

**ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАРУБЕЖНОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО ЦЕНТРАТОРОВ**

**Р.Р. Хайруллин, К.К. Манабаев**

Научный руководитель - доцент К.К. Манабаев

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

В статье представлен сравнительный анализ двух исполнений центраторов-турбулизаторов разных производителей путем оценивания напряженно-деформированного состояния проектных моделей центраторов фирм «Matrix» и «Механический завод» при эксплуатационных нагрузках.

Ключевые слова: центратор-турбулизатор, напряженно-деформированное состояние (НДС), прочность, метод конечных элементов (МКЭ).

Введение

Строительство нефтяных скважин неразделимо связано с таким понятием как цементирование скважин. Для достижения качественного цементирования скважины – заполнение затрубного пространства тампонажным раствором путем замещения бурового раствора, необходимо центрирование обсадной колонны для предотвращения контакта колонны со стенкой скважины, а также турбулизация восходящего потока технологических жидкостей [1]. С этой целью при строительстве скважин применяют центраторы, турбулизаторы и комбинированное устройство – центратор-турбулизатор [3].

Данные устройства представляют собой жесткие цельнокорпусные центраторы с лопастями спиралеобразной формы. Позиционируются как устройства, объединяющие технические характеристики как классических центраторов, так и турбулизаторов. Данные центраторы изготавливаются из металлов, полимерных и композиционных материалов, могут иметь роликовые устройства для снижения сил трения при спуске колонны.

Целью данной статьи является сравнительный анализ прочностных характеристик отечественного, произведенного компанией «Механический завод», центратора-турбулизатора и зарубежного аналога производства фирмы «Matrix» также, как и конкурент, широко распространенного в нефтепромысле.

В статье приведены результаты анализа напряженно-деформированного состояния центраторов-турбулизаторов, оценки их статической прочности, представлена оценка запаса прочности центраторов.

Анализ форм центраторов-турбулизаторов

Для анализ напряжено-деформированного состояния центраторов необходимо знать механические характеристики материалов. Для получения информации о характеристиках отечественного устройства было заключено соглашение с предприятием «Механический завод» о предоставлении нам необходимых данных для проведения исследования. С зарубежным аналогом («Matrix») были проведены испытания образцов полимера центратора на растяжение и сжатие. Эксперименты проведены на механической разрывной испытательной машине Instron 1185: испытания на растяжения проводились в соответствии с ГОСТ 11262-2017 «Пластмассы, метод испытания на растяжение (ISO 527-2:2012)»; Испытания на сжатие проводились в соответствии с ГОСТ 4651-2014 «Пластмассы, метод испытания на сжатие (ISO 604:2002)». В таблице 1 представлены необходимые материальные характеристики образцов.

*Таблица 1*

*Прочностные характеристики для материалов центраторов-турбулизаторов*

«Механический завод»	«Matrix»
модуль Юнга $E = 21 \cdot 10^8$ Па, коэффициент Пуассона $\mu = 0,31$ , предел текучести $\sigma_t = 250$ МПа.	модуль Юнга $E = 9,3 \cdot 10^8$ Па, коэффициент Пуассона $\mu = 0,35$ , предел текучести $\sigma_t = 100$ МПа.

Для построения модели отечественного центратора воспользовались предоставленными чертежами реального центратора. Чтобы построить пространственную 3D-модель зарубежного центратора потребовалось измерить габариты и формообразующие элементы изделия, центратор состоит из трех частей: тело центратора с винтообразными лопастями и два торцевых кольца с переменным внутренним профилем. От этих узлов зависят функциональные характеристики центратора-турбулизатора, например, форма лопастей обеспечивает прохождение интервалов сужения ствола и позволяет эффективно осуществлять турбулизацию тампонажного раствора, а переменный внутренний профиль колец способствует попаданию рабочей среды в полость между центратором и трубой, тем самым уменьшается трение и облегчается вращение изделия относительно трубы [2].

Затем при помощи САД-системы автоматизированного проектирования SolidWorks были получены цифровые пространственные сборки изделий, полностью удовлетворяющие по форме и размерам натурным изделиям. Перед проведением расчетов необходимо знать, какие нагрузки и в каком направлении действуют на центратор. В момент спуска обсадной колонны в скважину, на центра-тор в основном действуют две нагрузки, это осевая, когда центратор врезается в породу в осевом направлении, либо под углом и радиальная нагрузка, когда ребра центратора соприкасаются с горной породой при переходе на горизонтально или вертикально-горизонтальные интервалы скважины.

Для проведения эксперимента каждому из центраторов были приложены одинаковые нагрузки:

- в радиально направлении 800 кг ( $F_r = 7845$  Н),

- в осевом направлении 190 кг ( $F_a = 1863$  Н).

