

DOI 10.25689/NP.2019.1.141-155

УДК 622.276.031.011.43

ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ОТ ГЛУБИНЫ

¹Нифантов В.И., ¹Мельникова Е.В., ¹Пищухин В.М., ¹Кузнецов С.А.,
²Макарьев О.В.

¹ООО «Газпром ВНИИГАЗ», ²ПАО «Газпром»

FORECAST OF CHANGES OF ROCK STRENGTH WITH DEPTH

¹Nifantov V.I., ¹Melnikova E.V., ¹Pischukhin V.M., ¹Kuznetsov S.A.,
²Makarev O.V.

¹LLC «Gazprom VNIIGAZ», ²PJSC «Gazprom»

E-mail: v_pischukhin@vniigaz.gazprom.ru

Аннотация. Процесс бурения и крепления скважин осложняется из-за нарушения устойчивости горных пород, различных по составу и своим свойствам.

Устойчивость горных пород зависит от различных факторов. В глинистых породах и солях существенную роль играют процессы увлажнения, набухания и диспергирования, вызывающие ослабление структурных связей между частицами породы.

Для предупреждения осложнений при проводке скважины необходимо проводить исследования причин изменения свойств горных пород в различных геологических условиях, а также определять характер нарушения устойчивости ствола скважины, пробуренного в терригенных породах, содержащих глинистые включения, а также в солевых и межсолевых отложениях.

Рассмотрены результаты исследований изменения прочностных свойств глинистых горных пород при формировании ствола скважины в процессе бурения.

Систематизированы экспериментальные данные по определению механических свойств различных литотипов терригенных глинистых пород, залегающих на разных глубинах.

Важный вывод, который следует из проведенных исследований заключается в том, что с глубин более 1500 м прочность глинистых пород на сжатие ($\sigma_{сж}$) становится меньше скелетных напряжений в диапазоне изменения аномальности пластового давления (аномально низкого – АНПД и аномально высокого – АВПД) от $0,25 \leq Ka < 1,0$ (АНПД), а с глубин 3000 м и более – в диапазоне $1,0 < Ka \leq 1,5$ (АВПД).

Установлены области изменения напряженного состояния призабойной зоны пласта (ПЗП), где происходит нарушение устойчивости ствола скважины (осыпи, обвалы, кавернообразования, сужения ствола).

На основе проведенных расчетов и построений установлено, что АВПД с коэффициентом аномальности $Ka \geq 2,0$ имеет место с глубин более 3000 м. Большинство полученных данных сосредоточено в диапазоне скелетных напряжений, возникающих в ПЗП при $1,22 \leq Ka \leq 2,0$. По некоторым скважинам, в которых происходило нарушение ствола, скелетные напряжения находились в области $Ka > 2,0$.

На основании статистических данных изменения свойств глинистых пород с глубиной разработана методика предупреждения осложнений при проводке скважин в сложных горно-геологических условиях.

Ключевые слова: призабойная зона пласта, бурение скважин, ремонт скважин, осложнения при проводке скважины, устойчивость стенок скважины, глинистые породы, прочность горных пород, скелетные напряжения, горное давление, пластовое давление, поровое давление, забойное давление, плотность горных пород, плотность бурового раствора.

Abstract. The process of drilling and fastening wells is very complex in engineering terms, as it is accompanied by the destruction of rocks of different properties.

The stability of rocks is sharply reduced in the presence of different types of water. In clay rocks and salts, the processes of moistening, swelling and dispersion play a significant role, causing a weakening of the structural bonds between the rock particles.

In order to prevent complications during the well wiring, it is necessary to study the causes of changes in the properties of rocks in various geological conditions, as well as to determine the nature of the violation of the stability of the wellbore drilled in terrigenous rocks containing clay inclusions, as well as in salt and inter-salt deposits.

The results of studies of changes in the properties of clay rocks in the formation of the wellbore during drilling.

Experimental data on the determination of mechanical properties of different lithotypes of terrigenous clay rocks at different depths are systematized.

An important conclusion that follows from the constructed dependences: with a depth of more than 1500 m, the compressive strength of clay rocks (σ_{sj}) becomes less than the skeletal stresses in the range of anomalous reservoir pressure (abnormally low – ALRP and abnormally high – AHRP) from $0.25 \leq Ka < 1.0$ (ALRP), and from depths of 3000 m and more – in the range of $1.0 < Ka \leq 1.5$ (AHRP).

