

Результаты экспериментального исследования роста глинистой корки

Н. А. Голиков^{1,2,3}*

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

² Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск,
Российская Федерация

³ Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация
* e-mail: GolikovNA@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Для определения параметров образования глинистой корки были проведены эксперименты на установке, разработанной автором в ИНГГ СО РАН. Эксперимент проведен на образце песчаника Западной Сибири. В процессе эксперимента измерялись толщина глинистой корки и проницаемость системы «образец – корка». По результатам экспериментов проведено сопоставление изменения толщины и проницаемости глинистой корки с теоретической зависимостью.

Ключевые слова: глинистая корка, проницаемость, пористость

The results of an experimental study of the mud cake growth

N. A. Golikov^{1,2,3}*

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk,
Russian Federation

² Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

³ Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: GolikovNA@ipgg.sbras.ru

Abstract To determine the formation parameters of mud cake, experiments were carried out on the installation developed by the author in IPGG SB RAS. The experiment was carried out on a sample of West Sibiria's sandstone. In the process of the experiment, the thickness of the mud cake was measured and the permeability of the «sample-cake» system. According to the results of the experiments, a comparison of the thickness and permeability of the mud cake with theoretical dependence was carried out.

Keywords: mud cake, porosity, permeability

Введение

При бурении скважин в результате взаимодействия бурового раствора (БР) с проницаемой породой формируются глинистая корка на стенке скважины и зона кольматации с одновременным проникновением фильтрата бурового раствора в пласт и формированием зоны проникновения. Несмотря на относительно малую толщину глинистой корки и зоны кольматации, их влияние на формирование зоны проникновения велико из-за низкой проницаемости относительно большинства пород. Учет таких параметров глинистой корки как ее толщина, по-

ристость и проницаемость проводится с использованием упрощенной модели однородной по толщине глинистой корки. Это допущение приводит к искажению зависимостей от времени ее толщины, пористости и проницаемости. Зависимость толщины глинистой корки от времени в общем виде описывается следующим уравнением [1,4]:

$$q(t) = A\sqrt{t} + B \quad (1)$$

где $q(t)$ – объем фильтрата бурового раствора; t – время, A и B – некоторые коэффициенты, зависящие от параметров породы и бурового раствора.

Из этого уравнения следует, что модели однородной глинистой корки зависимость толщины корки $h(t)$ от времени должна описываться такой же функцией.

На рис. 1 приведены результаты расчета толщины глинистой корки по данным об объеме фильтрата БР, прошедшего через образец, для модели однородной корки и теоретическая зависимость.

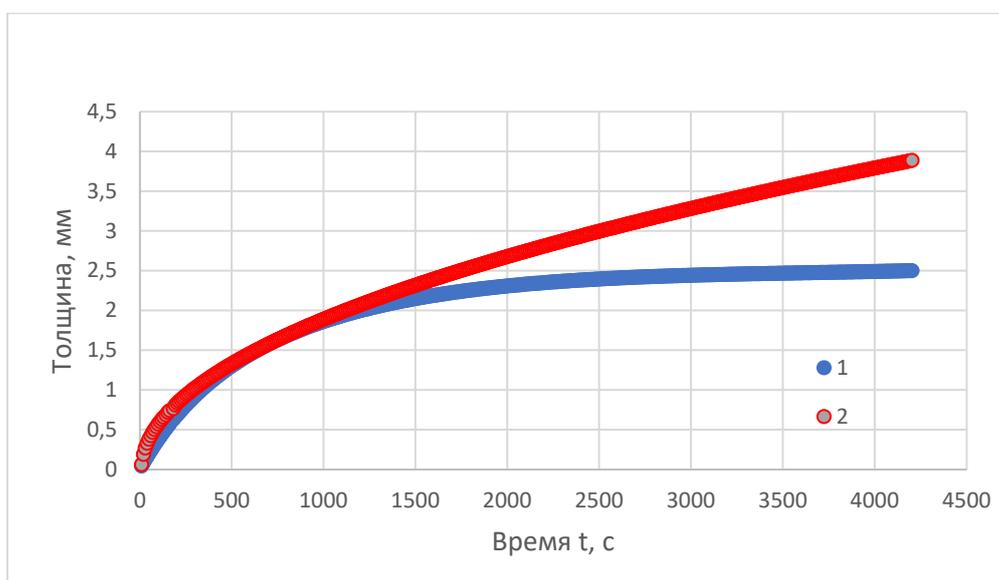


Рис. 1. Экспериментальная (1) и теоретическая (2) зависимости толщины глинистой корки от времени для однородной модели

Видно, что предположение об однородности свойств глинистой корки по толщине не выполняются. Экспериментальная зависимость с течением времени отстает от теоретической, что свидетельствует о том, что плотная слабопроницаемая корка нарастает в начальной стадии эксперимента до толщины 2мм за время примерно 1000 с. В дальнейшем ее рост сильно замедляется и практически останавливается на толщине 2.5 мм.

