

Исследование роста несущей способности околоствольной зоны скважины во время и после вскрытия ее бурением

А.Р. Деряев✉

Научно-исследовательский институт природного газа ГК «Туркменгаз», г. Ашгабат, Туркменистан

✉ annagulyderyayew@gmail.com

Резюме: Цель – исследование несущей способности околоствольной зоны скважины во время и после вскрытия её бурением для оценки фактического состояния ствола в процессе бурения. Автор сделал прогноз количественного роста несущей способности открытого ствола скважины на основании результатов проведенных гидротестов реальной скважины X1 Восточный Челекен (Туркменистан). При бурении этой скважины после спуска 324-миллиметровой промежуточной колонны на глубину 1793 м при дальнейшем углублении скважины были последовательно произведены 6 гидроопрессовок открытого ствола при достижении скважиной глубин 1950, 2236, 2677, 3409, 3760 и 4085 м. Со временем произошла кольматация и этих горизонтов, что и подтвердилось на глубине 4085 м, когда несущая способность ствола была восстановлена. Несущая способность околоствольной зоны скважины в «подбашмачной» зоне превысила расчётное давление теоретического гидроразрыва пород раствором более чем на 60 кг/см². Рост несущей способности ствола составил 0,4509 кг/см² в сутки для верхнекрасноцветных отложений. Автор признает тот факт, что подобные исследования были проведены только в одной скважине и на одной площади, что позволяет говорить о получении только предположительного количественного результата и для конкретной скважинной ситуации. Данная работа может быть использована в качестве методики при проведении последующих исследований. Автор считает, что на бурящихся скважинах на основании последовательного проведения исследовательских работ есть возможность прогнозирования динамики увеличения несущей способности околоствольной зоны скважин, которая может быть использована при оценке состояния ствола в процессе бурения последующих скважин на данной площади.

Ключевые слова: кольматация, гидроразрыв, горная порода, дисперсная фаза, гидротест, сечение скважины, несущая способность скважины

Для цитирования: Деряев А.Р. Исследование роста несущей способности околоствольной зоны скважины во время и после вскрытия ее бурением. *Горная промышленность*. 2024;(6):173–177. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-6-173-177>

Research into the growth of bearing capacity of the near-wall zone during and after the borehole drilling operation

A.R. Deryaev ✉

State Concern “Turkmengaz”, Ashgabat, Turkmenistan

✉ annagulyderyayew@gmail.com

Abstract: The purpose of this paper is to study the bearing capacity of the near-wall zone during and after borehole drilling to assess the actual condition of the borehole during the drilling process. The author makes a forecast of the quantitative growth of the open borehole bearing capacity based on the results of hydraulic testing performed in the real X1 East Cheleken borehole (Turkmenistan). Six hydraulic pressure tests of the open borehole were performed sequentially when the borehole reached the depths of 1950 m, 2236, 2677, 3409, 3760 and 4085 m upon running the 324-mm intermediate string to the depth of 1793 m during further deepening of the borehole. Over time, wall packing also occurred at these levels, which was confirmed at the depth of 4085 m, when the bearing capacity of the borehole walls was restored. The bearing capacity of the near-wall area in the zone below the casing seat exceeded the calculated pressure of the theoretical hydrofrac by more than 60 kg/cm². The increase in the borehole bearing capacity was 0.4509 kg/cm² per day for the upper red-colored sediments. The author recognizes the fact that such studies were carried out only in one borehole and in one area, which allows us to refer to obtaining only an estimated quantitative result and only for a specific borehole condition. This work can be used as a methodology base for further studies. The author believes that it is possible to forecast the dynamics of increasing the bearing capacity of the near-wall zone of the boreholes drilled based on successive surveys, which can be used to assess the condition of the borehole during the drilling of subsequent boreholes in the area.