Компьютерное моделирование и конструирование позволяет проводить анализ зависимости свойств материала центратора от особенностей структуры, проводить оценку влияния формы и геометрии на НДС. Для создания расчетной модели применялся комплекс метода конечных элементов ANSYS.

По результатам расчётов, произведенных в программном комплексе метода конечных элементов ANSYS, средние расчетные значения напряжений по критерию Мизеса в теле отечественного центратора варьируются в пределах 120-160 МПа, когда у зарубежного варьируется от 50 до 60 МПа.

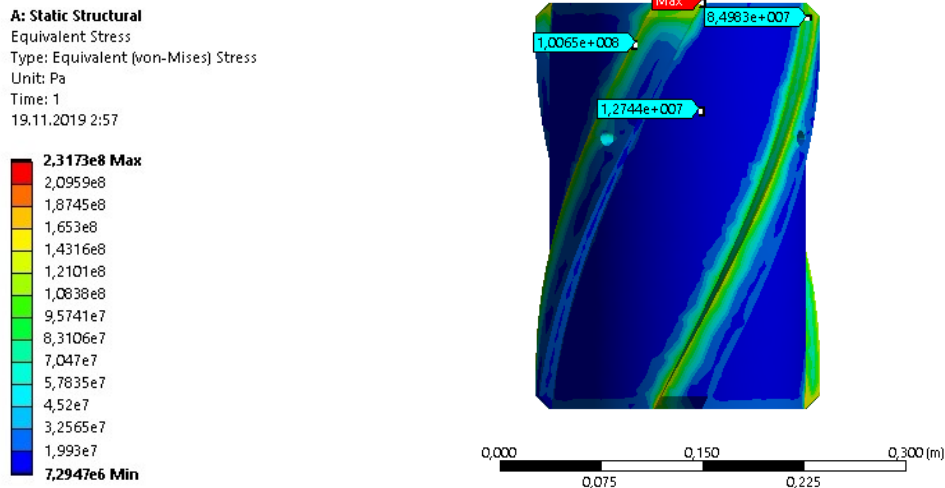


Рис. 1 Поля эквивалентных напряжений расчетной модели по критерию Мизеса «Механический завод»

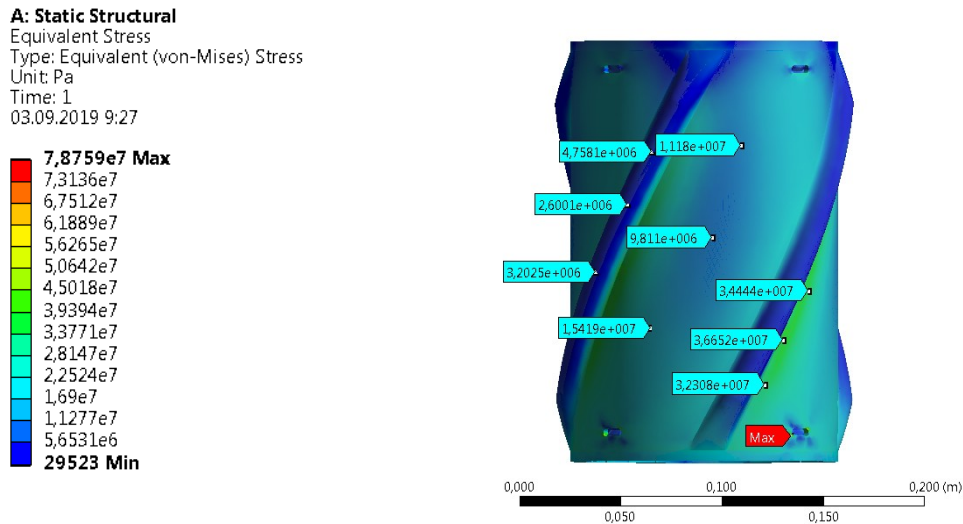


Рис. 2 Поля эквивалентных напряжений расчетной модели по критерию Мизеса «Matrix»

#### Анализ результатов

В результате эксперимента, проведенного с помощью метода конечных элементов, можно сделать следующие заключения:

Условие прочности выполняется для каждого из образцов центраторов: «Механический завод» максимальное напряжение по критерию Мизеса  $\sigma_m = 231$  МПа ( $\sigma_t = 250$  МПа); у «Matrix» максимальное напряжение составляет  $\sigma_m = 79$  МПа ( $\sigma_t = 100$  МПа);

Несмотря на то, что условие прочности выполняется для каждого из центраторов, запас прочности у отечественного центратора меньше, чем у конкурента;

Картина распределения напряжений в теле расчетной модели демонстрирует явные центраторы напряжения в стыках лопаток к телу центратора производства «Механический завод».