На рис.2 приведена фотография глинистой корки, полученной в результате эксперимента [3]. Эксперимент проведен на образце коллектора месторождения Западной Сибири с глинисто-полимерным буровым раствором. По фотографии видно изменение плотности глинистой корки по толщине: в основании корки

наблюдается максимальное уплотнение, на поверхности плотная корка превращается в суспензию.

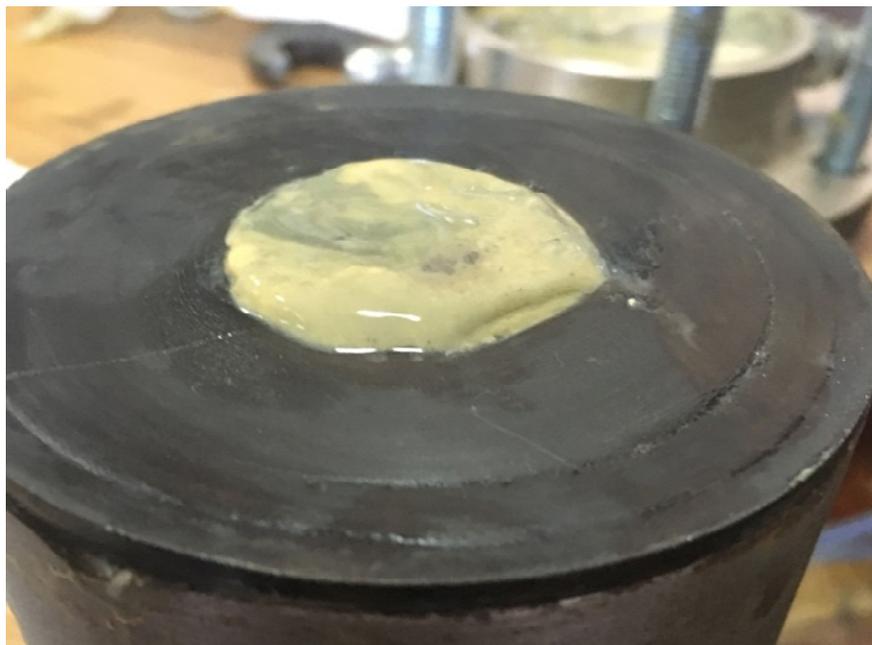


Рис. 2. Фотография глинистой корки, полученной в результате эксперимента

Ряд авторов [5] проводили исследования влияния изменения фильтрационно-емкостных свойств глинистой корки последовательным введением зависимости пористости и проницаемости от разности давлений на поверхности корки и на входе в образец. В такой модели учитывается уменьшение дифференциального давления за счет увеличения падения давления внутри корки при ее росте.

$$m(t) = \frac{m_0}{P(t)^n} \quad (2)$$

$$k(t) = \frac{k_0}{P(t)^{dn}} \quad (3)$$

- $m(t)$ – зависящая от времени t пористость глинистой корки;
- $k(t)$ - зависящая от времени t проницаемость глинистой корки;
- $P(t)$ – перепад давления в глинистой корке;
- n - показатель сжимаемости глинистой корки;
- d - коэффициент пропорциональности.

Достоверность применения таких моделей ограничивается тем, что в них появляются дополнительные параметры m_0 , k_0 , n и d , которые нужно получить по единственной экспериментальной зависимости проницаемости системы «образец–корка» от времени в процессе эксперимента. Если параметры m_0 , k_0 , можно оценить, исследуя кривую $k(t)$ в начальной стадии эксперимента, то для подбора показателя n и коэффициента d необходимы численные эксперименты.

Экспериментальная установка и методика обработки результатов

Эксперименты проводились на установке для исследования роста глинистой корки [2].

Для получения дополнительной информации о процессе роста глинистой корки в конструкцию экспериментальной установки был включен блок измерения толщины корки, состоящий из ультразвукового толщиномера и измерительного зонда.