The areas of changes in the stress state of the bottomhole formation zone (BFZ), where there is a violation of the stability of the wellbore (scree, landslides, cavern formation, narrowing of the trunk)

On the basis of the calculations, and builds established that the abnormal ratio of the anomalous $K_a \geq 2,0$ with depths greater than 3000 m. Most of the obtained data concentrated in the range of skeletal stresses in the PZP when $1,22 \leq K_a \leq 2,0$. For five wells in which there was a violation of the trunk, skeletal stresses are in the $K_a > 2,0$.

On the basis of statistical data of change of properties of clay mountain with depth the technique of the prevention of complications at conducting of wells in difficult mountain-geological conditions is developed.

Key words: *Bottomhole formation zone, drilling, workover, complications when posting wells, the stability of the borehole walls and clay rocks, strength rocks, skeletal stresses, rock pressure, formation pressure, pore pressure, downhole pressure, density of rocks, density of drilling mud.*

Процесс бурения и крепления скважин очень сложный в инженерном плане, так как он сопровождается разрушением горных пород различных по своим свойствам. На устойчивость горных пород, как в пласте, так и в скважине влияет много факторов, изучить и спрогнозировать которые не всегда возможно. Несмотря на большой объем выполненных научно-технических работ по данной проблеме остается еще много нерешенных задач:

- по определению условий начала потери устойчивости ствола скважины;
- развитию подвижек горных пород с изменением напряженного состояния в прискважинной зоне пласта (ПЗП);
- физико-химическому воздействию различных жидкостей на изменение свойств пород в ПЗП и др.

Устойчивость ПЗП, как определено в работе [1], есть условие стабильного функционирования скважины как горной выработки. Устойчивость горных пород резко снижается при наличии в них различных типов воды. В глинистых породах и солях существенную роль играют процессы увлажнения, набухания и диспергирования, вызывающие ослабление структурных связей между частицами породы [2-4]. Широко развитая складчатость вызывает тектонические перемещения в массивах каменной соли, создавая трещины и разрывы. Трещины являются

плоскостями скольжения и породопроявления, приводящего к сужению ствола скважины и последующему непрохождению или смятию обсадной колонны.

Для предупреждения осложнений при проводке скважины необходимо проводить исследования причин изменения свойств горных пород в различных геологических условиях, а также определять характер нарушения устойчивости ствола скважины, пробуренного в терригенных породах, содержащих глинистые включения, а также в солевых и межсолевых отложениях. Достоверность прогнозирования геологических условий строительства скважин зависит от знания строения и минерального состава разбуриваемых пород, различия геодинамических и термодинамических процессов в массиве как в течение длительного периода формирования земной коры, так и при взаимодействии с долотом, бурильными и обсадными трубами, промывочными жидкостями и тампонажными растворами. Существенные необратимые изменения структурно-механических и физико-химических свойств пород ПЗП происходят при освоении, исследовании и эксплуатации скважин, что также влияет на нарушение устойчивости ПЗП.

Рассмотрим результаты исследований изменения свойств глинистых горных пород при формировании ствола скважины в процессе бурения.

Исследованию изменения свойств глинистых пород в стволе скважины посвящено множество работ отечественных и зарубежных специалистов ([2]-[21] и др.). Однако, вопрос о соотношении величин напряженного состояния, механической прочности и предельных напряжений для различных литотипов пород окончательно не решен и не используется в проектных и руководящих документах. Решение данного вопроса осложняется еще и тем, что горные породы, слагающие геологический разрез скважины неоднородны по литологическому составу, структуре, текстуре, генезису, условиям образования и накопления.

Поэтому оценку их устойчивости следует проводить по результатам бурения или ремонта с учетом того, когда и в каких интервалах имели место осложнения ствола скважин.

С этой целью нами был выполнен анализ опубликованной литературы, в которой содержатся несистематизированные экспериментальные данные по определению механических свойств различных литотипов терригенных глинистых пород, залегающих на разных глубинах. Систематизированные результаты такого анализа приведены в табл. 1 и представлены на рис. 1. По данным результатам отмечается рост прочности глинистых пород (верхний майкоп, майкоп, хадум, зеленая свита) на одноосное сжатие ($\sigma_{сж}$) в пределах от 15,0-16,0 МПа до 30,0 МПа в интервале глубин 450-1425 м. Затем отмечается уменьшение $\sigma_{сж}$ до 18,4 МПа на глубине 1809 м и изменение этого параметра от 17,3 до 28,1 МПа в интервале глубин 2700-3460 м. Исключения составляют значения $\sigma_{сж}=44,2$ МПа для керна глинистой породы, отобранного с глубины 3200 м из скважины 1-П разведочной площади Корсак 6, а также из скважин 5 и 6 Минеральной площади для майкопских глин с различной влажностью: от 10 МПа при влажности 9% (глубина 3083 м) до 50 МПа при влажности 4% (в интервале глубин 4060-4426 м) [6, 11]. В.С. Новиковым, Л.И. Кульчицким и другими увеличение прочности пластов глинистых пород на больших глубинах объясняется переходом различных стадий формирования их свойств в процессе литогенеза от свободного уплотнения к затрудненному и переуплотненному состоянию с образованием аргилитоподобных структур на глубинах более 4000 м [6].

