УДК 622.276.7

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ОГРАНИЧЕНИЯ ВОДОПРИТОКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ

MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF LIMITING WATER INFLOW USING GROUTING SOLUTIONS

Демидова Полина Игоревна
аспирант кафедры
бурение нефтяных и газовых скважин,
Самарский государственный технический университет
demidovapolina7@gmail.com

Липатов Александр Владимирович
доктор наук кафедры
бурение нефтяных и газовых скважин,
Самарский государственный технический университет
Lipatovalexander@mail.ru

Аннотация. В настоящей работе предлагается вариант математической модели процесса ограничения водопритока, учитывающей механические свойства горных пород, минимальное горизонтальное напряжение, забойное давление и радиус скважины. Данная модель позволяет определить расчётную ширину трещины на заданном удалении от стенки скважины и объем образованной трещины с учетом фильтрации тампонажного раствора в пласт.

Ключевые слова: горная порода, фильтрация, математическая модель, тампонажный раствор, трещина.

Demidova Polina Igorevna
Postgraduate Student of the Department
Drilling of Oil and Gas Wells,
Samara State Technical University
demidovapolina7@gmail.com

Lipatov Alexander Vladimirovich
Doctor of Science of the Department
Drilling of Oil and Gas Wells,
Samara State Technical University
Lipatovalexander@mail.ru

Annotation. In this article, a variant of the mathematical model of the process of limiting water inflow is proposed, taking into account the mechanical properties of rocks, minimum horizontal stress, bottom-hole pressure and the radius of the well. This model allows us to determine the calculated crack width at a given distance from the well wall and the volume of the formed crack, taking into account the fluid loss of the grouting solution into the formation.

Keywords: rock, fluid loss, mathematical model, cementing slurry, crack.

Процесс цементирвания скважин является технологически сложным процессом при строительстве скважины. Это обусловлено высокими рисками, возникающими при креплении скважины, такими как некачественная крепь, аварии и осложнения из-за нарушения технологии и так далее.

В настоящее время нефтегазодобывающие компании предъявляют высокие требования к качеству крепления обсадных колонн, в том числе и к самому процессу закачки и продавки цементного раствора, для исключения возможного гидравлического разрыва пласта из-за завышенных давлений указанного процесса.

Решение проблемы – разработка гидравлической программы цементирования (ПЦ). В настоящее время, ПЦ не позволяет избавиться от аварий и осложнений. Это обусловлено тем, что при составлении плана работ не учитывается проникновение фильтрата тампонажного раствора в пласт и раскрытие естественных трещин в горной породе из-за высоких значений рабочего давления.

С целью безаварийного и качественного проведения работ в трещиноватых породах, предлагается математическая модель процесса цементирования скважин, позволяющая определить расчётную ширину трещины на заданном удалении от стенки скважины и её объем, с учетом фильтрации тампонажного раствора в пласт. Разрабатываемая математическая модель учитывает механические свойства горных пород, минимальное горизонтальное напряжение, забойное давление и радиус скважины.

За счёт тектонических сил порода находится в напряженном состоянии, причем любой элементарной объем горной породы при естественном залегании испытывает всестороннее сжатие взаимно ортогональными главными напряжениями. Одной из причин возникновения поглощения в процессе крепления скважин является превышение гидростатического давления в скважине над минимальным горизонтальным напряжением.

Установлено, что высокие давления нагнетания тампонажного раствора способствуют возникновению и расширению естественных трещин горных пород.

Моделирования процесса раскрытия трещин в скважине производится с помощью метода конечных элементов.

Необходимый набор входных параметров для применения в математической модели расчёта прогнозируемой трещины включает:

1. Механические свойства горной породы,
2. Горное давление,
3. Пористость горной породы,

4. Поровое давление,
5. Минимальное горизонтальное напряжение
6. Проницаемость горной породы.