Keywords: wall packing, hydrofrac, rock, dispersed phase, hydraulic testing, borehole cross-section, borehole bearing capacity

For citation: Deryaev A.R. Research into the growth of bearing capacity of the near-wall zone during and after the borehole drilling operation. *Russian Mining Industry*. 2024;(6):173–177. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-6-173-177>

Введение

При вскрытии скважиной пластов горных пород в них неизбежно происходит нарушение природного равновесия и изменение характеристик отдельных фаз и компонентов исходной природной пластовой системы в пространстве и времени. В первую очередь это касается баланса давлений, изменения температурного баланса и кольматации околоствольной зоны скважины проникающей с фильтратом дисперсной фазой промывочной жидкости. Пространственно-временное и компонентное разделение промывочной жидкости в результате фильтрационных и массообменных (осмотических) процессов приводит к возникновению в околоствольной зоне скважины динамической системы зон с различными физическими свойствами (рис. 1).

Дисперсная фаза промывочной жидкости приводит к образованию на стенках скважины 1 глинистой корки 2, а проникая в околоствольную зону скважины 6, образует зону кольматации 3. В процессе продолжающегося вытеснения фильтратом бурового раствора пластовых флюидов из проницаемых пластов со временем образуется промытая зона 4 и зона внедрения (проникновения) фильтрата 5. В открытом стволе скважины процесс проникновения фильтрата в околоствольную зону идёт непрерывно, хотя и замедляется со временем [1]. По мере углубления скважины, как правило, ступенчато повышается плотность промывочной жидкости, что приводит к увеличению дифференциального давления в системе «скважина – пласт», что, в свою очередь, способствует продолжению проникновения фильтрата. После крепления скважины обсадной колонной этот процесс прекращается, зона проникновения фильтрата размывается. Однако полного восстановления природного равновесия в околоствольной зоне не происходит и вокруг ствола скважины возникает зона необратимых изменений физических свойств пласта [2; 3].

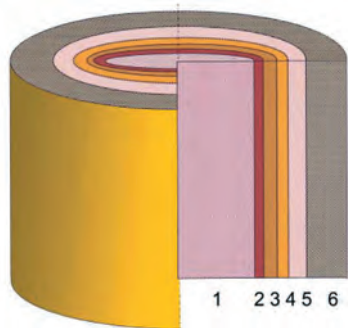


Рис. 1
Строение околоствольной зоны скважины: 1 – стенки скважины; 2 – глинистая корка; 3 – зона кольматации; 4 – промытая зона; 5 – зона внедрения фильтрата; 6 – околоствольная зона скважины

Fig. 1
Structure of the near-wall zone of the borehole: 1 – borehole walls; 2 – clay crust; 3 – wall packing zone; 4 – washed zone; 5 – filtrate injection zone; 6 – near-wall zone of the borehole

Проникновение фильтрата промывочной жидкости в пласт и кольматация его порового пространства дисперсной фазой промывочной жидкости существенно изменяют физические свойства пласта в околоствольной зоне и в особенности проницаемость, а также увеличивают несущую способность пласта [4]. Под несущей способностью в данном случае понимается способность пласта противодействовать гидростатическому и гидродинамическому давлению со стороны скважины.

Для определения величины несущей способности открытого ствола при бурении скважин проводят гидротесты [5; 6]. В настоящее время практикуется два вида гидродинамических исследований скважин:

- гидропрессовка открытого ствола скважины на давление, эквивалентное максимальной плотности промывочной жидкости при бурении под последующую обсадную колонну;
- гидропрессовка открытого ствола скважины на давление, соответствующее давлению раскрытия трещин в наиболее слабом сечении скважины.

В последнем случае в загерметизированной скважине постепенно повышается избыточное давление с фиксацией его роста каждые 30 с. Если при постоянной подаче насосного агрегата давление в течение 90 с не увеличивается, т.е. три последние точки замера лежат на горизонтальной прямой, значит давление в скважине достигло величины давления раскрытия трещин пласта в наиболее слабом сечении скважины.

После достижения в скважине давления раскрытия трещин пласта нагнетание промывочной жидкости прекращается и фиксируется восстановление давления до его стабилизации (кривая восстановления давления). Восстановленное избыточное давление является величиной несущей способности открытого ствола. На рис. 2 приведен классический график гидропрессовки открытого ствола скважины.