Важный вывод, который следует из построенных зависимостей: с глубин более 1500 м прочность глинистых пород на сжатие ($\sigma_{сж}$) становится меньше скелетных напряжений в диапазоне изменения аномальности пластового давления (аномально низкого – АНПД и

аномально высокого – АВПД) от $0,25 \leq K_a < 1,0$ (АНПД), а с глубин 3000 м и более – в диапазоне $1,0 < K_a \leq 1,5$ (АВПД).

Таблица 1

Изменение прочности глинистых пород по одноосному сжатию ($\sigma_{сж}$) от величины скелетных напряжений в различных регионах на различных глубинах

Регион, месторождение, площадь	Характеристика глинистых пород	Глубина залегания, Н, м	Горное давление, $P_{гор}$, МПа *	Пластовое давление, $P_{пл}$, МПа	Коэффициент аномальности пластового давления, K_a , 1	Скелетные напряжения, $\sigma_{ск}$, МПа	Прочность на сжатие, $\sigma_{сж}$, МПа	Примечание (авторы, источник информации.)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Северный Кавказ, Старогрозненское месторождение	Верхний майкоп, глина	500	8,2	5,0	1,0	3,2	16,0	Симонянц Л.Е. и др. [11]
	Майкоп, глина	600	10,02	5,8	0,97	4,2	20,0	
Мирненское месторождение	Верхний майкоп, глина	450	7,5	3,2	0,71	4,3	20,0	[11]
Кугутское месторождение	Верхний майкоп, глина	580	9,7	4,7	0,81	5,0	21,0	
Северо- Ставропольское месторождение	Хадумская глина, средний майкоп	800	13,4	6,5	0,81	6,9	18,0	
Веселовская площадь	Зеленая свита, глина	1425	24,9	16,7	1,17	8,2	30,0	
	Нижний мел, глина песчанистая	2700	52,7	28,4	1,05	24,3	27,0	
Прикаспийская впадина, Упрямовская площадь, скважина № 1	Глинистые породы	1200	33,0	12,0	1,0	21,0	15,0	Новиков В.С. [6]
		3400	85,0	40,12	1,18	44,9	17,3	
Демидовская площадь, скважина № 3	Сильно перемятые трещиноватые глины	1809	46,5	21,2	1,17	25,3	18,4	
		3460	89,0	40,5	1,17	48,5	28,1	
Гурьевский свод, площадь Корсак, скважина 1-П	Глинистые породы	3200	81,3	37,12	1,16	44,2	44,2	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Северный Кавказ, Чеченская республика, Минеральная площадь, скважина № 5	Майкопские глины. Влажность:							Симонянц Л.Е. и др. [11]
	9%	3083	61,7	30,83	1,0	30,87	10,0	
	6%	3691	79,5	36,91	1,0	42,6	10,0	
	5%	3962	91,13	39,62	1,0	51,5	40,0	
	4%	4106	94,4	41,06	1,0	53,34	50,0	
	4%	4426	106,2	44,26	1,0	61,94	50,0	
скважина № 6	7%	3159	64,8	31,59	1,0	33,2	25,0	
	7%	3306	69,4	33,06	1,0	36,34	20,0	
	7%	3674	80,1	36,74	1,0	43,36	25,0	
	6%	3903	87,8	39,03	1,0	48,8	40,0	
	5%	4080	93,8	40,8	1,0	53,0	40,0	

* **Примечание.** Горное давление рассчитывалось по известной формуле $P_{гор} = \rho_{гр} \cdot g \cdot H$, где $\rho_{гр}$, кг/м³ – плотность вышележащих горных пород, которая определялась обобщением информации [18-20], $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения.

