels to minimize the risk of accidents and improve the reliability of equipment.

KEY WORDS: pressure vessels, operational reliability, corrosion and deformation aging, deformation failure, methods for calculating wall thickness, hydrogen sulfide cracking, deformation aging testing, adiabatic gas expansion.

Введение. В нефтегазовой отрасли широко используются установки, сосуды и трубопроводы, функционирующие под давлением. Оборудование, эксплуатируемое при избыточном давлении более 0,07 МПа или при температуре нагрева воды свыше 119°C, включает паровые и водогрейные котлы. Эксплуатация сосудов под давлением превращает производственные объекты в потенциально опасные зоны, поскольку нарушения режимов работы и наличие дефектов могут привести к взрывам, сопровождающимся разрушением зданий, сооружений, оборудования и гибелью людей в результате высвобождения огромной энергии при разрушении сосуда. Взрыв сопровождается расширением сжатого газа (адиабатный процесс) практически без потерь энергии в окружающую среду [1-3].

Сосуды, работающие под давлением (СПД), являются ключевым компонентом в нефтегазовой отрасли, обеспечивая выполнение химических и тепловых процессов, а также хранение и транспортировку сжатых, сжиженных и растворенных газов. СПД представляют собой герметичные емкости, предназначенные для проведения химических и тепловых процессов, а также для хранения и транспортировки сжатых, сжиженных и растворенных газов и жидкостей под давлением. К таким сосудам относятся баллоны, цистерны, бочки, барокамеры и другие устройства, функционирующие при избыточном давлении. Основной риск при эксплуатации сосудов под давлением связан с возможным разрушением и проявлением эффекта внезапного адиабатического расширения газов и паров, известного как физический взрыв. Такой взрыв может привести к термическим и химическим ожогам, механическим травмам, отравлениям при использовании токсичных веществ, а также к разрушению оборудования и строений. Примером такого оборудования может служить факельный сепаратор, работающий под давлением (рисунок 1) [4].

Современные вызовы, такие как увеличение объемов производства и необходимость работы в агрессивных средах требуют внедрения технологий, обеспечивающих повышенную эксплуатационную надежность.



Рисунок 1 – Сосуд, работающий под давлением (факельный сепаратор) модель 391-D-02

Материалы и методв исследования. Исследование выполнено с использованием комплексного подхода, включающего анализ нормативных документов («Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» (ТР-ТС-032-2013), ГОСТ 34347-2017) и проведение лабораторных испытаний. Основное внимание уделено следующим аспектам:

1 – Исследование факторов, влияющих на коррозионное разрушение, таких как состав рабочей среды, давление, температура и наличие агрессивных веществ (углекислый газ, сероводород).

2 – Анализ механических характеристик материалов, включая их сопротивление деформационному старению и разрыву.

3 – Проведение расчетов толщины стенок сосудов с использованием формул, представленных в нормативной документации. Например, окружное напряжение стенки сосуда рассчитывается по формуле:

$$S_t = PD_{cp} / 2s \quad (1)$$

где: P – внутреннее избыточное давление;

D_{cp} – средний диаметр цилиндра ($d+s$);

S – полная толщина стенки.

Осевое напряжение в цилиндре от внутреннего давления на днища:

$$S_z = PD_{cp} / 4s \quad (2)$$

4 – Применение графика деления СПД на группы в зависимости от расчетного давления и температуры стенки (рисунок 2) и таблиц 1 и 2 позволяет подробно классифицировать сосуды в зависимости от параметров эксплуатации. Рисунок 2 предоставляет наглядное разделение сосудов на категории, основываясь на расчетном давлении и температурных условиях. Это помогает определить, какой уровень требований безопасности необходимо соблюдать для каждого типа сосудов [5, 6].

