

УДК 622.276.05–192:519.6
DOI: 10.25206/1813-8225-2022-184-5-11

К. В. СЫЗРАНЦЕВА
К. В. КУСКОВ
М. А. ПАЗЯК

Тюменский
индустриальный университет,
г. Тюмень

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КОРРОЗИОННОСТОЙКОГО МАТЕРИАЛА КОРПУСА ПРЕВЕНТОРА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЕГО УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

В статье рассмотрен метод обоснования выбора коррозионностойкого материала для изготовления корпуса превентора на основе компьютерного моделирования упругопластической задачи в программном комплексе ANSYS Mechanical APDL. Для описания свойств материала используется мультилинейная модель деформирования, опорные точки которой вычисляются в результате отработки разработанного авторами макроса на основе двух моделей: Ромберг-Осгуда и «метода последовательных коррекций», предложенного специалистами ЦАГИ. В статье приведены результаты компьютерного моделирования по нагружению корпуса превентора ПШКМ-АСМТ-114х21 рабочим и двойным пусковым давлением для четырех вариантов материалов корпуса. Расчеты подтвердили высокий запас прочности корпуса для применяемой в настоящее время стали 40Х, показали достаточную работоспособность коррозионностойких сталей 20Х13 и 30ХМА. Однако компьютерный эксперимент выявил весьма обширные зоны и уровень пластических деформаций в результате нагружения корпуса, изготовленного из стали 12Х18Н10Т двойным пусковым давлением. Полученные результаты свидетельствуют, что исследуемый превентор может быть изготовлен в коррозионностойких исполнениях К1 и К2, но для исполнения К3 необходимо разрабатывать принципиально другую геометрию корпуса.

Ключевые слова: превентор, прочностная надежность, коррозионностойкая сталь, компьютерное моделирование, ANSYS, упругопластическое деформирование, диаграмма деформирования материала.

Введение. На техническое состояние и ресурс нефтепромыслового оборудования влияет большой спектр факторов, осложняющий его эксплуатацию, наиболее существенным из которых является коррозионный процесс [1, 2]. Объясняется это содержанием в «скважинной среде» агрессивных агентов: сероводорода, углекислого газа, кисло-

рода, минерализованной воды с различными концентрациями всевозможных солей, бактерий, твердых частиц пластовых пород вызывают медленное разрушение поверхности металлических деталей и узлов нефтедобывающих систем [3, 4]. Учеными проводится постоянная исследовательская работа, направленная на изучение факторов, влияющих

на стойкость стальных труб для обустройства нефтегазовых месторождений к коррозионным разрушениям, предлагаются различные меры по снижению агрессивного воздействия среды, например, наружное и внутреннее антикоррозионное покрытие [5]. В то же время далеко не все детали и узлы могут быть подвергнуты нанесению покрытия. Для корпусных деталей, имеющих сложную геометрическую форму, подвергающихся в процессе эксплуатации существенным нагрузкам, обеспечить их требуемую работоспособность в настоящее время возможно лишь изготовлением непосредственно из коррозионностойкой стали. Однако у коррозионностойких материалов имеется и ряд недостатков. Так, данные материалы зачастую являются «мягкими» и не отвечают требованиям жесткости и прочности высоконагруженных деталей. Ряд конструкций, в том числе оборудование для бурения скважин и противовыбросовое оборудование, работает в тяжелых условиях, воспринимая достаточно высокие давления и перепады температур [4, 6], поэтому имеют место пластические деформации металла, которые приводят к снижению жесткости корпуса и уже вследствие этого — к потере герметичности [7].

А для таких изделий, как превенторы, это недопустимо, поскольку может вызвать аварию с утечкой нефтяной или газовой среды, чем нанесет не только высокий экономический ущерб, но и вызовет негативные экологические последствия [4, 8].