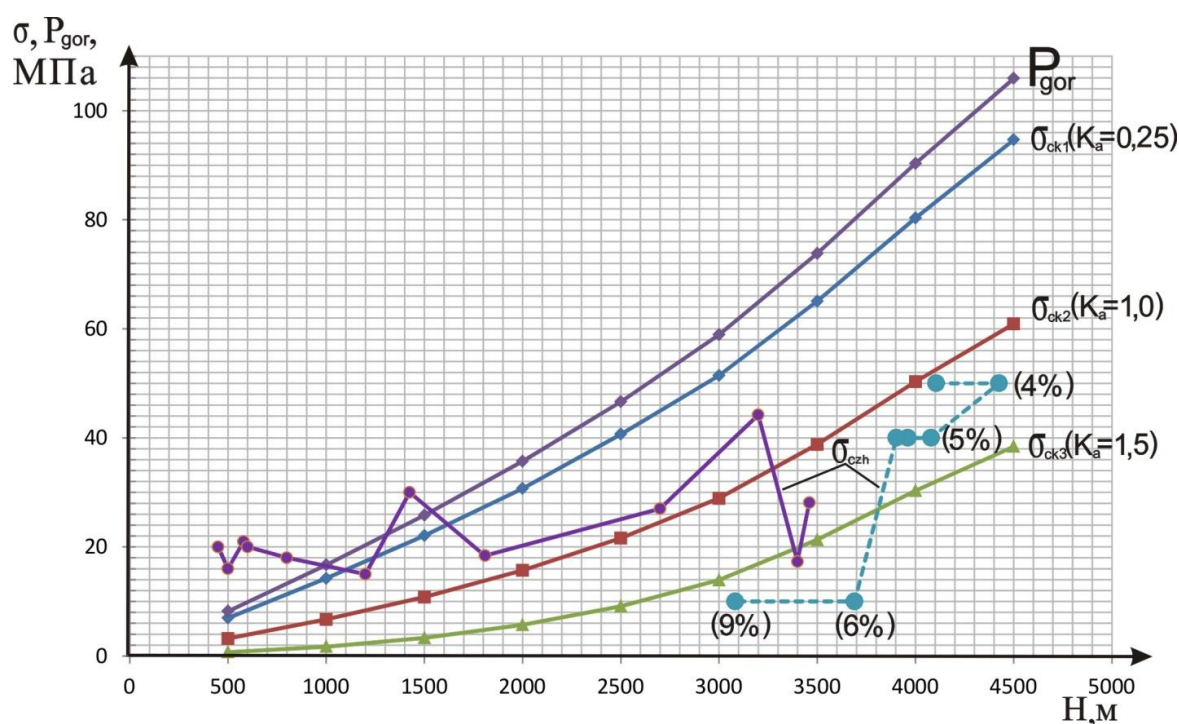


Рис. 1. Изменение горного давления $P_{гор}$, величин скелетных напряжений $\sigma_{ск}$, при различных коэффициентах аномальности пластового давления, K_a , и прочности горных пород на одноосное сжатие, $\sigma_{сж}$, на различной глубине их залегания, H .

Таким образом, приведенный анализ систематизированных нами экспериментальных данных по определению прочности глинистых пород на одноосное сжатие позволил установить области по глубине их

залегания и изменению напряженного состояния ПЗП от АНПД до АВПД, где происходит нарушение устойчивости ствола скважины (осыпи, обвалы, кавернообразование, сужения ствола).

Не менее интересны результаты промысловых исследований, проведенных в ходе бурения скважин, по оценке нарушения устойчивости ствола в межсоловых глинах на глубинах более 3000 м, приведенные в работе С.Б. Свиницкого [3]. В этой и некоторых других работах величина скелетных напряжений ($\sigma_{ск}$) определяется разностью горного ($P_{гор}$) и гидростатического (P_{gst}) давлений, создаваемых столбом бурового раствора определенной плотности. Такой подход вполне обоснован, так как определить точно поровое давление в глинистых породах в разведочных скважинах заранее (до бурения) практически невозможно. Кроме того, превышение забойного давления бурового раствора над поровым в ПЗП способствует повышению устойчивости глинистых пород на стенках скважины. В табл. 2 приведены систематизированные нами результаты глубокого бурения в межсоловых глинах в 19-ти скважинах пяти площадей, взятые из работы [3].

Анализ результатов промысловых исследований, приведенных в табл. 2 позволил установить следующее. Нарушение ствола скважин в межсоловых глинах происходит при величинах скелетных напряжений ($\sigma_{ск} = P_{гор} - P_{gst}$) в пределах 8,3-30,9 МПа. Причем, по площадям бурения значение этого параметра распределились следующим образом:

- на двух скважинах Кузнецовской площади в интервале 3006-3118 м $21,34 \leq \sigma_{ск} \leq 25,9$ МПа;
- на одной скважине Кужорской площади в интервале 3472-3645 м $10,6 \leq \sigma_{ск} \leq 19,4$ МПа;
- в семи скважинах Астраханского месторождения на глубинах 3320-3880 м $8,3 \leq \sigma_{ск} \leq 30,65$ МПа;
- в четырех Кошехабльских скважинах на глубинах 3559-3760 м $13,73 \leq \sigma_{ск} \leq 30,6$ МПа.