#### Вывод

Исходя из полученных при расчете модели данных, видим, что наибольшему напряжению и деформации преимущественно подвергаются участки лопаток центраторов-турбулизаторов переходящих непосредственно в тело

центратора. В этих областях высока вероятность появления дефектов. Следует отметить, что каждый из образцов справился с заданной нагрузкой и сохранил запас прочности материала.

Исследование материалов и конструкций, из которых изготовлены центраторы-турбулизаторы фирм: «Механический завод» и «Matrix», является задачей перспективной и способствует развитию базы устройств способствующих качественной цементации обсадных колонн при строительстве скважин.

#### Литература

1. Ашрафьян М.О., Булатов А.И. Влияние технологических факторов на качество цементирования скважин / Всерос. науч.-исслед. ин-т организации, управления и экономики нефтегаз. пром-ти. – М., 2000 – 55 с.
2. Лихущин А.М. Анализ промысловых исследований движения столба тампонажного раствора в колонне обсадных труб // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и море. 2011. – № 9. – С. 51-54.
3. Peckins O., Akhideno M., Faugeras H. New centralizers improve horizontal well cement-ing by 100% over conventional centralizers in the niger delta basin // SPE Production and Symposium. 24-27 March. Oklahoma City, 2001. 67198-MS SPE Conference Paper. DOI: 10.2118/67197-MS.
4. Официальный сайт компании Механический завод [Электронный ресурс]. – URL.:<https://www.mz-orisk.ru/products/civil/tsentratory-turbulizatory/>.
5. Официальный сайт компании Matrix [Электронный ресурс]. – URL.:<https://www.matrixengineered.com/products-services/well-construction/max-r-low-friction-centralizers>

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ

С. А. Цедрик

Научный руководитель - профессор Л.А. Саруев

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Влияние гидратообразования на объемы производимого газа, транспортируемого в магистральный газопровод.

Газ, по пути от скважины до установки комплексной подготовки газа (УКПГ), преодолевает изменения в давлении, понижение температуры. Когда температура понизится до температуры гидратообразования, то начинают образовываться кристаллогидраты, которые уменьшают площадь сечения в газопроводе. Это приводит к тому, что снижается производительность скважины. При обильном гидратообразовании, образуется пробка в шлейфе, которая сокращает проход газа по трубе. Гидратная пробка является серьезной аварией, ее ликвидация является дорогостоящей процедурой, требующая необходимых знаний и времени. Гидратообразование представляет собой соединение воды и углеводородов. По виду гидраты похожи на мокрый спрессованный снег. Факторы, которые влияют на образования гидратов- температура газа, его давление, степень насыщения газа водой. Гидратообразование образуется только тогда, когда температура газа, снижается ниже температуры точки росы. В таких условиях пары воды в газе начинают конденсироваться. Гидратные пробки при изменении термодинамического равновесия легко распадаются. Это связано с тем, что гидраты являются нестойкими химическими соединениями. Если же температурный режим не будет изменяться на протяжении определенного времени, то накопленный в шлейфе гидрат может находиться там длительное время. Чтобы избежать этого, необходимо заранее знать возможные места образования пробок, а также условия их возникновения. В 1934 г. американский ученый Хаммершмидт Е. Г. впервые заявил о явлении гидратообразования и указал, что газовые гидраты образуют пробку в трубопроводе, которая перекрывает проход газа и может привести к возможной аварии на промысле [3]. Наибольшую опасность представляет образование гидрата на предохранительных клапанах и прочей арматуры, так как гидратообразование уменьшает рабочую площадь сечения трубы, через нее, что приводит к полному перекрытию прохода трубопровода. Чем больше воды и гидратообразователя поступает, тем быстрее увеличивается гидратная пробка. В шлейфе возможно образование нескольких пробок. [1]

Места образования гидратов:

- штуцеры после редуцирования газа с давлением не более 6 Мпа и температурой менее 15 градусов, а также сепараторы и обвязка перед входом в сепаратор;
- обратные клапаны, задвижки, участки замера температуры;
- места, где скорость газового потока подвергается резкому изменению;
- прямолинейные участки газопроводов.

Образование гидратов в них, также зависит от скорости потока.

Способы устранения гидратообразования:

- нарушить равновесие гидратов, путём сбрасывания давления за пробкой;
- отогрев трубопровода паром или горячей водой.

Впрыскивание жидкого метанола в трубопровод. Метанол — это ингибитор, который способен понижать температуру гидратообразования, разрушает кристаллы и гидратные пробки.

В зависимости от расположения, внешних условий, размеров пробки происходит выбор технологии устранения гидратообразования. Если проход через трубопровод ещё остался, то через входные штуцера вводится ингибитор. Если же пробка сплошная и прохода по трубе нет, но ее размеры не велики, то также можно ввести ингибитор. Если длина пробки очень большая, то метанол вводят через окна в трубопроводе, затем окна завариваются. При отрицательной температуре вода, образовавшаяся в результате разложения гидратообразования,