В данной статье приведено исследование, основанное на компьютерных экспериментах, позволяющее принять решение об обоснованном расчетами выборе материала корпуса превентора, обладающего соответствующими коррозионностойкими свойствами, но гарантирующими такие важные критерии работоспособности, как прочность и жесткость. Поэтому выбор расчетной схемы компьютерного прочностного анализа и модели упругопластического поведения материала является весьма актуальной задачей для высоконагруженных корпусных деталей, какими являются корпуса превенторов.

Постановка задачи. Несмотря на то, что химические свойства коррозионностойких сталей хорошо изучены и широко применяются в различных узлах нефтегазового оборудования [2–5, 9], возможность их применения для изготовления противовыбросового оборудования нужно обосновать. Дело в том, что превенторы эксплуатируются в весьма суровых условиях, воспринимая очень высокое внутреннее давление, а также перепад температур [6, 7]. А требования, предъявляемые к ним из соображений гарантий надежности и безопасности, предъявляются весьма высокие [6, 8].

Целью данного исследования является проведение компьютерного эксперимента по нагружению корпуса превентора на примере ПШКМ-АСМТ-114х21, разработанного и выпускаемого Тюменской инженеринговой компанией «АСМТ» [10], для принятия решения о возможности изготовления данного превентора в коррозионностойких исполнениях.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) обосновать выбор модели описания материала, а также подготовить ее описание на языке программирования APDL для последующей передачи в ПК ANSYS;

2) разработать расчетную схему нагружения корпуса превентора и провести моделирование для

базовой стали 40X и выбранных вариантов коррозионностойких сталей;

3) провести сопоставительный анализ результатов компьютерного моделирования.

Основным решением для возможности применения корпуса превентора ПШКМ-АСМТ-114х21 в коррозионных средах является замена материала, из которого его производят. Противовыбросовое оборудование изготавливают, согласно ГОСТ 13862-90, в следующих коррозионностойких исполнениях:

— K1 — среда с объемным содержанием CO_2 до 6 %

— K2 — среда с объемным содержанием CO_2 и H_2S до 6 %

— K3 — среда с объемным содержанием CO_2 и H_2S до 25 %

На данный момент существуют рекомендации по применению различных марок стали под различные коррозионные исполнения, а конкретный подбор стали чаще всего осуществляется опытным путем под заданные условия применения. Основываясь на опыте заводов-производителей нефтегазового оборудования, были подобраны следующие марки стали для каждого из коррозионностойких исполнений [9]:

— K1 — сталь 20X13;

— K2 — сталь 30XMA;

— K3 — сталь 12X18H10T.

Теория. С целью оценки прочностной надежности деталей и узлов машин выполняется проверка соответствующих критериев работоспособности. Важнейшими критериями расчета корпусных деталей являются прочность и жесткость (герметичность). В силу того, что корпусные детали имеют сложную геометрическую форму, оценку критериев их работоспособности целесообразно выполнять в ходе компьютерного моделирования. В настоящее время существует множество программных пакетов, реализующих метод конечных элементов, позволяющих оценить упругие деформации модели. В то же время ряд корпусных деталей (фонтанная и запорная арматура, превенторы) подвергаются воздействию достаточно высокого внутреннего давления, что может привести к возникновению пластических деформаций, и данный факт необходимо учитывать при проектировании деталей.

К настоящему времени предложено несколько моделей пластического поведения материала [11–14], однако ряд моделей требует от исследователя аналитическое описание диаграммы деформирования материала $\sigma = \sigma(\epsilon)$, полученной экспериментальным путем. Но на этапе проектирования конструкции задачей инженера как раз является выбор материала, основываясь лишь на справочной информации о его механических характеристиках, имеющейся в открытых источниках.

В случае, когда имеется экспериментально полученная диаграмма деформирования материала, возможно воспользоваться аппроксимациями Ромберга-Осгуда для ее аналитического описания [11, 15]:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} + 0,002 \left(\frac{\sigma}{\sigma_{0,2}} \right)^n, \quad (1)$$

где ϵ — деформация, E — модуль упругости, σ — напряжение, $\sigma_{0,2}$ — условный предел текучести.

