

4. Генератор струйный гидроимпульсный для обработки скважин : полез. модель RU 171999 / Ю. Г. Дублистов, Н. Х. Мусин, Б. М. Кириллов, С. Н. Корнеев, В. В. Якушин, Д. Ю. Маллабаев, С. А. Бобров. – Оpubл. 26.06.2017.
5. Гидравлический вибратор для обработки скважин : полез. модель RU 173616 / Ю. Г. Дублистов, Н. Х. Мусин, Б. М. Кириллов, С. Н. Корнеев, Д. Ю. Маллабаев, С. А. Бобров. – Оpubл. 04.09.2017.
6. Технология и технические средства улучшения гидродинамической связи скважины с пластом / Н. А. Шамов [и др.] // Нефтегазовое дело. – 2006. – Т. 4, № 1. – С. 47–57.

УДК 622.276.66

ОЦЕНКА ЦЕЛОСТНОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА

А. М. Жуковский, А. И. Малашенко

*РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»
БелНИПИнефть», г. Гомель*

Эффективность работы скважин во многом зависит от методов их крепления и цементирования. Качественное цементирование должно надежно разобщить продуктивные пласты от водоносных, укрепить склонные к обвалам породы, предохранить от коррозии обсадную колонну и повысить ее несущую способность и долговечность. В случае некачественного цементирования ущерб может достигать больших значений, вплоть до полной потери скважины. Качественное разобщение пластов в настоящее время является важной задачей при обеспечении долговечности и продуктивности скважин.

С целью повышения нефтеотдачи продуктивных пластов и стимуляции охваченных заводнением скважин используются различные методы интенсификации, связанные с повышением перепада давления, что приводит к увеличению напряженно-деформированного состояния цементного кольца скважины и нарушению герметичности заколонного пространства.

Одним из наиболее часто применяемых и эффективных методов интенсификации притока является создание обширной сети искусственных трещин в пласте и активация фильтрации в естественных трещинах с помощью гидроразрыва пласта.

Сущность гидравлического разрыва пласта в том, что посредством закачки жидкости при высоком давлении происходит раскрытие естественных или образование искусственных трещин в продуктивном пласте и при дальнейшей закачке песчано-жидкостной смеси или кислотного раствора расклинивание образованных трещин с сохранением их высокой пропускной способности после окончания процесса и снятия избыточного давления [1].

Целью данной работы является оценка вероятности возникновения и развития трещин растяжения в цементном камне при увеличении давления в скважине во время проведения гидроразрыва пласта.

В ходе выполнения работы решались следующие задачи: выбор математической модели, описывающей свойства материала, проверка адекватности выбранной модели при испытаниях на растяжение «бразильским тестом», построение геометрической модели скважины и околоскважинного пространства, анализ зон разрушения.

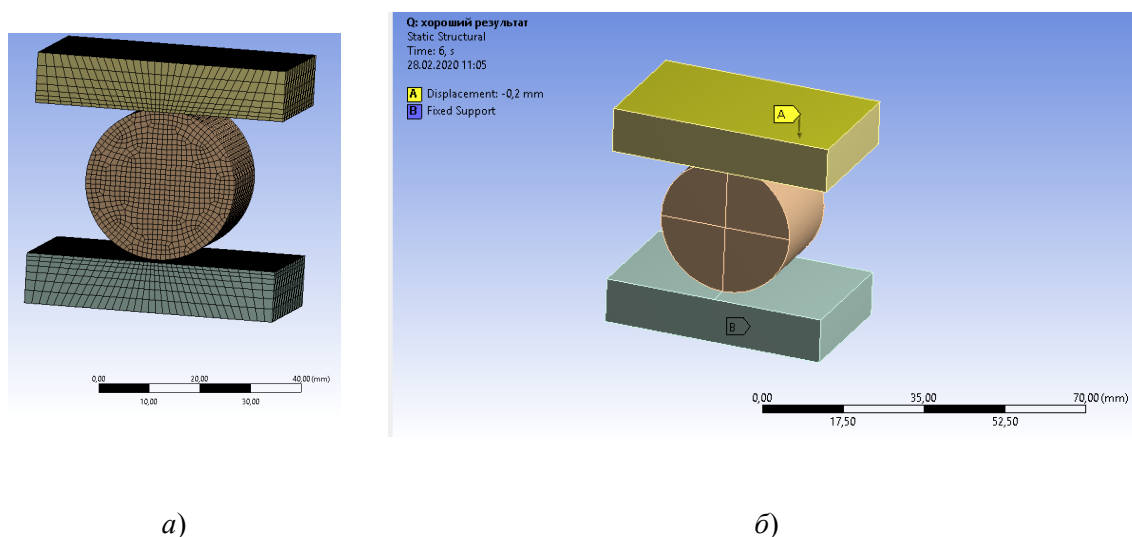
Построение геометрии и дальнейшее моделирование осуществлялось в студенческой версии ПК ANSYS, имеющей ограничение до 32000 конечных элементов.

