

## АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОСУДОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Дурбенов Ш.М., магистрант

Научный руководитель: Табылов А.У., к.т.н., доцент

Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга  
им. Ш. Есенова, Казахстан, г. Актау

**Аннотация.** В статье исследованы условия эксплуатации сосудов работающих под давлением, используемых в нефтегазовой отрасли. Специфика данного оборудования, работающего под избыточным давлением, определяет особые условия его эксплуатации с учетом того, что нарушения режимов эксплуатации могут создать взрывоопасную ситуацию на производстве с высвобождением при их разрушениях огромной энергии, вызывающей гибель людей, разрушения оборудования, зданий и сооружений. Факторы учитывающие процессы общей коррозии, деформационное старение, а также ухудшение механических характеристик и сопротивления металла разрушению материала сосудов работающих под давлением при эксплуатации предусматривают соблюдение и выполнение возросших требований промышленной безопасности и накладывают ряд ограничений на их проектирование, устройство, изготовление, реконструкцию, наладку, монтаж, ремонт, техническое диагностирование и эксплуатацию в большинстве стран мира.

**Ключевые слова:** нефтегазовая промышленность, аппараты, сосуды, работающие под давлением, эксплуатация сосудов, работающих под давлением, авария сосудов, Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, техническое обслуживание, ремонт, гидравлические испытания, коррозионное разрушение.

На предприятиях нефтегазовой промышленности широко применяются аппараты, сосуды и коммуникации, работающие под давлением (рис 1). оборудование, работающее под избыточным давлением свыше 0,07 МПа или при температуре нагрева воды свыше 119 °С, паровые и водогрейные котлы. Эксплуатация сосудов работающих под давлением делают производственный объект опасным., т.к. вследствие нарушения режима эксплуатации и дефектов могут происходить взрывы с разрушением зданий, сооружений, оборудования и гибели людей из-за высвобождения при разрушении сосуда огромной энергии. При взрыве происходит расширение, находящегося в нем сжатого газа (адиабатный процесс), практически без потерь энергии в окружающую среду. Сосуды, работающие под давлением (СПД) и представляющие собою герметически закрытые емкости, предназначены для ведения в них химических и тепловых процессов, а также для хранения и перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов и жидкостей под давлением. К ним относят баллоны, цистерны, бочки, барокамеры, работающие под избыточным давлением, и т.д. Основная опасность при эксплуатации сосудов, работающих под давлением, заключается в возможном их разрушении и проявлении действия силы внезапного адиабатического расширения газов и паров, так называемого физического взрыва. При взрыве возможны поражения работников в виде тепловых и химических ожогов, механических травм, отравлений в случае применения токсических веществ, а также разрушения оборудования и помещений.



Рисунок 1 - Сосуд работающий под давлением (факельный сепаратор)  
мод. 391-Д-02

С авариями сосудов под давлением связано большое количество несчастных случаев, поэтому на их проектирование, устройство, изготовление, реконструкцию, наладку, монтаж, ремонт, техническое диагностирование и эксплуатацию в большинстве стран мира накладывается ряд ограничений. В процессе эксплуатации в узлах и деталях сосудов работающих под давлением возникают различного рода напряжения под действием статической, динамической и знакопеременной нагрузок. Многие детали находятся под воздействием абразивных и агрессивных сред, а также значительных постоянных или циклически изменяющихся температур.

Условия эксплуатации сосудов работающих под давлением специфичны и тяжелы - это стесненность рабочего пространства, пыльная, в некоторых случаях влажная и коррозионно-агрессивная среда, периодическое перемещение установок и оборудования, многократный монтаж и демонтаж оборудования, необходимость соблюдения особых требований техники безопасности и др. Климат влияет на тепловой режим агрегатов СПД и оборудования, коррозионную активность окружающей среды, трудоемкость и качество, технического обслуживания и ремонта.

Продолжительность работы сосуда, работающего под давлением на прямую, зависит от соблюдений норм и режимов эксплуатации, нарушения которых приводят к значительно материальным и экологическим потерям вследствие отказов и аварий исчисляется миллионами тенге. Возрастающий объём действующих сосудов, работающего под давлением, отрабатывающих нормативный срок, также значительно увеличивает количество аварий. Существенным фактором является то, что убытки подрядных нефтеперерабатывающих компаний и фирм связаны не только с затратами на эксплуатацию, ремонт и техническое обслуживание, но и с затратами на возмещение экологического ущерба.