Для моделирования пластического поведения материала на этапе проектирования изделия в условиях ограниченной информации о поведении

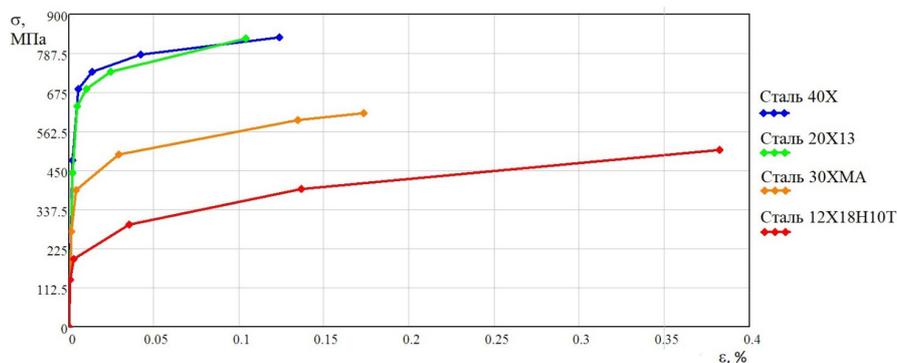


Рис. 1. Упрощенные диаграммы деформирования сталей

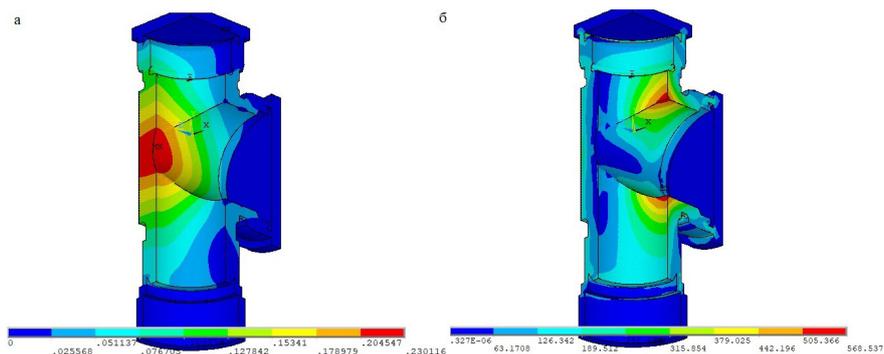


Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние корпуса преვენтора, изготовленного из стали 40X (а — суммарные перемещения, б — эквивалентные напряжения)

материала сотрудниками Центрального аэрогидродинамического института имени профессора Н. Е. Жуковского [16] был предложен и верифицирован «метод последовательных коррекций» для построения диаграмм деформирования широкого класса материалов. В терминах «напряжение — деформация» уравнения будут иметь вид:

$$\varepsilon(\sigma) = \begin{cases} \frac{\sigma}{E}, & 0 < \sigma < \sigma_{\text{пц}} \\ \frac{\sigma}{E} + 0,002 \cdot \left(\frac{\sigma - \sigma_{\text{пц}}}{\sigma_{0,2} - \sigma_{\text{пц}}} \right)^N, & \sigma_{\text{пц}} < \sigma < \sigma_B \end{cases} \quad (2)$$

$$N = \frac{\ln\left(\frac{\delta}{0,002}\right)}{\ln\left(\frac{\sigma_B - \sigma_{\text{пц}}}{\sigma_{0,2} - \sigma_{\text{пц}}}\right)}$$

где ε — деформация, E — модуль упругости, σ — напряжение, $\sigma_{0,2}$ — условный предел текучести, $\sigma_{\text{пц}}$ — предел пропорциональности, σ_B — предел прочности, δ — остаточное удлинение.

В работе [16] показано хорошее согласование «метода последовательных коррекций» с результатами экспериментальных данных, полученных для алюминиевого сплава 1201, также приводятся сведения о его многолетнем применении в ЦАГИ в инженерных расчетах прочности и устойчивости конструкций, в том числе при температурном деформировании материала.