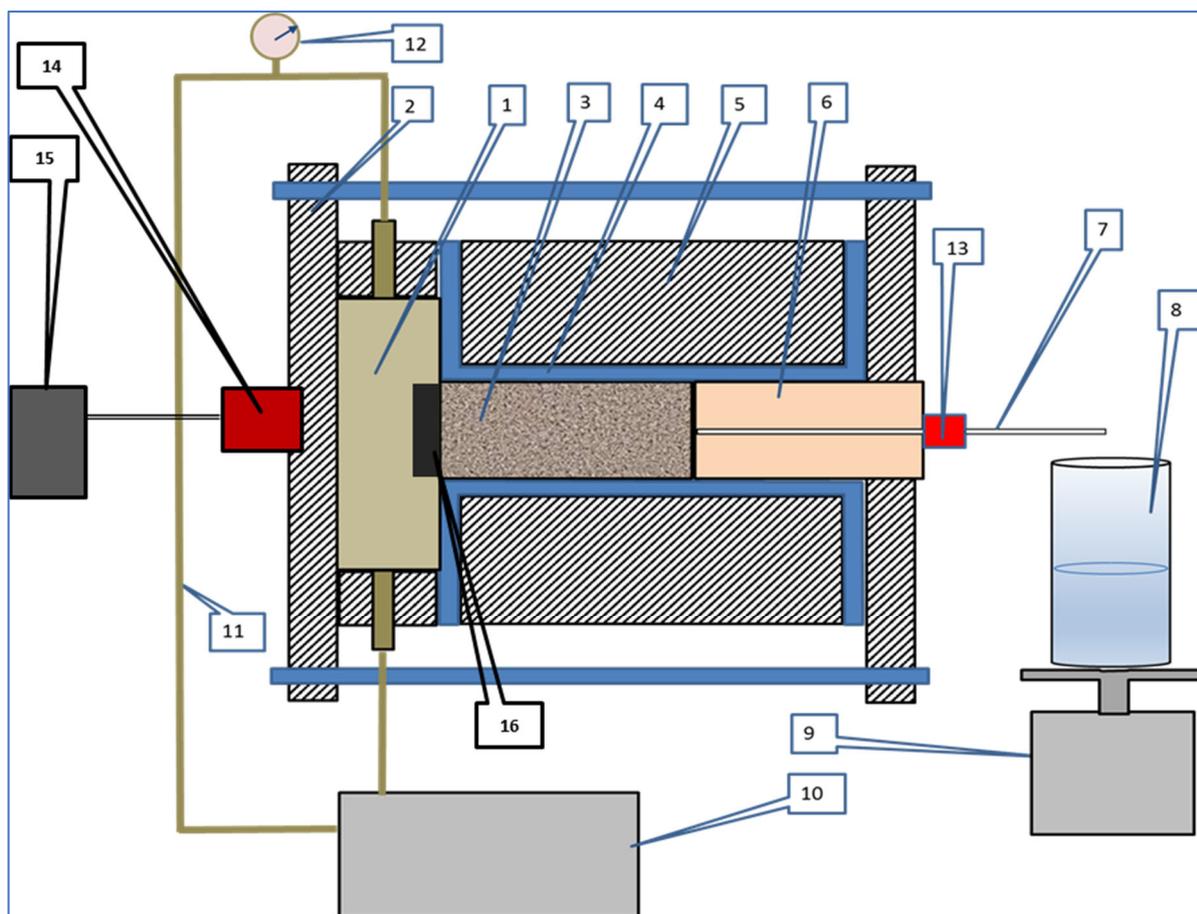


Рис. 3. Схема установки для исследования роста глинистой корки

1 – камера циркуляции раствора; 2 – фланец; 3 – образец; 4 – резиновая манжета; 5 – корпус; 6 – проставка; 7 – капилляр для сбора фильтрата; 8 – стакан; 9 – весы; 10 – циркуляционный насос; 11 – система трубопроводов; 12 – манометр; 13 – измерительная ячейка; 14 – датчик толщиномера; 15 – толщиномер; 16 – глинистая корка

Толщиномер измеряет расстояние от зонда до поверхности глинистой корки с точностью до 0.01 мм на частоте 5МГц. За счет увеличения толщины глинистой корки происходит уменьшение расстояния от зонда до поверхности глинистой корки.

Количество фильтрата бурового раствора, прошедшего сквозь образец, измеряется по его весу аналитическими весами с точностью 0.05г.