Таблица 2

**Нарушение устойчивости ствола скважины на различной глубине залегания
межсоловых глин по данным работы [3]**

Площадь, скважина	Глубина, Н, м	Горное давление, $P_{гор}$, МПа	Плотность бурового раствора, ρ_{br} , кг/м ³	Скелетные напряжения, $\sigma_{ск}$, МПа	Характеристика осложнений
Кузнецовская скв. 2 скв. 4	3006 3118	60,12 63,92	1280 1220	21,34 25,9	Сужения ствола, прихват бурильного инструмента, затяжки и посадки инструмента
Лабинская скв. 8 скв. 4 скв. 7 скв. 3 скв. 11	3100 3440 3586 3945- 3967 3957	63,6 73,6 77,8 89,95 90,45 90,22	1180 1220 1240 1270 1860 1720 1840 1980	27,0 25,8 30,9 29,9 11,1 22,1 17,5 11,9	Обвалы, затяжки, сужения ствола, прихват инструмента, сужения ствола
Кужорская скв. 4	3472 3645	74,3 80,2	1580 1910	19,4 10,6	Сужения ствола
Астраханская скв. 64 скв. 91 скв. 95 скв. 36э скв. 51э скв. 120 скв. 11	3320 3745 3335 3480 3590 3680 3770 3880	69,72 82,4 70,04 74,8 77,9 80,9 84,07 87,3	1850 1780 1750 1800 1420 1760 1750 1460	8,3 15,7 11,68 12,16 26,9 16,1 18,1 30,65	Породопроявление, посадки, затяжки, прихват инструмента, сужения ствола,
Кошехабельская скв.3 скв.6 скв. 8 скв. 7	3559 4596 4630 4736- 4760	76,9 111,22 113,4 116,03- 116,6	1300 1340 1860 2050-2100 2160 2160	29,2 30,6 25,7 18,08 16,17 13,73 14,3	Затяжки и посадки инструмента Сужение ствола, прихват инструмента Сужение ствола, проработки Сужение ствола, обвалообразование, посадки, затяжки, проработки

Приведенные значения $\sigma_{ск}$ сопоставимы с прочностью глинистых пород на одноосное сжатие ($\sigma_{ск}$), данных в табл. 1 и показанных на рис. 1.

Следует отметить также на разные геологические условия залегания и генезис глинистых горных пород.

По результатам расчётов, приведённых в табл. 2 построены зависимости изменения скелетных напряжений ($\sigma_{ск}$) от глубины (H) для условий АВПД с изменением коэффициента аномальности пластового давления от 1,25 до 2,0 (Рис. 2).