Для решения задачи выбора коррозионно-устойчивого материала корпуса преვენтора авторами дан-

ной статьи разработаны два макроса, на основе моделей Ромберг-Осгуда и «метода последовательных коррекций» [16], позволяющие получить точки для таблицы, описывающей мультилинейную модель деформирования материала в ПК ANSYS Mechanical APDL [17]. Моделирование выполнено на основе «метода последовательных коррекций», но при необходимости уточнений результатов возможно построение экспериментальной кривой деформирования стали и выбор наиболее точно описывающей ее модели. На рис. 1 показаны результаты отработки макроса, позволяющего построить упрощенные кривые деформирования четырех марок сталей для передачи в ANSYS Mechanical APDL.

Результаты экспериментов. Компьютерное моделирование гидравлических испытаний корпуса преვენтора ПШКМ-АСМТ-114x21 двойным рабочим давлением в 42 МПа выполнялось в ПК ANSYS Mechanical APDL [17] и включало 5 вариантов расчета.

1-й вариант. Используемая в настоящее время для изготовления корпуса конструкционная легированная сталь 40X, ГОСТ 4543-2016. Линейная модель деформирования материала.

Геометрическая модель корпуса преვენтора строилась в программе твердотельного моделирования SolidWorks, затем она импортировалась в ПК ANSYS Mechanical APDL [10, 18]. Конечно-элементная сетка была построена с помощью элементов SOLID187, имеющих форму тетраэдра, размером 7 мм на больших участках и 2 мм в зонах резкого изменения геометрии. Так как корпус является симметричным относительно фронтальной и профильной плоскостей, то анализу подвергалась 1/4 часть модели, а на плоскостях разреза указаны условия симметрии. Граничные условия для моделирования

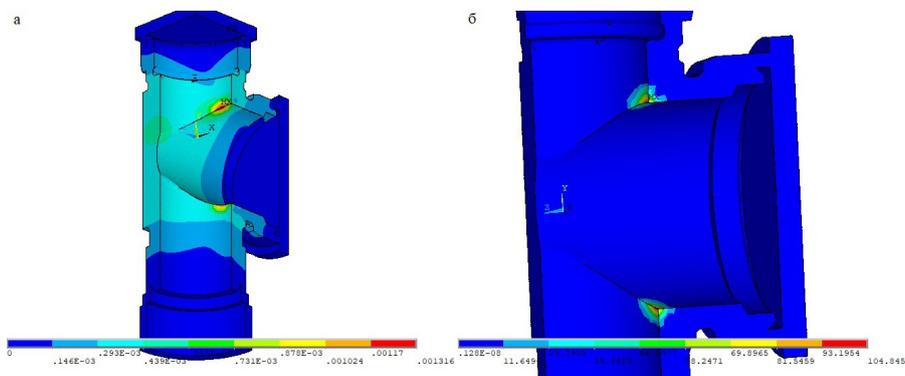


Рис. 3. Остаточные перемещения и напряжения в корпусе преентора, изготовленного из стали 40X

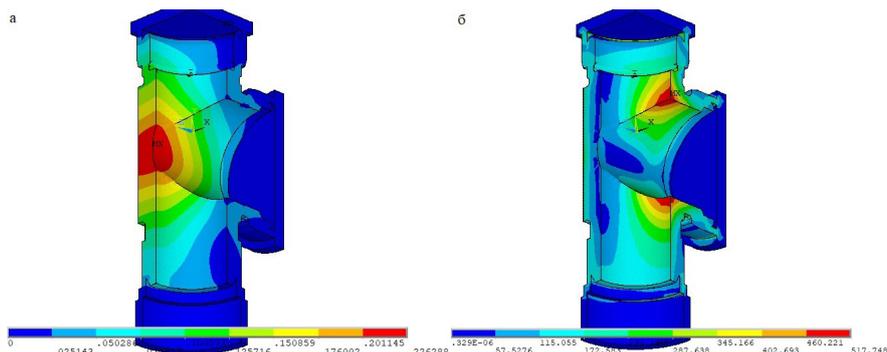


Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние корпуса преентора, изготовленного из стали 20X13 (а — суммарные перемещения, б — эквивалентные напряжения)