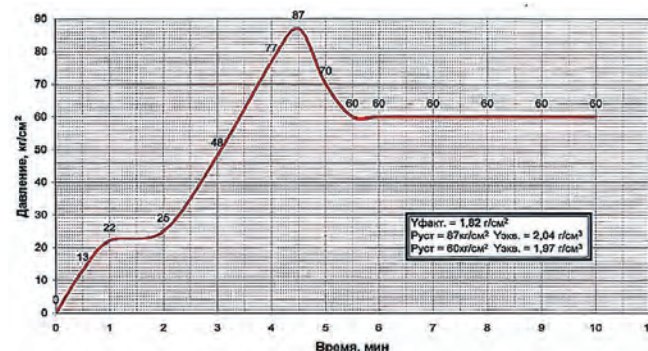


Рис. 2
Гидропрессовка открытого ствола по скважине Y1 месторождения Северный Готурдепе

Fig. 2
The hydraulic pressure tests in the open walls of borehole Y1 at the North Goturdepe field

В настоящее время на практике в Туркменистане для описания расчётной величины гидроразрыва пород используются три основные формулы:

$$P_{ГРВ} = (0,83 \cdot (H \cdot 0,1)) + (P_{пл} \cdot 0,66), \quad (1)$$

$$P_{ГРР} = (1,08 \cdot (H \cdot 0,1)) + (P_{пл} \cdot 0,66), \quad (2)$$

$$P_{ГР} = (1,27 \cdot (H \cdot 0,1)) + (P_{пл} \cdot 0,5), \quad (3)$$

где $P_{ГРВ}$ – давление гидроразрыва пород водой, кг/см²; $P_{ГРР}$ – давление гидроразрыва пород раствором, кг/см²; H – глубина скважины, м; $P_{пл}$ – пластовое давление, кг/см².

Результаты

Из практики бурения скважин в Западной части Туркменистана известно, что часто фактическая несущая способность открытого ствола оказывается выше расчётной величины гидроразрыва пород [7; 8]. Известно также, что глинистые пласты, особенно красноцветных отложений, практически не подвержены гидроразрыву. Несущая способность открытых стволов, по-видимому, увеличивается за счёт кольтации проницаемых литологических разностей разреза. Как было сказано выше, процесс проникновения фильтрата промывочной жидкости происходит непрерывно и, следовательно, постоянно увеличивается зона проникновения фильтрата и зона кольтации. По мере увеличения зоны кольтации и её уплотнения происходит естественное увеличение несущей способности открытых стволов [9; 10].

Однако в настоящее время нет данных о величине количественного роста несущей способности открытых стволов во временном интервале с момента вскрытия пласта и до перекрытия вскрытого разреза обсадной колонной [11–13].

Автор попытался сделать прогноз количественного роста несущей способности открытого ствола скважины на основании результатов проведённых гидроиспытаний реальной скважины X1 Восточный Челекен.

При бурении этой скважины после спуска 324-миллиметровой промежуточной колонны на глубину 1793 м при дальнейшем углублении скважины были последовательно произведены 6 гидроопрессовок открытого ствола при достижении скважиной глубин 1950, 2236, 2677, 3409, 3760 и 4085 м (рис. 3).

Разрез скважины в интервале от «башмака» первой промежуточной колонны до глубины проведения первой гидроопрессовки (1950 м) представлен переслаиванием глинистых и песчаных пластов.

Таблица 1

Результаты, полученные при проведении последовательных гидроопрессовок открытого ствола скважины X1 месторождения Восточный Челекен

Глубина «башмака» промежуточной колонны, м	Плотность раствора в скважине, г/см ³	Давление на глубине 1793 м, кг/см ²			Эквивалентная плотность раствора на глубине 1793 м, г/см ³	Давление гидроразрыва пород, кг/см ² по формулам	
		гидростатическое	гидроопрессовки	суммарное		(1)	(2)
1793	1,35	242,06	60	302,60	1,68	297,0	341,9
	1,36	243,85	78	321,85			
	1,45	259,99	75	334,99			
	1,45	259,99	65	324,99			
	1,50	268,95	57	325,95			
	1,70	304,81	101	405,81			