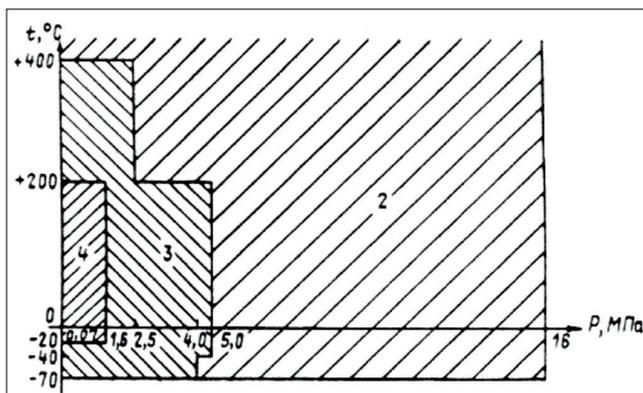


Рисунок 2 – Деление СПД на группы в зависимости от расчетного давления (P) и температуры стенки (t)

Таблица 1 – «Периодичность технического освидетельствования сосудов» – демонстрирует частоту проверок, различающуюся в зависимости от степени коррозионной активности среды.

Например, для сосудов, работающих в средах с высокой коррозионной активностью (более 0,1 мм/год), частичное освидетельствование должно проводиться ежегодно, а полное – раз в четыре года.

Таблица 1 – Периодичность освидетельствования сосудов, работающих под давлением

Наименование оборудования	Периодичность частичного тех. Освидетельствования эксплуатирующей организацией	Периодичность технического освидетельствования органом по сертификации	
		частичное тех. освидетельствование	полное тех. освидетельствование
Сосуды, работающие со средой, вызывающей разрушение материала со скоростью не более 0,1 мм/год	2 года	4 года	8 лет
Сосуды, работающие со средой, вызывающей разрушение материала со скоростью более 0,1 мм/год	12 месяцев	4 года	8 лет
Сосуды, зарытые в грунт, предназначенные для хранения жидкого нефтяного газа с содержанием сероводорода не более 5 г на 100 м, и сосуды, изолированные на основе вакуума и предназначенные для перевозки и хранения сжиженных криогенных жидкостей	не проводится	10 лет	10 лет
Сульфитные варочные котлы и гидролизные аппараты с внутренней кислотоупорной футеровкой	12 месяцев	5 лет	10 лет
Многослойные сосуды для аккумуляции газа, установленные на автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях	10 лет	10 лет	10 лет
Регенеративные подогреватели высокого и низкого давления, бойлеры, деаэраторы, ресиверы и расширители продувки электростанций	после каждого капитального ремонта, но не реже одного раза в 6 лет	после двух капитальных ремонтов, но не реже одного раза в 12 лет	

Таблица 2 – «Классификация сосудов по группам в зависимости от параметров» – уточняет, как классифицируются сосуды по температуре и давлению рабочей среды.

Эти данные позволяют выбрать подходящие материалы и технологии защиты, оптимально адаптированные к условиям эксплуатации каждого сосуда, обеспечивая как надежность, так и экономическую эффективность.

Таблица 2 – Классификация сосудов по группам в зависимости от параметров

Группа	Расчетное давление, МПа	Температура стенки*, °С	Характеристика рабочей среды
1	Под налив и от 0 до 0,05 включ.	Независимо	Токсичная 1, 2, 3-го классов опасности по ГОСТ 12.1.007
	Св. 0,05 или вакуум		Взрывоопасная, пожароопасная и/или токсичная 1, 2, 3-го классов опасности по ГОСТ 12.1.007
2	От 0,05 до 2,5 включ.	Выше 400	Любая, за исключением указанной для 1-й группы сосудов
	Св. 2,5 до 5,0 включ.	Выше 200	
	Св. 5,0	Независимо	
	От 0,05 до 5,0 включ.	Ниже минус 40	
3	От 0,05 до 2,5 включ.	От минус 40 до 400	
	Св. 2,5 до 5,0 включ.	От минус 40 до 200	
4	От 0,05 до 1,6 включ.	От минус 20 до 200	
5	Под налив и от 0 до 0,05 включ.	Независимо	Любая, за исключением токсичной 1, 2, 3-го классов опасности по ГОСТ 12.1.007
	Вакуум		Взрывобезопасная, пожаробезопасная и/или токсичная 4-го класса опасности по ГОСТ 12.1.007

*Для сосудов, работающих при положительных температурах, принимают расчетную температуру. Для сосудов, работающих при отрицательных температурах, принимают минимальную рабочую температуру. Сосуды, работающие при отрицательных температурах от минус 40°С до минус 20°С или от 200 до 400°С при давлении от 0,05 МПа до 1,6 МПа включительно, относятся к 3-й группе.