процесса гидравлических испытаний дополнялись жесткой заделкой опоры корпуса и внутренним давлением в 42 МПа по всей внутренней поверхности корпуса. Оценка качества полученной конечно-элементной сетки осуществлялась в соответствии с рекомендациями аналитиков ANSYS Inc. [19]:

$$\Delta = \frac{ESOL - NSOL}{ESOL} \cdot 100 \% = \frac{713 \text{ МПа} - 703 \text{ МПа}}{713 \text{ МПа}} \cdot 100 \% = 1,40 \% < 10 \% , \quad (3)$$

где *ESOL* (Element Solution) — элементные результаты (напряжения в центрах масс элементов), *NSOL* (Nodal Solution) — узловые результаты (напряжения в узлах).

Поскольку полученное значение Δ не превышает 10 %, то качество конечно-элементной сетки считается удовлетворительным [20]. Поскольку максимальные напряжения составили 703 МПа, что превысило предел текучести стали в 685 МПа, то был сделан вывод о несоответствии упругой модели деформирования материала фактическим условиям задачи и необходимости учета пластических деформаций.

2-й вариант. Конструкционная легированная сталь 40X, ГОСТ 4543-2016. Мультилинейная модель деформирования материала.

В результате отработки разработанного авторами макроса на основе «метода последовательных коррекций» [16] была построена и указана посредством табличных операций языка APDL упрощенная мультилинейная модель деформирования стали 40X (рис. 1, синяя линия). На рис. 2 показаны результаты расчета суммарных перемещений (рис. 2а)

и эквивалентных, по Мизесу, напряжений (рис. 2б), которые свидетельствуют об отсутствии пластических деформаций в металле, что подтверждается успешной многолетней эксплуатацией производимых из данной стали преенторов. Максимальные остаточные суммарные перемещения составили 0,0013 мм, максимальные остаточные эквивалентные напряжения — 104,845 МПа (рис. 3).

3-й вариант. Коррозионнотойкая сталь 20X13. Мультилинейная модель деформирования материала.

Нержавеющая сталь 20X13 применяется для деталей с повышенной пластичностью, подвергающихся действию слабоагрессивных сред (атмосферных осадков, водных растворов солей органических кислот при комнатной температуре) [9]. Наибольшая коррозионная стойкость достигается после термической обработки (закалка с отпуском) и полировки. Результаты моделирования гидравлических испытаний корпуса преентора, изготовленного из стали 20X13 в соответствии с той же расчетной схемой, что и для Варианта 2, но с другой моделью материала, описанной мультилинейным законом деформирования (рис. 1, зеленая линия), представлены на рис. 4. Максимальные эквивалентные напряжения (рис. 4б) не превышают предел текучести, поэтому можно сделать вывод о достаточной работоспособности корпуса, изготовленного из стали 20X13 для исполнения К1.

4-й вариант. Коррозионнотойкая сталь 30XМА. Мультилинейная модель деформирования материала.

Сталь 30XМА — жаропрочная релаксационнотойкая конструкционная хромомолибденовая сталь общего применения, применяется в производстве дисков турбин, фланцев, валов, болтов, рас-

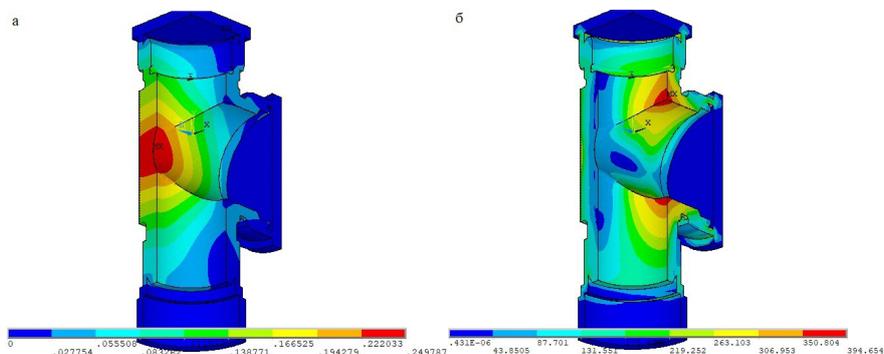


Рис. 5. Напряженно-деформированное состояние корпуса преувентора, изготовленного из стали 30XMA (а — суммарные перемещения, б — эквивалентные напряжения)