Для оценки корректности предлагаемой теории о раскрытии и распространении естественной трещины в скважине был поставлен численный эксперимент в программном продукте ABAQUS, который использует метод конечных элементов. Результат эксперимента – кольцевые напряжения повышаются после создания трещины и при увеличении дальности установки в ней цементной пробки. Также, увеличение раскрытия трещины приводит к уменьшению растягивающих напряжений на конце трещины и обуславливает более сложное ее распространение.

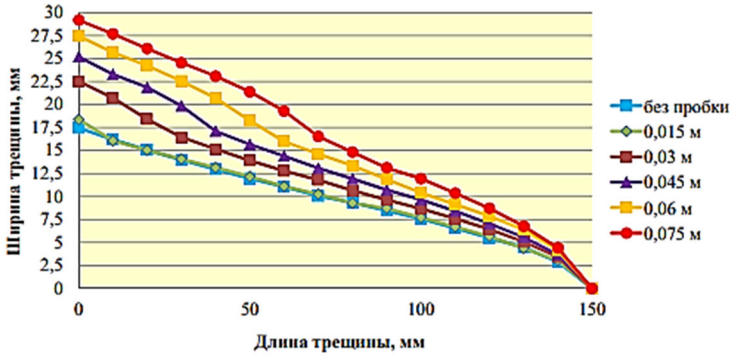

Рисунок 1 – Ширина трещины до и после установки пробки на различном удалении от стенки скважины

Исследование процесса раскрытия трещины в скважине, с применением метода конечных элементов, показало, что при более удаленном расположении цементной пробки трещина обладает меньшей вероятностью раскрыться в ширину за счёт увеличенных напряжений, закрывающих трещину, и развиться в длину из-за уменьшенных растягивающих напряжений на конце трещины. Отметим, что создание пробки у устья трещины оказывает наименьшее влияние на повышение кольцевых напряжений и уменьшение растягивающих.

Список литературы:

1. Галкин В.И. Статистическое моделирование расширяющегося тампонажного состава / В.И.Галкин, А.А.Куницких // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017. – Т. 16. – № 3. – С. 215–244.
2. Чернышов С.Е. Результаты внедрения инновационной технологии цементирования нефтяных скважин на месторождениях Казахстана / С.Е.Чернышов, Н.И.Крысин, А.А.Куницких // Нефтяное хозяйство. – 2012. – № 8. – С. 108–110.
3. Davis J.C. Statistics and data analysis in geology. John Wiley & Sons, 2002. – 656 p.
4. Разработка математических моделей управления технологическими параметрами тампонажных растворов / С.Е. Чернышов [и др.] // Записки Горного института. – 2020. – Т. 242. – С. 179–190.
5. Липатов А.В. Математическая модель раскрытия трещины в процессе упрочнения ствола скважины / А.В. Липатов // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «Ашировские чтения». – 2016. – С. 258–264.
6. Подъячев А.А. Обоснование и разработка математической модели оценки устойчивости ствола наклонно направленных и горизонтальных скважин : дис. … канд. техн. наук. (25.00.15). – СПб., 2015. – 101 с.

List of references:

1. Galkin V.I. Statistical modeling of expanding cement composition / V.I. Galkin, A.A. Kunitskikh // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil and gas and mining. – 2017. – Vol. 16. – № 3. – P. 215–244.
2. Chernyshov S.E., Krysin N.I., Kunitskikh A.A. Results of the implementation of innovative technology for cementing oil wells in the fields of Kazakhstan // Oil industry. – 2012. – № 8. – P. 108–110.
3. Davis J.C. Statistics and data analysis in geology. John Wiley & Sons, 2002. – 656 p.
4. Development of mathematical models for controlling technological parameters of cement slurries / S.E. Chernyshov [et al.] // Notes of the Mining Institute. – 2020. – Vol. 242. – P. 179–190.
5. Lipatov A.V. Mathematical model of crack opening in the process of wellbore hardening / A.V. Lipatov // Collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference «Ashirov Readings». – 2016. – P. 258–264.
6. Podyachev A.A. Justification and development of a mathematical model for assessing the stability of the trunk of directional and horizontal wells : dis. ... cand. of techn. sciences. (25.00.15). – SPb., 2015. – 101 p.