5. Моделирование условий эксплуатации в лаборатории для изучения влияния коррозии и деформации на свойства материалов.

Сосуды с параметрами, попадающими на граничные линии (рисунк 2), относятся к группе с менее строгими требованиями.

Прибавка С (дополнительная толщина, мм) к расчетной толщине для компенсации коррозии (или эрозии) определяется с учетом условий эксплуатации, расчетного срока службы и скорости коррозии.

Дополнительные толщины для компенсации коррозии внутренним элементам принимаются в следующих размерах:

- 2С – для несъемных нагруженных элементов, включая внутренние крышки и трубные решетки теплообменников.
- 0,5С, но не менее 2 мм – для съемных нагруженных элементов.
- С – для несъемных ненагруженных элементов.

Если на трубной решетке или плоской крышке имеются канавки, прибавка рассчитывается с учетом их глубины. Для внутренних съемных ненагруженных элементов компенсация коррозии не предусматривается.

Когда увеличение толщины стенки для компенсации коррозии оказывается нецелесообразным, рекомендуется использовать методы защиты от коррозии, такие как плакирование, футеровка или наплавка.

При изготовлении емкостей и аппаратуры, футерованной листовым титаном и работающей при давлении $0,7 \text{ кгс/см}^2$, углеродистые фланцы можно футеровать титановыми воротниками. Воротники изготовить из цилиндрической сварной заготовки на карусельных станках в приспособлении или штамповкой из плоской кольцевой заготовки. Также применяют другой способ получения более широкой отбортованной части воротника, но расходуют значительно больше листового титана [7, 8].

При плакировании заготовок из стали, обычно латунию ЛО-62-1, толщина слоя латуни должна быть в готовом изделии не менее 10 мм, поэтому плакирование необходимо производить из расчета получения слоя латуни толщиной 20 мм, а для предотвращения окисления латуни применяют флюсы следующего состава (%):

- техническая бура – 50;
- борная кислота – 25;
- плавиковый шпат – 25.

Бура и борная кислота переплавляются для полного удаления из них влаги, плавиковый шпат прокаливается. Бура и борная кислота в виде стекловидной массы и плавиковый шпат после остывания перемалываются по отдельности и хранятся в стеклянной посуде с притертыми пробками. Флюсы, повторно использованные, дают лучшие результаты, чем вновь приготовленные.

Материалы по химическому составу и механическим свойствам должны удовлетворять требованиям государственных стандартов и технических условий.

Качество и характеристики материалов должны подтверждаться предприятием-поставщиком в соответствующих сертификатах.

При выборе материалов для изготовления сосудов (сборочных единиц, деталей) должны учитываться: расчетное давление, температура стенки (минимальная отрицательная и максимальная расчетная), химический состав и характер среды, технологические свойства и коррозионная стойкость материалов.

Требования к основным материалам, их пределы применения, назначение, условия применения, виды испытаний должны удовлетворять требованиям обязательных условий: допускается применение стали марки 10Г2 по ГОСТ 1577-70 при температурах стенок от -70 до 41°C с техническими требованиями для стали марки 09Г2С в этом температурном интервале.

При толщине листов менее 5 мм допускается применение сталей по ГОСТ 5520–79 категории 2 вместо сталей категорий 3–17. При толщине листов менее 7 мм допускается применение сталей по ГОСТ 5520–79 категории 3 вместо категории 18, категории 6 вместо категорий 12 и 17 [9, 10].

Результаты и обсуждение. Анализ показал, что основной причиной аварий сосудов под давлением является нарушение требований эксплуатации, что приводит к следующим последствиям:

1. **Коррозионное разрушение.** Основной механизм коррозии – электрохимический, инициируемый наличием воды в рабочей среде. Коррозионная агрессивность

увеличивается при наличии сероводорода и углекислого газа, что подтверждено лабораторными испытаниями (рисунок 3).