Для описания свойств материала цементного камня была выбрана математическая модель, ориентированная на описание упруго-хрупкого поведения бетона, Вильяма и Варнке, используемая совместно с конечным элементом SOLID65 [2]. SOLID65 – восьми-узловой конечный элемент, специально предназначенный для моделирования бетона и железобетона, способного к растрескиванию при растяжении и дроблению при сжатии.

Проверка адекватности выбранной модели осуществлялась путем сравнения результатов, полученных при лабораторных исследованиях образцов по определению предела прочности на растяжение согласно ГОСТ 21153.3–85, с результатами этих же экспериментов на модели.

Расчетная модель для «бразильского теста» представлена цилиндрическим образцом и двумя плитами, построенная сетка содержит 30000 элементов. В качестве граничных условий задавалось перемещение верхней плиты и жесткая заделка основания нижней плиты (рис. 1).

Материалом для верхней и нижней плит была выбрана сталь, имеющаяся в библиотеке ANSYS. Образец цемента – модель бетона Вильяма и Варнке, с заданием модуля Юнга, коэффициента Пуассона, предела прочности при растяжении, коэффициентов передачи сдвиговых напряжений при открытой и закрытой трещине.



а)

б)

Рис. 1. Расчетная модель:

а – конечно-элементная модель; б – граничные условия модели

В результате моделирования были получены значения распределений главных напряжений в образце. На графике (рис. 2) можно увидеть линейное увеличение значения главного максимального напряжения до предела прочности при растяжении и потерю устойчивости на следующей стадии нагружения.

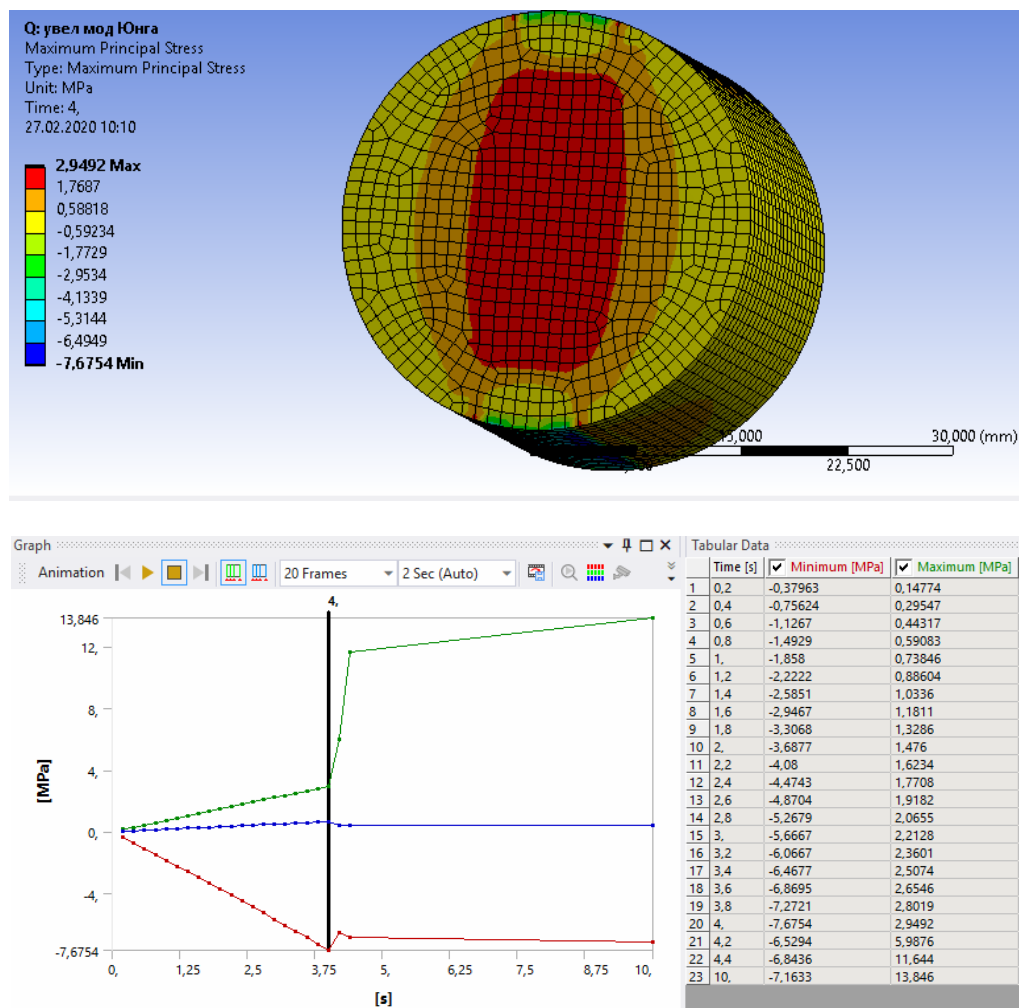


Рис. 2. Распределение главного максимального напряжения

Значение максимального главного напряжения в момент разрушения совпадает с заданным пределом прочности при растяжении, а усилие при разрушении на модели имеет отклонение $< 7\%$ от значения силы, полученного при определении предела прочности на растяжение согласно ГОСТ 21153.3–85. На основании полученных результатов можно говорить об адекватности используемой модели.