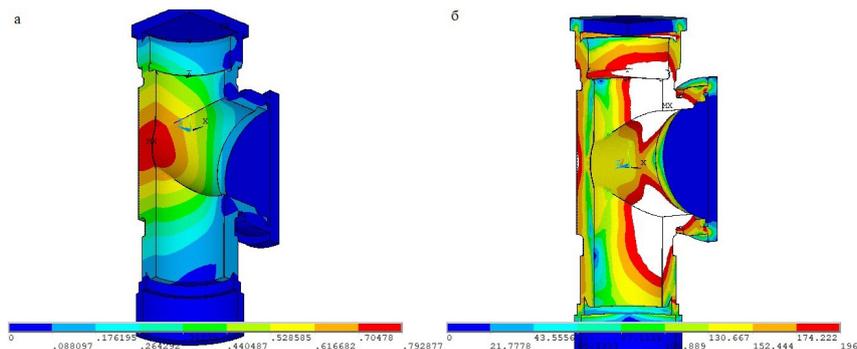


Рис. 6. Напряженно-деформированное состояние корпуса преувентора, изготовленного из стали 30XMA (а — суммарные перемещения, б — эквивалентные напряжения)

Таблица 1

Результаты компьютерного моделирования

Исполнение	Марка стали	Предел текучести, МПа	Максимальные перемещения, мм	Максимальные напряжения, МПа	Остаточные напряжения, МПа
	40X	685	0,23	568,537	104,845
K1	20X13	635	0,226	517,748	129,526
K2	30XMA	395	0,25	394,654	118,119
K3	12X18N10T	196	0,793	255,563	

считанных на работу при высоких температурах от 450 до 500 °С, а также деталей для химической и нефтехимической промышленности.

Максимальные напряжения при нагружении составили 394,654 МПа (рис. 5б), что практически эквивалентно значению предела текучести. Остаточные напряжения в корпусе преувентора составили 118,119 МПа. Поскольку материал не успел перейти в пластичную зону, прочностную надежность корпуса преувентора ПШКМ-АСМТ-114х21, изготовленного из стали 30XMA, можно считать достаточной. В то же время для повышения надежности изделий на этапе их проектирования рекомендуется закладывать запас прочности, который в данном расчетном случае подтвержден не был.

5-й вариант. Коррозионностойкая сталь 12X18N10T. Мультилинейная модель деформирования материала.

Сталь 12X18N10T используется для производства деталей, работающих при температурах до +600 °С. Применяется сталь при изготовлении изделий, которые можно эксплуатировать в условиях разбавленных кислот, среднеагрессивных щелочных и солевых растворов — например, резервуаров

и сварных агрегатов. Также пользуется спросом в нефтехимической отрасли [9].

Результаты компьютерного моделирования иллюстрирует рис. 6. Так, максимальные значения суммарных перемещений составили 0,793 мм (рис. 6а), это говорит о значительной податливости материала. На рис. 6б показана картина распределения эквивалентных напряжений до предела текучести стали, равного 196 МПа. Зоны металла, в которых наблюдаются пластические деформации, показаны белым цветом. Расположение данных зон как на внутренней, так и на внешней поверхности корпуса, а также значительный размер говорит об абсолютной неработоспособности корпуса, что не позволяет использовать сталь 12X18N10T для его производства.