Перечисленные оборудование для переработки могут храниться, транспортироваться и эксплуатироваться вместе со сжиженными, сжатыми и растворенными ядовитыми и взрывоопасными газами. Одним из важных условий предупреждения аварий, отравлений и взрывов - герметичность аппаратуры. Причинами взрывов аппаратов могут быть: потеря прочности вследствие перегревов, коррозии, срыва болтов и крышек люков, разрывов или вспучивания стенок и днищ, резкое изменение давления и температуры в сосудах, неправильное изготовление и эксплуатация сосудов, нарушение технологического режима, неисправность арматуры и приборов.

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 аккумулирования 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	

Для безопасной эксплуатации систем, работающих под давлением, существует комплекс профилактических мер в виде требований Госгортехнадзора РК к материалам, конструкциям сосудов, расчетам, техническим освидетельствованиям сосудов (внутренний ремонт и гидравлические испытания).

В РК действуют «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), а также ряд других отраслевых документов, действие которых ограничено своей специфической областью (например, «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, для объектов использования атомной энергии» и др.) [1].

Эти и другие нормативные документы устанавливают границы параметров содержащихся в сосуде веществ, превышение которых причисляет сосуд к опасным, в общем случае, как:

- вода с температурой выше 115° С или другие нетоксичные, невзрывопожароопасные жидкости при температуре, превышающей температуру кипения при давлении 0,07 МПа;

- пар, газ или токсичные взрывопожароопасные жидкости с давлением выше 0,07 МПа;

- сжатых, сжиженных и растворенных газов под давлением выше 0,07 МПа.

Для управления работой и обеспечения безопасных условий эксплуатации сосуды в зависимости от назначения должны быть оснащены:

- запорной или запорно-регулирующей арматурой;
- приборами для измерения давления;
- приборами для измерения температуры;
- предохранительными устройствами;
- указателями уровня жидкости.

Согласно действующих Правил обеспечения промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под давлением утвержденных приказом Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 30 декабря 2014 года № 358 определены следующие требования по установке сосуда, работающего под давлением:

- сосуды устанавливаются на открытых площадках в местах, исключающих скопление людей или в отдельно стоящих зданиях.

- допускается установка сосудов: в помещениях, примыкающих к производственным зданиям, при условии отделения их от здания капитальной стеной; в производственных помещениях, при обосновании проектом; с заглублением в грунт при условии обеспечения доступа к арматуре и защиты стенок сосуда от почвенной коррозии и коррозии буждающими токами;

- не допускается установка сосудов, зарегистрированных, а территориальных подразделениях уполномоченного органа в области промышленной безопасности в жилых, общественных и бытовых зданиях, в примыкающих к ним помещениях;

- установка сосудов должна исключать возможность их опрокидывания;

- установка сосудов обеспечивается возможностью осмотра, ремонта, очистки их с внутренней и наружной стороны;

- для удобства обслуживания сосудов устраиваются площадки и лестницы для осмотра и ремонта сосудов допускается применять люльки и другие приспособления.

Указанные устройства не должны нарушать прочность и устойчивость сосуда, а приварка их к сосуду выполняется в соответствии с настоящими требованиями [1].

В связи с исчерпанием существующих и началом эксплуатации новых месторождений нефти коррозионная активность промысловых сред постоянно возрастает. Основной причиной отказов и аварий сосудов работающий под давлением является нарушение требований безопасной эксплуатации.

Согласно требованиям эксплуатации, в таблице 1,2 представлена нормативная информация по периодичности освидетельствования сосудов, работающих под давлением в нефтегазовой отрасли и периодичности проведения технического освидетельствования цистерн.

В зависимости от параметров (расчетного движения и температуры стенки) и характера рабочей среды сосуды подразделяются на группы. Группа сосуда определяется согласно требованиям табл. 2. Группу для сосуда с полостями, имеющими различные

параметры и среды, допускается определять для каждой полости отдельно. Сосуды, на которые Правила не распространяются, независимо от расчетного давления следует относить к группе 5а или 5б [2].