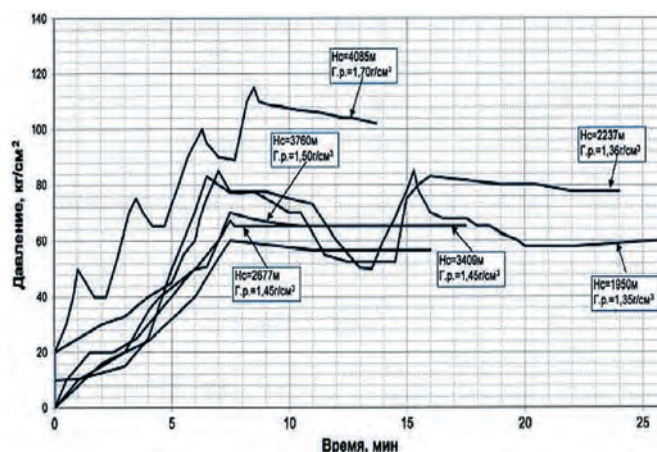


Рис. 3
Сводная диаграмма гидродинамических испытаний ствола скважины X1 месторождения Восточный Челекен, Туркменистан

Fig. 3
A summary diagram of hydrodynamic testing of borehole X1 at the East Cheleken field, Turkmenistan

Исходя из условия что наиболее слабым сечением во вскрытом скважиной разрезе является «подбашмачная» зона на глубине 1793 м, определим расчётную величину гидроразрыва пород в этой зоне. Рассчитаем также величину репрессии на «подбашмачную» зону в момент вскрытия и при проведении последовательных гидроопрессовок на растворах разной плотности, и величину роста несущей способности открытого ствола скважины в наиболее слабом сечении (табл.1).

Между первой и последней гидроопрессовкой лежит временной интервал в 230 сут. Данные таблицы свидетельствуют об устойчивом росте несущей способности открытого ствола скважины в «подбашмачной» зоне. Некоторое уменьшение значений во время четвертой и пятой гидроопрессовок связано с вскрытием скважиной проницаемых водонасыщенных горизонтов верхнего красноцвета в интервале 2677–2900 м.

Со временем произошла кольтация и этих горизонтов, что и подтвердилось при проведении последней гидроопрессовки на глубине 4085 м, когда несущая способность ствола была восстановлена. При этом несущая способность околоствольной зоны скважины в «подбашмачной» зоне превысила расчётное давление теоретического гидроразрыва пород раствором, рассчитанное по формулам (1) и (2), более чем на 60 кг/см².

Table 1

The results obtained during successive hydraulic pressure tests of the open walls of borehole X1 at the East Cheleken field

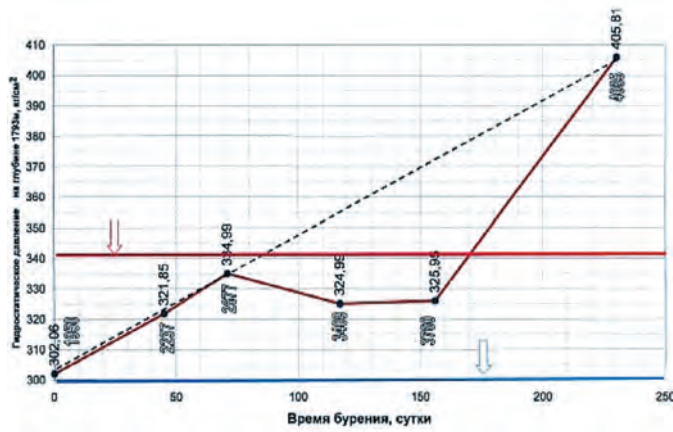


Рис. 4
Рост несущей способности открытого ствола в скважине X1 месторождения Восточный Челекен, Туркменистан

Fig. 4
Growth of bearing capacity of open hole in well X1 of East Cheleken field, Turkmenistan

График роста несущей способности ствола в масштабе времени (рис. 4) показывает, что четыре точки лежат на одной линии. Это позволяет сделать вывод о достоверности полученных данных.

Зная временной интервал проведения гидроиспытаний, можно рассчитать количественный рост несущей способности ствола для реальной скважины. Для скважины X1 месторождения Восточный Челекен этот рост составил 0,4509 кг/см² в сутки для верхнекрасноцветных отложений.