Следующим этапом является построение геометрической модели, формирование сетки конечных элементов, определение свойств материалов и задание граничных условий модели скважины и околоскважинного пространства, включающего обсадную колонну, цементный камень и горную породу (рис. 3, а).

В качестве граничных условий задавались: жесткая заделка горной породы, ограничение движения по нормали для поверхностей модели, постепенное увеличение давления на внутреннюю поверхность обсадной колонны от 0 до 70 МПа (рис. 3, б).

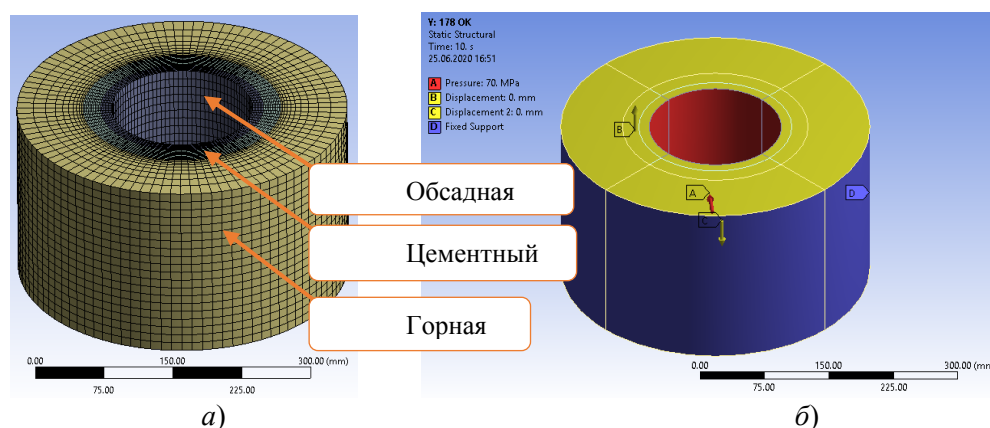


Рис. 3. Расчетная модель:

a – конечно-элементная модель; *б* – граничные условия модели

На рис. 4, *a* представлено распределение значения главного максимального напряжения при давлении 70 МПа на внутреннюю поверхность обсадной колонны.

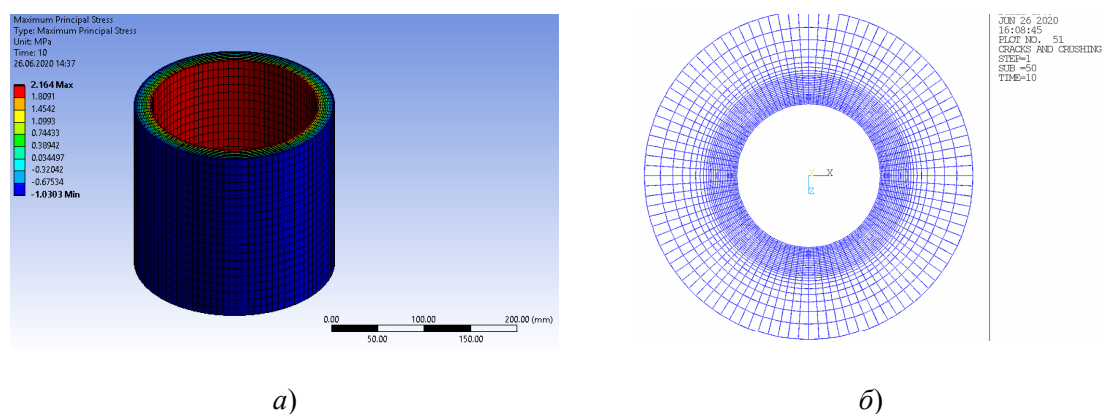


Рис. 4. Результаты моделирования:

a – распределение главного максимального напряжения;
б – конечно-элементная модель

На основании построенной модели можно сделать вывод, что для заданных условий и выбранной модели материала при давлении на внутреннюю поверхность обсадной колонны 70 МПа не достигается предельное состояние, при котором происходит образование трещин растяжения (рис. 4, *б*).

В дальнейшем планируется оценить влияние изменения упругих и прочностных параметров цементного камня на величину возникающих напряжений, учесть эксцентричное расположение обсадной колонны.

Построенную модель можно использовать для подбора оптимальной рецептуры тампонажного раствора, параметры которого должны соответствовать ожидаемым нагрузкам на обсадную колонну при проведении гидроразрыва пласта.

Литература

1. Меликберов, А. С. Теория и практика гидравлического разрыва пласта / А. С. Меликберов. – М. : Недра, 1967. – 139 с.
2. Willam K. J., Warnke E. D. Constitutive Model for the Triaxial Behavior of Concrete. Proceedings, International Association for Bridge and Structural Engineering. – Vol.19. ISMES. Bergamo, Italy. R.174 (1975).