Сосуды с параметрами, соответствующими граничным линиям (рис. 2), следует относить к группе с менее жесткими требованиями.

Прибавки С (сумма прибавок к расчетным толщинам, мм) к расчетным толщинам для компенсации коррозии (эррозии) должны приниматься с учетом условий эксплуатации, расчетного срока службы, скорости коррозии.

Прибавки для компенсации коррозии к толщине внутренних элементов должны быть:

2С (прибавка для компенсации минусового допуска, мм) - для несъемных нагруженных элементов, а также для внутренних крышек и трубных решеток теплообменников;

- 0,5 С, но не менее 2 мм - для съемных нагруженных элементов; С - для несъемных ненагруженных элементов.

При наличии на трубной решетке или плоской крышке канавок прибавка для компенсации коррозии принимается с учетом глубины этих канавок.

Для внутренних съемных ненагруженных элементов прибавка для компенсации коррозии не учитывается. Если из-за рабочих условий нецелесообразно увеличивать толщину стенки за счет прибавки для компенсации коррозии, рекомендуется коррозионная защита: плакирование, футеровка или наплавка.

Согласно требованиям эксплуатации, фактические значения усилий не должны превышать расчетных значений, по которым окружное напряжение в стенке сосуда определяется по формуле:

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

где: Р - внутреннее избыточное давление;

$D_{cp}$  - средний диаметр цилиндра ( $d + s$ ).

Осьевое напряжение в цилиндре от внутреннего давления на днища:

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

где:  $S$  - полная толщина стенки цилиндра.

Толщина стенки в зависимости от наибольшего допустимого давления определяется по формуле:

$$S = PD_{cp} / 2R_z j + c \quad P = 2R_z j (s - c) / D_{cp} \quad (3)$$

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:

$$S = P D_{cp} y_3 / 2R_z j + c \quad s = P D_{cp} y_3 / (2R_z j + P y_3) + c \quad (4)$$

где:  $y_3$  - коэффициент перенапряжения днища, определяемый по графику в зависимости от  $h/D$ .

Таблица 2 - Группы сосудов

Группа	Расчетное давление, МПа	Температура стенки*, °C	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	Любая, за исключением токсичной 1, 2, 3-го классов опасности по ГОСТ 12.1.007
	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
<p>Для сосудов, работающих при положительных температурах, принимают расчетную температуру.</p> <p>Для сосудов, работающих при отрицательных температурах, принимают минимальную рабочую температуру.</p> <p>Сосуды, работающие при отрицательных температурах от минус 40 °C до минус 20 °C или от 200 до 400 °C при давлении от 0,05 МПа до 1,6 МПа включительно, относятся к 3-й группе.</p>			

Прибавка для компенсации коррозии не учитывается при выборе металлических прокладок для фланцевых соединений, болтов, опор, теплообменных труб и перегородок, теплообменных приставок и стояков.

Толщины обечаек, днищ, опор с учетом прибавки для компенсации коррозии должны быть не менее:  $(D/1000+2,5)$  мм - из углеродистых и низколегированных сталей, где D - внутренний диаметр обечайки, днища, опоры, мм; 2,5 мм - из сталей аустенитного и аустенитно-ферритного классов.

В сосудах применяются днища: эллиптические, полусферические, торосферические, сферические неотбортованные, конические отбортованные, конические неотбортованные, плоские отбортованные, плоские неотбортованные, плоские, присоединяемые на болтах

Важнейшей задачей в области создания эксплуатационной надежности нефтеперерабатывающих нестандартных оборудований является разработка технологии производства оборудования для повышенной эксплуатационной надежности в коррозионно-активных высокоминерализованных средах, содержащих углекислоту и сероводород природного или бактериального происхождения. Коррозионное разрушение СПД в частности сепараторов, главным образом, обусловлено присутствием в перерабатываемом продукте сероводорода и углекислого газа, благодаря которым нефтегазовая эмульсия имеет коррозионно-агрессивные свойства. Но при этом инициатором коррозионных процессов является вода, вызывающая протекание коррозии по электрохимическому механизму. Агрессивность водной фазы определяется ее многопараметрическим химическим и физическим состоянием — составом и концентрацией растворенных солей, наличием кислорода, углекислого газа, сероводорода, их парциальным давлением, температурой, скоростью движения и характером потока [3].