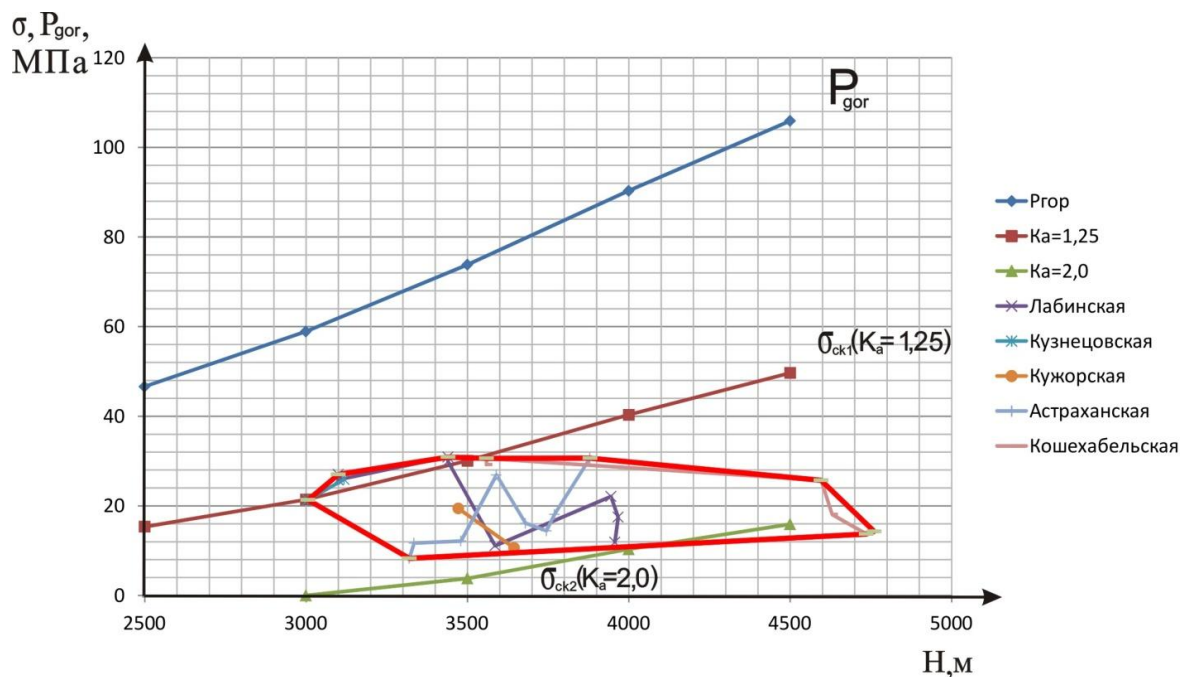


Рис. 2. Изменение горного давления $P_{гор}$ и скелетных напряжений $\sigma_{ск}$ в межсолевых глинах на различных глубинах, H , по пяти площадям Северного Кавказа и Прикаспийской впадины.

На основе проведенных расчетов и построений установлено, что АВПД с коэффициентом аномальности $K_a \geq 2,0$ имеет место с глубин более 3000 м. Большинство полученных данных сосредоточено в диапазоне скелетных напряжений, возникающих в ПЗП при $1,22 \leq K_a \leq 2,0$. По пяти скважинам, в которых происходило нарушение ствола, скелетные напряжения находятся в области $K_a > 2,0$.

Заметное отклонение в сторону увеличения параметра механической прочности глинистых пород на сжатие можно объяснить различием их по составу, структуре, текстуре, влажности. В то же время

Ю.Л. Ребецким [18] показано, что переход пород в закритическое состояние происходит на глубинах 3-5 км, а для зон разломов и массивов осадочных бассейнов – на глубинах 0,5-1,5 км в каждом случае, как следует из данных (Табл. 1 и 2), рис. 1. Также аномальные отклонения отмечались для глин зеленой свиты Веселовской площади Ставропольского края на глубине 1425 м $\sigma_{czh} = 30,0$ МПа; для глинистых пород площади Корсак в Казахстане на глубине 3200 м $\sigma_{czh} = 44,2$ МПа; на Лабинской и Кошехабельской площадях Краснодарского края в межсолевых глинах на глубинах 3440 и 3559 м при значениях параметра $\sigma_{ck} = 30,9$ и $30,6$ МПа соответственно; в межсолевых глинах на Астраханском ГКМ на глубине 3880 м при $\sigma_{ck} = 30,65$ МПа (см. табл. 1 и 2, рис. 1 и 2).

Таким образом, разработанная методика анализа и прогноза изменения механических свойств и напряженного состояния глинистых пород в ПЗП позволяет определять области изменения вертикальных скелетных напряжений и состояния устойчивости ствола скважин.

Список литературы

1. Зотов Г.А. Устойчивость забоя. В кн.: Российская газовая энциклопедия/Гл. ред. Р.И. Вяхирев. – М.: Большая Российская энциклопедия, 2004. – 527 с.
2. Гайдаров М.М.-Р. Устойчивость глинистых пород при строительстве скважин: обзорн. информ. / М.М.-Р. Гайдаров, Д.Г. Бельский, Д.В. Изюмченко и др. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2014. – 100 с.
3. Свиницкий С.Б. Прогнозирование устойчивости стволов скважин в соляных отложениях // Обз. инф. Сер: Бурение газовых и газоконденсатных скважин. – М.: ИРЦ Газпром, 2004, - 143 с.
4. Бигун П.В. Свиницкий С.Б. Тимакин О.В. и др. Влияние геологических особенностей межсолевых отложений на выбор мероприятий по повышению надежности крепи скважин/ П.В. Бигун, С.Б. Свиницкий, О.В. Тимакин и др. // Газовая промышленность, 2011-№1.- С. 59-63.
5. Шарафутдинов З.З., Шарафутдинова Р.З. Поведение глинистых отложений в стволе скважины // Наука и техника в газовой промышленности, 2017. - № 1. - С. 22-34.
6. Новиков В.С. Устойчивость глинистых пород при бурении скважин. – М.: ОАО Издательство «Недра», 2000.- 270 с.
7. Сеид-Рза М.К., Исмайлов Ш.И., Орман Л.М. Устойчивость стенок скважин. - М.: Недра, 1981. - 175 с.
8. Войтенко В.С. Прикладная геомеханика в бурении. - М.: Недра, 1990.- 252 с.