Обсуждение экспериментов. В табл. 1 представлены результаты четырех компьютерных экспериментов: 4 варианта стали с использованием мультилинейной модели деформирования материала, полученной на основе «метода последовательных коррекций» ЦАГИ, поскольку экспериментальные диаграммы деформирования материала $\sigma = \sigma(\epsilon)$ отсутствовали. Результаты свидетельствуют, что

конструкция корпуса превентора, изготовленная из коррозионностойких сталей 20X13 и 30XMA (коррозионностойкие исполнения K1 и K2), обладает достаточной прочностью. Однако максимальные напряжения в корпусе, изготовленном из стали 12X18H10T, превышают предел текучести на 30 %, более того, зоны пластических деформаций имеют очень большой размер.

Поэтому для возможности изготовления превентора ПШКМ-АСМТ-114х21 в коррозионностойком исполнении K3 необходимо разрабатывать принципиально иную геометрию корпуса, а возможно, и всей конструкции превентора.

Заключение. Для проверки работоспособности изделий в процессе их проектирования и модернизации целесообразно проводить компьютерные эксперименты. Моделирование работы тяжело нагруженных деталей и узлов следует выполнять с учетом возможных пластических деформаций. Причем, если в распоряжении исследователей имеются экспериментальные диаграммы деформирования материала, то наиболее точно описать поведение материала моделью Рамберг-Осгуда. При отсутствии экспериментальных данных достаточную точность дает «метод последовательных коррекций», предложенный специалистами ЦАГИ. Данное исследование позволило выполнить затравочные компьютерные эксперименты только по имеющимся в справочниках данным материалов, которые подтвердили работоспособность сталей 20X13 и 30XMA для коррозионностойких исполнений K1 и K2 исследуемого корпуса превентора, а также установить невозможность его изготовления из стали 12X18H10T для агрессивных сред по исполнению K3 по причине недостаточной прочностной надежности.

Благодарности

Авторы благодарят за поддержку данного исследования национальный проект «Наука и университеты» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FEWN-2021-0012).