Автор признает тот факт, что подобные исследования были проведены только в одной скважине и на одной площади, что позволяет говорить о получении только предположительного количественного результата и для конкретной скважинной ситуации.

Знание количественной величины несущей способности ствола скважины необходимо в первую очередь для расчёта допустимых, не вызывающих гидроразрыва пород, устьевых давлений при возникновении возможных нефтегазоводопровляющих [14].

Выводы

Таким образом, автор считает, что на бурящихся скважинах на основании последовательного проведения исследовательских работ есть возможность прогнозирования динамики увеличения несущей способности околоствольной зоны скважин, которая может быть использована при оценке состояния ствола в процессе бурения последующих скважин на данной площади.

Учитывая, что знание динамики изменения несущей способности ствола скважины имеет очень важное значение при проводке скважин в сложных условиях аномально высокого пластового давления Западной части Туркменистана, рекомендуется провести подобные исследования на других площадях при проводке разведочных скважин и ряда глубоких эксплуатационных скважин.

Данная работа может быть использована в качестве методики при проведении последующих исследований.

Список литературы / References

- Аксельрод С.М. Интегрированные геофизические исследования в процессе бурения с целью прогноза порового давления и геологического разреза впереди долота (по материалам зарубежных публикаций). *Каротажник*. 2017;(1):69–104.
Akselrod S.M. Integral logging while drilling to forecast pore pressure and geologic characteristics of the rock in front of the bit (based on foreign publications). *Karotazhnik*. 2017;(1):69–104. (In Russ.)
- Казымов Ш.П. Повышение нефтеотдачи в обводненных и трудноизвлекаемых коллекторах. *SOCAR Proceedings*. 2022;(1):89–93.
Kazymov Sh.P. Enhanced oil recovery in water cut and hard-to-recover reservoirs. *SOCAR Proceedings*. 2022;(1):89–93. (In Russ.)
- Андреев А.В., Мухаметшин В.Ш., Котенев Ю.А. Прогнозирование продуктивности залежей в карбонатных коллекторах с трудноизвлекаемыми запасами. *SOCAR Proceedings*. 2016;(3):40–45.
Andreev A.V., Mukhametshin V.Sh., Kotenev Yu.A. Deposit productivity forecast in carbonate reservoirs with hard to recover reserves. *SOCAR Proceedings*. 2016;(3):40–45. (In Russ.)
- Хузина Л.Б., Шайхутдинова А.Ф., Кязимов Э.А. К вопросу исследования вибрационного устройства для предупреждения прихватов при строительстве нефтяных и газовых скважин. *Scientific Petroleum*. 2023;(1):32–42. <https://doi.org/10.53404/Sci.Petro.20230100038>
Khuzina L.B., Shaykhutdinov A.F., Kazimov E.A. To the question of the study of a vibration device to eliminate seizures during the construction of oil and gas wells. *Scientific Petroleum*. 2023;(1):32–42. (In Russ.) <https://doi.org/10.53404/Sci.Petro.20230100038>
- Александров Б.Л., Моллаев З.Х., Шилов Г.Я. Повышение эффективности геологоразведочных работ и снижение геологических рисков при поисках нефти и газа на территории Сибири и арктического шельфа. *Нефтяное хозяйство*. 2018;(3):8–12. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2018-3-8-12>
Aleksandrov B.L., Mollaev Z.H., Shilov G.I. Enhancement of geological exploration efficiency and its risk mitigation during on the territory of Siberia and Arctic shelf. *Oil Industry*. 2018;(3):8–12. (In Russ.) <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2018-3-8-12>