Результаты

Эксперимент с измерением толщины глинистой корки проводился на образце песчаника с пористостью 17%.

Проницаемость образца по воде измерялась на первом этапе эксперимента при фильтрации через образец минерализованной воды 25 мД.

Результаты приведены на рис.4

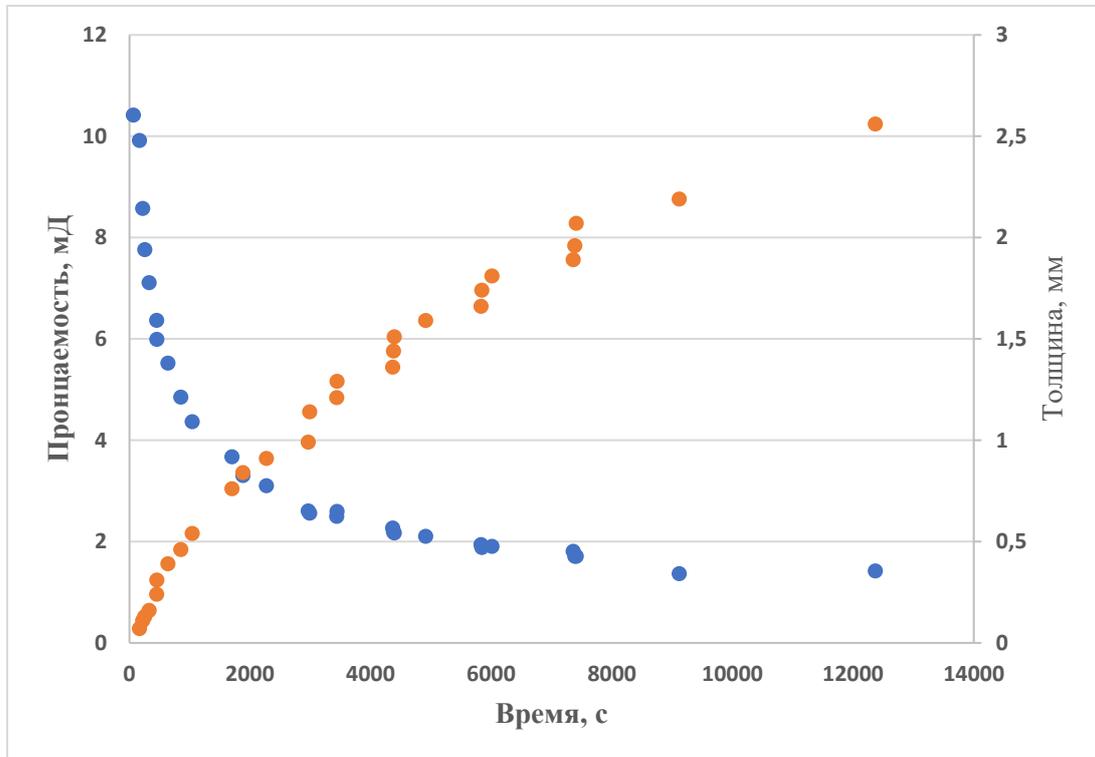


Рис. 4. Изменение проницаемости «образец-корка» и толщины глинистой корки во процессе эксперимента.

Эффективная проницаемость корки после окончания эксперимента $k_e=0.1$ мД, толщина корки $h_c=3.2$ мм, пористость корки $m_c=30\%$.

Эффективная проницаемость корки, ее толщина и проницаемость системы «образец-корка» связаны соотношением

$$\frac{h_e}{k_e} = \frac{h_o}{k_o} + \frac{h_c}{k_c} \quad (4)$$

где h_e , h_o и h_c - толщины системы «образец-корка», образца и корки соответственно;

k_e , k_o и k_c - проницаемость системы «образец-корка», образца и корки соответственно.