9. Кудряшов Б.Б., Яковлев А.М. Бурение скважин в осложненных условиях: Учеб. пособие для вузов. - М.: Недра, 1987. – 269 с.
10. Васильченко С.В., Потапов А.Г., Гноевых А.Н. Современные методы исследования проблемы неустойчивости глинистых пород при строительстве скважин. - М.: ИРЦ Газпром, 1998. – 84 с.
11. Симонянц Л.Е. Методические указания по прогнозированию устойчивости стенок скважин./ Л.Е. Симонянц, В.Н. Ромашов, А.И. Черняховский. - Грозный: ГНИ им. М.Д. Миллионщикова, 1979. – 35 с.
12. Шрейнер Л.А. Физические основы механики горных пород. - М.: Гостоптехиздат, 1950. – 237 с.
13. Спивак А.И., Попов А.Н. Механика горных пород. - М.: Недра, 1975. – 200 с.
14. Яремейчук Р.С., Семак Г.Г. Обоснование надежности и качества стволов глубоких скважин. - М.: Недра, 1982.- 259 с.
15. Тимофеев Н.С., Вугин Р.Б., Яремейчук Р.С. Усталостная прочность стенок скважины. М.: Недра, 1972.- 200 с.
16. Тимурзиев А. И., Ластовецкий В. П. Количественная оценка параметров НДС горных пород для выделения участков относительного растяжения по результатам математического моделирования (на примере Еты-Пуровского полигона) // Горные ведомости. – 2015. – № 9. – С. 54-75, № 10. – С. 76-97.
17. Антипов В.И., Нагаев В. Б., Седых А. Д. Физические процессы нефтегазового производства : Учеб. пособие для вузов. - М. : Недра, - 1998. - Т. 1. - 372 с.
18. Петрофизика коллекторов нефти и газа / Под ред. В. Н. Дахнова. – М.: Недра, 1975. - 285 с.
19. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (Петрофизика, справочник геофизика). – М.: Недра, 1984. – 250 с.
20. Ханин В.А. Терригенные породы-коллекторы нефти и газа на больших глубинах. – М.: Недра, 1979.- 140 с.
21. Ребецкий Ю.Л. О неустойчивости слоистых сред в условиях гравитационного напряженного состояния.// Геология и геофизика, 2014? № 9. - С. 1446-1458.

References

1. Zotov G.A. *Ustojchivost' zaboya* [Wellbore stability]. In: *Rossiyskaya gazovaya enciklopediya* [Russian gas encyclopedia]. Eds R.I. Vyakhirev. Moscow: Bol'shaya Rossiyskaya Enciklopediya Publ., 2004. 527 p. (in Russian)
2. Gaidarov M.M.-R. *Ustojchivost' glinistyh porod pri stroitel'stve skvazhin: obzorn. inform.* [Shales stability while drilling: review of information]. Moscow: Gazprom VNIIGAZ Publ., 2014. 100 p. (in Russian)
3. Svintsitsky S.B. *Prognozirovanie ustojchivosti stvolov skvazhin v solyanyh otlozheniyah. Obz. inf.* [Forecast of wellbore stability in salt deposits. Review of information]. Series: *Burenie gazovyh i gazokondensatnyh skvazhin* [Drilling of gas and gas-condensate wells]. Moscow: IRC Gazprom Publ., 2004. 143 p. (in Russian)
4. Bigun P.V., Svintsitsky S.B., Timakin O.V. et.al. *Vliyanie geologicheskikh osobennostej mezhsolovykh otlozhenij na vybor meropriyatij po povysheniyu nadezhnosti krepki skvazhin* [Intersalt sediments' geology effect on choice of optimal cementing and casing programs]. *Gazovaya Promyshlennost*, No. 1, 2011. pp. 59-63. (in Russian)
5. Sharafutdinov Z.Z., Sharafutdinova R.Z. *Povedenie glinistyh otlozhenij v stvole skvazhiny* [Shales' behavior in a wellbore]. *Nauka i Tekhnika v Gazovoj Promyshlennosti*, No. 1, 2017. pp. 22-34. (in Russian)