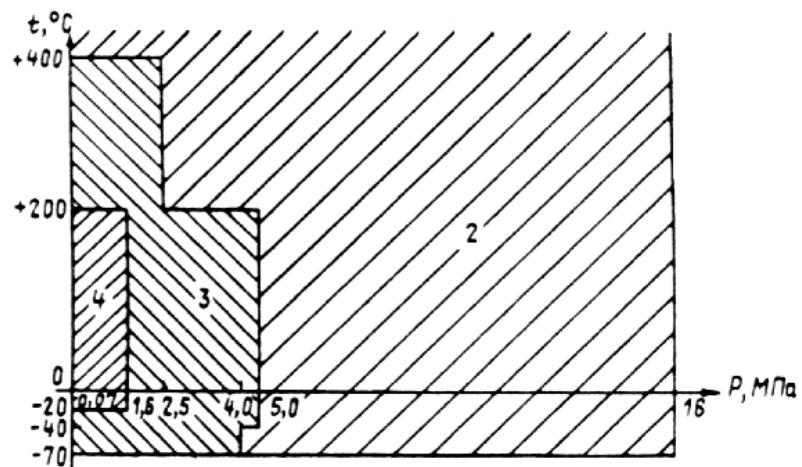


Рисунок 2 - Деление СПД на группы в зависимости от расчетного давления (Р) и температуры стенки (t)

Исследование и анализ факторов, снижающих конструктивную прочность материала нефтеперерабатывающего нестандартного оборудования (СПД) определили, что:

-выбор материала нефтеперерабатывающего нестандартного оборудования (СПД) осуществляется в зависимости от величины и характера нагрузок и других специальных требований в зависимости от условий эксплуатации.

-при повышенных прочностных требованиях к конструкции материала нефтеперерабатывающего нестандартного оборудования (СПД) требуются стали с повышенным пределом текучести и времененным сопротивлением разрыву.

-для материала СПД нефтеперерабатывающего нестандартного оборудования рационально применение конструкционных сталей с повышенными прочностными характеристиками.

Это позволяет существенно сократить эксплуатационные расходы по содержанию не стандартного оборудования, что в свою очередь уменьшает стоимость сооружения.

Одним из главных факторов снижения эксплуатационной стойкости материала СПД являются процессы общей коррозии, деформационного старения, а также ухудшение механических характеристик и сопротивления металла разрушению. Коррозия приводит к

уменьшению толщины стенки СПД и возникновению концентратов напряжений, деградация свойств снижает сопротивление зарождению и распространению опасных зон, что может вызывать при рабочих, и особенно испытательных, давлениях разрушение СПД. Влияние пластической деформации на потерю веса образцов из углеродистой стали Ст3пс при коррозионных испытаниях представлено на рис. 3

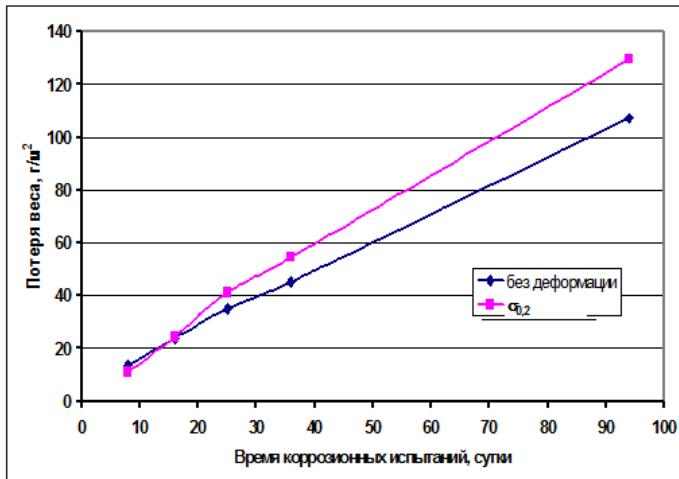


Рисунок 3 - Влияние пластической деформации на потерю веса образцов материала СПД из углеродистой стали при коррозионных испытаниях