Изменение эффективной проницаемости глинистой корки с использованием этого соотношения приведено на рис.5

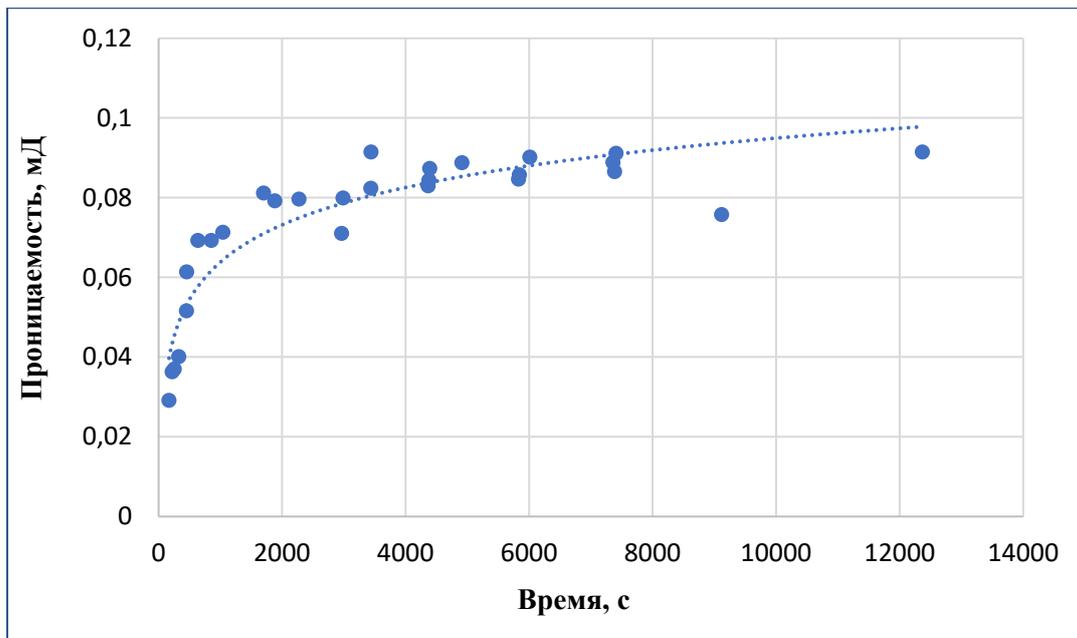


Рис. 5. Изменение эффективной проницаемости глинистой корки во процессе эксперимента

Обсуждение

Полученные результаты показывают, что при образовании глинистой корки основное влияние корки происходит в самом начале ее образования. В начальный момент градиент давления бурового раствора на стенке скважины максимален и поэтому первый слой корки уплотнен в наибольшей степени и его проницаемость минимальна. В дальнейшем, перепад давления, действующий на следующий слой, уменьшается на величину падения на первом слое корки. Это уменьшает степень сжатия глинистой корки и, соответственно, увеличивает пористость и проницаемость следующих слоев. Пропорционально уменьшается и объем фильтрата бурового раствора и, следовательно, уменьшается скорость роста глинистой корки. В некоторый момент времени следующие слои корки становятся настолько рыхлыми, что смываются циркулирующим буровым раствором и рост корки прекращается.

Заключение

Проведены экспериментальные исследования процесса образования глинистой корки, определены ее основные параметры - пористость, проницаемость и толщина (итоговая и в процессе эксперимента). Полученные результаты подтверждают предположение о неоднородности свойств глинистой корки по толщине, вызванной падением давления в фильтрующейся жидкости в ранее образованной толще корки. Учет изменения проницаемости корки в процессе ее роста имеет важное значение при решении задачи о формировании зоны проникновения. Эксперимент подтвердил возможность применения УЗ метода для измерения толщины корки в процессе ее образования, что дает новые возможности для экспериментальных исследований в этой области.

Благодарности

Автор выражает благодарность ИНГГ СО РАН и лично Ельцову И.Н. за поддержку проведенных исследований в рамках проекта FWZZ-2022-0025.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бочаров О. Б., Кушнир Д.Ю., Аналитическое решение задачи о росте глинистой корки на стенке скважины с учетом смыва // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2012. – Т.15. – № 1. – С.14–21.
2. Евменова Д.М., Голиков Н.А., Юркевич Н.В., Ельцов И.Н. Экспериментальное исследование глинистой корки в условиях циркуляции бурового раствора // Каротажник. – 2021. – Т.3 – №309 – С.100-108.
3. Ельцов И.Н., Нестерова Г.В., Кашеваров А.А. Моделирование зоны проникновения при использовании буровых растворов на водной и нефтяной основе // ПМТФ. – 2012. – Т. 53, № 4. – С. 97-104.
4. Jaffal A., Mohtar C.S. El, Gray K.E. Modeling of filtration and mudcake buildup: An experimental investigation // Journal of Natural Gas Science and Engineering – 2017. – №38. – P. 1-11.

© Н. А. Голиков, 2022