6. Исламов А.И., Фасхутдинов Р.Р., Колупаев Д.Ю., Верещагин С.А. О механизмах возникновения зон с аномально высоким пластовым давлением и методах их прогнозирования в неразрабатываемых пластах на примере Приобского месторождения. *Нефтяное хозяйство*. 2018;(10):54–59. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2018-10-54-59>
Islamov A.I., Faskhutdinov R.R., Kolupaev D.Yu., Vereschagin S.A. On the mechanisms of the formation of zones with abnormally high rock pressure and methods for predicting them in undeveloped rock systems, Priobskoye field case study. *Oil Industry*. 2018;(10):54–59. (In Russ.) <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2018-10-54-59>
7. Deryaev A.R. Features of the construction of directed deep wells in Turkmenistan. *Italian Journal of Engineering geology and environment*. 2024;(1) 35-47. DOI:<https://doi.org/10.4808/IJEGE.2024-01.O-03>.
8. Deryaev A.R. Drilling of directional wells in the fields of Western Turkmenistan. *Grassroots Journal of Natural Resources*. 2024; V.7 (2); 347-369. Doi: <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853/070218>.
9. Аббасов О.Р., Алиев А.А., Агаев А.М., Худузاده А., Хасанов Е. Минералогия, геохимия и особенности палеовыветривания горючих сланцев палеоген-миоценовых отложений Азербайджана. *SOCAR Proceedings*. 2022;(1):24–36. <https://doi.org/10.5510/OGP20220100625>
Abbasov O.R., Aliyev A.A., Agayev A.M., Khuduzade A., Hasanov E. Mineralogy, geochemistry and paleoweathering characteristics of Paleogene-Miocene oil shales in Azerbaijan. *SOCAR Proceedings*. 2022;(1):24–36. (In Russ.) <https://doi.org/10.5510/OGP20220100625>
10. Поспелков М.С., Трусов А.И. Оперативная оценка аномально высоких пластовых давлений на месторождениях Надым-Пур-Тазовского региона. *Каротажник*. 2017;(11):126–133.
Pospelkov M.S., Trusov A.I. Fast estimation of abnormally high formation pressures in the fields of Nadym-Pur-Taz region. *Karotazhnik*. 2017;(11):126–133. (In Russ.)
11. Чижов А.П., Мухаметшин В.В., Андреев В.Е. и др. Геомеханические аспекты совершенствования бурения скважин в сложных горнотехнических условиях. *SOCAR Proceedings*. 2022;(SP1):1–8.
Chizhov A.P., Mukhametshin V.V., Andreev V.E. et al. Geomechanical aspects of improving well drilling in difficult mining conditions. *SOCAR Proceedings*. 2022;(SP1):1–8. (In Russ.)
12. Рачкевич Р.В., Чудык И.И., Рачкевич И.А., Аль-Танакчи А. Анализ напряженно-деформированного состояния участка бурильной колонны в интервале скважины с каверной. *SOCAR Proceedings*. 2022;(SP2):1–8.
Rachkevych R.V., Chudyk I.I., Rachkevych I.A., Al-Tanakchi A. Application of fuzzy logic for risk assessment of investment projects. *SOCAR Proceedings*. 2022;(SP2):1–8. (In Russ.)
13. Peng C., Pang J., Fu J., Cao Q., Zhang J., Li Q. et al. Predicting rate of penetration in ultra-deep wells based on deep learning method. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2023;48(12):16753–16768.
14. Деряев А.Р. Прогноз дальнейшей перспективы бурения сверхглубоких скважин в сложных горно-геологических условиях западного Туркменистана. *SOCAR Proceedings*. 2023;(2):13–21.
Deryaev A.R. Forecast of the future prospects of drilling ultra-deep wells in difficult mining and geological conditions of Western Turkmenistan. *SOCAR Proceedings*. 2023;(2):13–21. (In Russ.)

Информация об авторе

Аннагулы Реджепович Деряев – доктор технических наук, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский институт природного газа ГК «Туркменгаз», г. Ашгабат, Туркменистан; e-mail: annagulyderyayew@gmail.com

Information about the author

Annaguly R. Deryaev – Dr. Sci. (Eng.), Chief Research Associate, The State Concern “Turkmengaz”, Ashgabat, Turkmenistan; e-mail: annagulyderyayew@gmail.com

Информация о статье

Поступила в редакцию: 29.10.2024
Поступила после рецензирования: 18.11.2024
Принята к публикации: 22.11.2024

Article info

Received: 29.10.2024
Revised: 18.11.2024
Accepted: 22.11.2024