Библиографический список

1. Сабиров А. А., Деговцов А. В., Кузнецов И. В. [и др.]. Прогнозирование наработки на отказ, выбор исполнения и оптимизация закупок установок электроцентробежных насосов для осложненного фонда скважин // Территория нефтегаз. 2019. № 7-8. С. 44–48.
2. Syzrantsev V., Syzrantseva K. Improvement of Calculating Methods for Trunk Pipelines Reliability // 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP): Conference Proceedings, 3–6 September. 2019. Samara, 2019. P. 625–629.
3. СДТ с повышенной коррозионной стойкостью для обустройства месторождений нефти // Газовая промышленность. 2019. № 9 (790). С. 134–135.
4. Гулянец Г. М. Противовыбросовое оборудование скважин, стойкое к сероводороду: справочное пособие. Москва: Недра, 1991. 348 с.
5. Медведев А. П., Голованов А. И., Гозенко А. Ю. Трубная продукция ПАО «ТМК» для обустройства нефтегазовых месторождений // Нефть. Газ. Новации. 2017. № 5. С. 36–43.
6. Петровский Э. А., Башмур К. А., Попова В. А., Шадчина Ю. Н. Увеличение надежности станции гидравлического управления противовыбросовым оборудованием буровой установки // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2020. № 8 (332). С. 13–17.
7. Ясашин В. А., Ельсукова А. С. Оценка качественных характеристик противовыбросового оборудования в ходе сертификационных испытаний // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2020. № 6 (120). С. 17–22. DOI: 10.33285/1999-6934-2020-6(120)-17-22.
8. Короткова Т. Г., Пашинян Л. А. Влияние неисправностей и отказ противовыбросового оборудования на уровень фонтанной и газовой опасности при бурении, креплении и капитальном ремонте нефтяных и газовых скважин // Вестник ассоциации буровых подрядчиков. 2018. № 4. С. 16–19.
9. Петухов Н. Ю., Никель С. А. К вопросу выбора коррозионностойкого материального исполнения центробежных секционных насосов // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. 2017. № 1. С. 199–202.
10. Пазяк М. А. Компьютерный инженерный анализ корпуса превентора ПШКМ-АСМТ-114х21 // Проблемы геологии и освоения недр: тр. XXIV Междунар. симп. имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвящ. 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, 6–10 апреля 2020 г. Томск, 2020. Т. II. С. 417–418.
11. Basan R., Franulović M., Prebil I. [et al.]. Study on Ramberg-Osgood and Chaboche models for 42CrMo4 steel and some approximations // Journal of Constructional Steel Research. 2017. Vol. 136. P. 65–74.
12. Васильев Б. Е., Волков М. Е., Бредихина Е. Н., Плещеев И. И. Построение расчётных кривых деформирования в обеспечении наполнения банка данных по конструкционной прочности материалов авиационных двигателей // Materials Physics and Mechanics. 2019. № 5 (42). С. 656–670.
13. Ahmad M., Ray R. Comparison between Ramberg-Osgood and Hardin-Drnevich soil models in Midas GTS NX // Pollack Periodica. 2021. Vol. 16, Issue 3. P. 52–57.
14. Burkov P. V., Burkova S. P., Knaub S. A. Stress and Strain State Analysis of Defective Pipeline Portion. YIT-ITEE // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2015. № 91. 012055. DOI: 10.1088/1757-899X/91/1/012055.
15. SzilvÁgyi Z., Ray R. P. Verification of the Ramberg-Osgood Material Model in Midas GTS NX with the Modeling of Torsional Simple Shear Tests // Periodica Polytechnica Civil Engineering. 2018. № 62 (3). P. 629–635.
16. Банкина О. С., Дзюба А. С., Хватан А. М. Метод построения диаграмм деформирования «σ-ε» по справочным механическим характеристикам материала // Труды ЦАГИ. 2000. № 2639. С. 36–38.
17. Thompson M., Thompson J. ANSYS Mechanical APDL for Finite Element Analysis. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2017. 466 p.
18. Syzrantseva K. V. The stress-strain condition estimation of preventer body by finite element analysis // 16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2016: Conference Proceedings, 22–31 August, 2016. Bk. 1. Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining Albena, Bulgaria, 2016. Vol. III. P. 1003–1010. DOI: 10.5593/SGEM2016/B13/S06.127.
19. Crawford J. Evaluating Mesh Density // Ansys Solutions. 1999. Vol. 1, no. 2. P. 12–16.
20. Сызранцева К. В., Колбасин Д. С. Сопоставительная оценка расчетных и экспериментальных данных о напряженно-деформированном состоянии гостоящих арочных зубьев колес цилиндрических передач // Вестник ИЖГТУ имени М. Т. Калашникова. 2021. № 1 (24). С. 45–52.

СЫЗРАНЦЕВА Ксения Владимировна, доктор технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры кибернетических систем Тюменского индустриального университета (ТИУ), г. Тюмень.
SPIN-код: 6025-3484
AuthorID (РИНЦ): 146813
AuthorID (SCOPUS): 503929784

ORCID: 0000-0002-9616-4661

ResearcherID K-7962-2019

Адрес для переписки: v.syzr@gmail.com

КУСКОВ Константин Викторович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вибрационного и гидродинамического моделирования ТИУ, г. Тюмень.

SPIN-код: 2137-8170

AuthorID (РИНЦ): 791304

AuthorID (SCOPUS): 57192048601

ORCID: 0000-0002-0698-8545

ResearcherID: O-122-2016

Адрес для переписки: kuskovkv@tyuiu.ru

ПАЗЯК Мария Александровна, магистрант направления подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»,

программы «Диагностика технического состояния и надежности нефтегазового оборудования» ТИУ, г. Тюмень.

Адрес для переписки: razyak.m@gmail.com

Для цитирования

Сызранцева К. В., Кусков К. В., Пазяк М. А. Обоснование выбора коррозионностойкого материала корпуса превентора на основе моделирования его упругопластического деформирования // Омский научный вестник. 2022. № 4 (184). С. 5–11. DOI: 10.25206/1813-8225-2022-184-5-11.

Статья поступила в редакцию 22.07.2022 г.

© К. В. Сызранцева, К. В. Кусков, М. А. Пазяк