

0.1. *Сухинина К.С.* Численное моделирование деградации призабойной зоны пласта при эксплуатации скважины.

В работе рассматривается задача численного моделирования деградации призабойной зоны пласта при эксплуатации скважины, что критически важно для обеспечения безопасности захоронения углеводородов, поскольку технологические воздействия могут привести к повреждению околоскважинной зоны.

В процессе эксплуатации и обслуживания скважина подвергается существенным нагрузкам, вызванным резкими перепадами давления и температуры, связанными с закачкой жидкого CO₂. На значительных глубинах под действием больших гидростатических сжимающих напряжений и повышенных температур горные породы и цемент обретают свойство пластичности. Более того, экспериментальные исследования показывают, что затвердевший цемент и прилегающие горные породы проявляют пороупругий эффект. Поэтому для описания деформирования обсаженного и зацементированного ствола скважины применяется модель, учитывающая термopopoупругo-пластическое деформирование. Численные расчеты проводятся с учётом накопления повреждений и деградации прочностных свойств, изменения температуры, давления жидкости и контраста горных напряжений в пласте. Представленная работа является дальнейшим развитием подходов к моделированию скважины, изложенных в [1].

Для численного решения задачи применена явная схема метода конечных элементов, реализованная с помощью библиотеки deal.II. Явные схемы позволяют вычислять новое состояние системы на каждом шаге по времени на основе предыдущих значений, что эффективно для сложных нелинейных моделей. В данной работе источником нелинейности являются эффекты поропластичности в повреждаемом материале. Для повышения скорости расчетов напряжения интегрируются с пониженным порядком [2]. Для подавления паразитического режима «песочных часов» применяется метод стабилизации Ганценмюллера [3].

Верификация построенного численного алгоритма проведена для различных сценариев нагружения в предположении плоской деформации. На первом этапе решена стационарная задача о деформировании трёхслойной трубы из термopopoупругих материалов. Построенное численное решение сравнено с точным аналитическим. Далее, получено численное решение о нестационарном деформировании однослойной трубы из термopopoупругого материала; также обнаружено хорошее соответствие результатов с имеющимся точным решением. На финальном этапе решена задача об упругопластическом деформировании толстостенной трубы, нагруженной

внутренним давлением, что соответствует процессу автофреттажа. Установлено, что поля напряжений, рассчитанные по методу конечных элементов, соответствуют полям, описанным в литературе.

С помощью комплекса программ установлены закономерности деформирования и разрушения призабойной зоны для ряда типовых сценариев. Созданный вычислительный комплекс и полученные результаты исследований можно использовать при реализации проектов захоронения CO₂. Детальное знание напряженно-деформированного состояния позволит рационально определить допустимые параметры закачки.

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Шутов А. В.
Со-руководитель — Валов А. В.

Список литературы

- [1] VALOV A. V., GOLOVIN S. V., SHCHERBAKOV V. V., ET AL. Thermoporoelastic model for the cement sheath failure in a cased and cemented wellbore // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2022. Vol. 210. N. 109916. P. 26–46.
- [2] WRIGGERS P. Nonlinear finite element methods / Springer Science & Business Media, 2008.
- [3] GANZENMÜLLER G. C. An hourglass control algorithm for Lagrangian smooth particle hydrodynamics // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 2015. Vol. 286. P. 87–106.