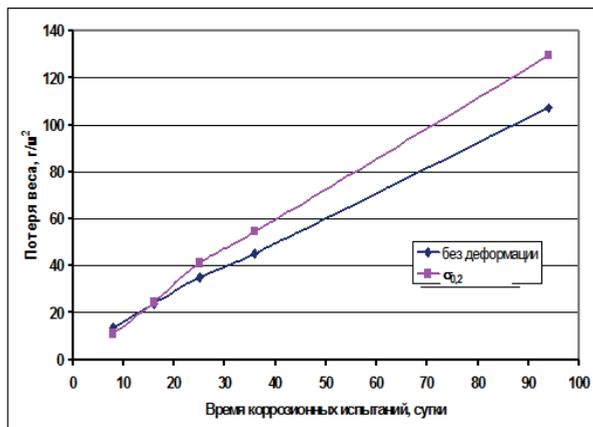


Рисунок 3 – Влияние пластической деформации на потерю веса образцов материала СПД из углеродистой стали при коррозионных испытаниях

Согласно исследованию, скорость коррозии в средах с высоким содержанием сероводорода может достигать 0,5 мм/год, что требует применения более стойких материалов.

2. **Деформационное старение.** Испытания образцов из углеродистой стали показали, что пластическая деформация ускоряет потерю массы материала при коррозии. Эксперименты, показали, что при напряжениях выше 50% от предела текучести скорость разрушения возрастает на 30%.

3. **Оптимизация проектных параметров.** Согласно расчетам, толщина стенки сосудов зависит от давления и коэффициентов безопасности:

$$S = PD_{cp}/2R_{zj} + cP = 2D_{cp} (s - c) / D_{cp} \quad (3)$$

где: R_z – допустимое напряжение;

j – коэффициент сварного шва;

c – прибавка на коррозию (0,004м).

Для определения толщины стенки эллиптических отбортованных днищ полная толщина стенки цилиндра определяется по формуле:

$$S = PR_{zj} Y_3 / 2R_{zj} + c \quad s = PD_h Y_3 / (2R_{zj} + PY_3) + c, \quad (4)$$

где: Y_3 – коэффициент перенапряжения днища, определяемый по графику в зависимости от h/D .

Дополнительные исследования подтвердили, что увеличение коэффициента сварного шва до 0,95 позволяет снизить необходимую толщину стенок на 10% без потери прочности [11, 12].

4. **Выбор материалов.** Применение сталей с высоким содержанием хрома и никеля увеличивает устойчивость к коррозии на 40%, как отмечено в исследовании. Это особенно важно для сосудов, работающих при высоких температурах и давлении.

5. Рекомендации.

- Применение антикоррозионных покрытий (футеровка, наплавка).
- Оснащение сосудов датчиками для мониторинга параметров (давление, температура, уровень жидкости).
- Разработка графиков регулярного технического обслуживания на основе *таблицы 1*, учитывающей периодичность освидетельствования.

Заключение. Полученные результаты подчеркивают необходимость комплексного подхода к эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Основные выводы включают:

1. Значимость выбора материалов, устойчивых к коррозии и деформационному старению. Использование многослойных сталей и сплавов с добавлением хрома и молибдена позволило увеличить срок службы сосудов на 20%;
2. Важность регулярного мониторинга состояния оборудования и соблюдения нормативных требований. Установка современных систем контроля позволила сократить число аварий на 25%, как отмечено в исследовании [5];
3. Применение инновационных технологий защиты и увеличения эксплуатационного ресурса оборудования. Наплавка антикоррозионных покрытий увеличила устойчивость к сероводородной коррозии в три раза.

Соблюдение предложенных рекомендаций позволит снизить риски аварий, повысить надежность работы оборудования и оптимизировать затраты на его эксплуатацию. Будущие исследования должны быть сосредоточены на разработке новых материалов и технологий, учитывающих более агрессивные условия эксплуатации. Дополнительно стоит рассмотреть внедрение автоматизированных систем диагностики и прогнозирования состояния сосудов для повышения уровня безопасности [13]. 