Поэтому важной задачей является исследование вклада этих факторов в изменение сопротивления разрушению материала СПД и разработка на этой основе принципов создания новых конструкционных сталей материала СПД, устойчивых к силовому и тепловому воздействиям

**Выводы.** Проанализированные специфические условия эксплуатации СПД, работающих под избыточными давлениями определили, что ряд факторов, учитывающих процессы общей коррозии, деформационное старение, а также ухудшение механических характеристик и сопротивления металла разрушению материала СПД при эксплуатации предусматривают соблюдение и выполнение возросших требований промышленной безопасности при эксплуатации сосудов, работающих под давлением в нефтегазовой отрасли

Это определяет решения важнейших задач в области создания эксплуатационной надежности СПД на основе разработки технологии производства аппаратов и сосудов, работающих под избыточным давлением в нефтегазовой отрасли с повышенной эксплуатационной надежностью в коррозионно-активных высокоминерализованных средах, содержащих углекислоту и сероводород природного или бактериального происхождения.

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. 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).

[2]. ГОСТ 34347-2017. Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия. Межгосударственный стандарт ЕАСС. 2017.

[3]. Бадагуев Б.Т. Сосуды, работающие под давлением. Безопасность при эксплуатации Издательство: Альфа-Пресс, 2014.

### **МҰНАЙ-ГАЗ САЛАСЫНДАҒЫ ҚЫСЫММЕН ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН ҮДЫСТАРДЫ ПАЙДАЛАНУ ШАРТТАРЫН ТАЛДАУ**

Дурбенов Ш.М. – магистрант, Ш.Есенов атындағы Каспий мемлекеттік технологиялар және инжинириング университеті, Ақтау қ., Қазақстан, [shyngys\\_aktau@mail.ru](mailto:shyngys_aktau@mail.ru).

Табылов А.У. – т.ғ.к., доцент, Ш.Есенов атындағы Каспий мемлекеттік технологиялар және инжинириング университеті, Ақтау қ., Қазақстан, [tabylov62@mail.ru](mailto:tabylov62@mail.ru).

**Андратпа.** Мақалада мұнай-газ саласында қолданылатын қысыммен жұмыс істейтін үдыштарды пайдалану шарттары зерттелген. Артық қысыммен жұмыс істейтін осы жабдықтың ерекшелігі, пайдалану режимдерінің бұзылуы адамдардың өліміне, жабдықтардың, ғимараттар мен құрылыштардың бұзылуына әкеп соғатын орасан зор энергияның бүлінүі кезінде өндірісте жарылыс қауіпті жағдай туғызыу мүмкін екенін ескере отырып, оны пайдаланудың ерекше шарттарын айқындайды.

**Түйінді сөздер:** мұнай-газ өнеркәсібі, аппараттар, қысыммен жұмыс істейтін үдыштар, қысыммен жұмыс істейтін үдыштарды пайдалану, үдыштардың авариясы, қысыммен жұмыс істейтін үдыштарды орнату және қауіпсіз пайдалану ережесі, техникалық қызмет көрсету, жөндеу, гидравликалық сынау, коррозиялық бұзу.

### **ANALYSIS OF OPERATING CONDITIONS OF PRESSURE VESSELS IN THE OIL AND GAS INDUSTRY**

Durbenov Sh.M. - graduate student, Sh. Yessenov Caspian state university of technology and engineering, Aktau, Kazakhstan.

Tabylov A.U. - academic adviser, Sh. Yessenov Caspian state university of technology and engineering, Aktau, Kazakhstan.

**Abstract.** The article examines the operating conditions of pressure vessels used in the oil and gas industry. The specifics of this equipment operating under excessive pressure determines the special conditions of its operation, taking into account that violations of operating modes can create an explosive situation in production with the release of huge energy during their destruction, causing the death of people, destruction of equipment, buildings and structures.

**Keywords:** oil and gas industry, devices, pressure vessels, operation of pressure vessels accident of vessels, Rules for the device and safe operation of pressure vessels, maintenance, repair, hydraulic testing, corrosion damage.