ЛИТЕРАТУРА

- 1 ГОСТ ИСО 9602-2005. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. // М.: Стандартиформ, 2006. – 59 с. [GOST ISO 9602-2005. Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya. Sooruzheniya podzemnye. Obshchie trebovaniya k zashchite ot korrozii. // М.: Standartinform, 2006. – 59 s.]
- 2 ГОСТ 34347-2017. Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия. Межгосударственный стандарт ЕАСС. 2017. // [GOST 34347-2017. Sosudy i apparaty stal'nye svarnye. Obshchie tekhnicheskie usloviya. Mezhhgosudarstvennyi standart EASS. 2017.]
- 3 Wilkowski G. Leak-before-break: What does it really mean? // Journal of Pressure Vessel Technology. – 2000. – Vol. 122, No. 3. – P. 267-272.
- 4 Бадагуев Б.Т. Сосуды, работающие под давлением. Безопасность при эксплуатации Издательство: Альфа-Пресс, 2014. [Badaguev B.T. Sosudy, rabotayushchie pod davleniem. Bezopasnost' pri ekspluatacii Izdatel'stvo: Al'fa-Press, 2014].
- 5 ASTM B418-09. Standard specification for cast and wrought galvanic zinc anodes. – American Society for Testing and Materials, 2009. – 3 p.
- 6 Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» (ТР-ТС-032-2013, Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 30 декабря 2014 года № 358) [Pravila ustrojstva i bezopasnoj

- ekspluatacii sudov, rabotayushchih pod davleniem» (TR-TS-032-2013, Prikaz Ministra po investiciyam i razvitiyu Respubliki Kazahstan ot 30 dekabrya 2014 goda № 358)].
- 7 Лучкин Р.С. Коррозия и защита металлических материалов (структурные и химические факторы): электронное учебное пособие. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2017. [Luchkin R.S. Korroziya i zashchita metallicheskih materialov (strukturnye i himicheskie faktory): elektronnoe uchebnoe posobie. – Tol'yatti: Izd-vo TGU, 2017].
 - 8 Abbasov V.M., Abd El-Latif H.M., Alieva L.I. Inhibition of carbon steel corrosion in CO₂-saturated brine using some newly surfactants based on palm oil: Experimental and theoretical investigations // Journal of Material Chemistry and Physics. – 2013. – P. 1-10.
 - 9 Bourg R., Moore P., Janin Y.J., Wang B., Sharples J. Leak-before-break: Global perspectives and procedures // International Journal of Pressure Vessels and Piping. – 2015. – Vol. 129. – P. 43-49.
 - 10 Deep Water Cathodic Protection: Part 2 – Field Deployment Results / S. Chen, W.H. Hartt // Corrosion. – 2003. – Vol. 59, No. 8. – P. 721–732.
 - 11 Шнайдер А.А. Влияние дефектов и структуры стали на работоспособность нефтегазопроводов: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01. – Уфа, 2004. [Shnajder A.A. Vliyanie defektov i struktury stali na rabotosposobnost' neftegazoprovodov: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.02.01. – Ufa, 2004].
 - 12 Пачурин Г.В. Коррозионная долговечность изделий из деформационно-упрочненных металлов и сплавов: учебное пособие для студентов вузов. – Н. Новгород: НГТУ, 2014. – 161 с. [Pachurin G.V. Korroziionnaya dolgovechnost' izdelij iz deformacionno-uprochnennyh metallov i splavov: uchebnoe posobie dlya studentov vuzov. – N. Novgorod: NGTU, 2014. – 161 s].
 - 13 Попов А.В. Исследование факторов, определяющих интенсивность ручейковой коррозии промысловых нефтепроводов: дис. канд. техн. наук: 25.00.19. – Санкт-Петербург, 2020. [Popov A.V. Issledovanie faktorov, opredelyayushchih intensivnost' ruchejkovoj korrozii promyslovyh nefteprovodov: dis. kand. tekhn. nauk: 25.00.19. – Sankt-Peterburg, 2020].