6. Novikov V.S. *Ustojchivost' glinistyh porod pri burenii skvazhin* [Shales stability while drilling]. Moscow: Nedra OAO Publ., 2000. 270 p. (in Russian)
7. Seid-Rza M.K., Ismaiyllov Sh.I., Orman I.M. *Ustojchivost' stenok skvazhin* [Stability of wellbore walls]. Moscow: Nedra Publ., 1981. 175 p. (in Russian)
8. Voitenko V.S. *Prikladnaya geomekhanika v burenii* [Applied geomechanics in drilling]. Moscow: Nedra Publ., 1990. 252 p. (in Russian)
9. Kudryashov B.B., Yakovlev A.M. *Burenie skvazhin v oslozhnennykh usloviyakh: Ucheb. posobie dlya vuzov* [Well drilling in troublesome environment]. Moscow: Nedra Publ., 1987. 269 p. (in Russian)
10. Vasilchenko S.V., Potapov A.G., Gnoyevykh A.N. *Sovremennye metody issledovaniya problemy neustojchivosti glinistyh porod pri stroitel'stve skvazhin* [Up-to-date methods to study the problem of shales instability while drilling]. Moscow: IRC Gazprom Publ., 1998. 84 p. (in Russian)
11. Simonyants L.E. Методические указания по прогнозированию устойчивости стенок скважин [Recommended practices on forecast of stability of wellbore walls]. Simonyants L.E., Romashov V.N., Chernyakhovsky A.I. Grozny: GNI im. M.D. Millionshchikova Publ., 1979. 35 p. (in Russian)
12. Shreiner L.A. *Fizicheskie osnovy mekhaniki gornyh porod* [Physical basis of rocks mechanics]. Moscow: Gostoptekhzdat Publ., 1950. 237 p. (in Russian)
13. Spivak A.I., Popov A.N. *Mekhanika gornyh porod* [Rocks mechanics]. Moscow: Nedra Publ., 1975. 200 p. (in Russian)
14. Yaremeichuk R.S., Semak G.G. *Obosnovanie nadezhnosti i kachestva stvolov glubokih skvazhin* [Justification of reliability and quality of wellbores in deep drilling]. Moscow: Nedra Publ., 1982. 259 p. (in Russian)
15. Timofeev N.S., Vugin R.B., Yaremeichuk R.S. *Ustalostnaya prochnost' stenok skvazhiny* [Fatigue strength of wellbore walls]. Moscow: Nedra Publ., 1972. 200 p. (in Russian)
16. Timurziev A.I., Lastovetsky V.P. *Kolichestvennaya ocenka parametrov NDS gornyh porod dlya vydeleniya uchastkov otnositel'nogo rastyazheniya po rezul'tatam matematicheskogo modelirovaniya (na primere Ety-Purovskogo poligona)* [Quantitative estimate of rock strain-stress state parameters to identify zones of tensile strain by results of mathematical modelling (by example of Ety-Purovsky test site)]. *Gornye Vedomosti*, No. 9, 2015. pp. 54-75, No. 10, 2015. pp. 76-97. (in Russian)
17. Antipov V.I., Nagaev V.B., Sedykh A.D. *Fizicheskie processy neftegazovogo proizvodstva* [Physical processes of oil and gas production]. Moscow: Nedra Publ., 1998, Vol. 1. 372 p. (in Russian)
18. *Petrofizika kollektorov nefti i gaza* [Petrophysics of oil and gas reservoirs]. Eds. V.N. Dakhnov. Moscow: Nedra Publ., 1975. 285 p. (in Russian)
19. *Fizicheskie svoystva gornyh porod i poleznykh iskopaemykh (Petrofizika, spravochnik geofizika)* [Physical properties of rocks and minerals (Petrophysics. A geophysicist guide)]. Moscow: Nedra Publ., 1984. 250 p. (in Russian)
20. Khanin V.A. *Terrigennye porody-kollektory nefti i gaza na bol'shikh glubinakh* [Deep oil and gas terrigenous reservoirs]. Moscow: Nedra Publ., 1979. 140 p. (in Russian)
21. Rebetsky Yu.L. *O neustojchivosti sloistyh sred v usloviyakh gravitacionnogo napryazhennogo sostoyaniya* [On instability of layered media in conditions of gravitational stressed state]. *Geologiya i Geofizika*, No. 9, 2014. pp. 1446-1458. (in Russian)

Сведения об авторах

Нифантов Виктор Иванович, доктор технических наук, главный научный сотрудник Центра подземного хранения газа, Академик РАЕН по секции нефти и газа, Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий - Газпром ВНИИГАЗ» (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»), г. Москва, Российская Федерация

E-mail: v_pischukhin@vniigaz.gazprom.ru

Мельникова Елена Викторовна, научный сотрудник лаборатории проектирования и анализа разработки газоконденсатных и нефтегазовых месторождений Центра разработки месторождений, Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий - Газпром ВНИИГАЗ» (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»), г. Москва, Российская Федерация

E-mail: v_pischukhin@vniigaz.gazprom.ru

Пищухин Василий Михайлович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Отделения экспериментальных исследований Опытного-экспериментального центра, Академик международной Академии наук прикладной радиоэлектроники (АН ПРЭ), Член-корреспондент РАЕН по секции нефти и газа, Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий - Газпром ВНИИГАЗ» (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»), г. Москва, Российская Федерация

E-mail: v_pischukhin@vniigaz.gazprom.ru

Кузнецов Сергей Александрович, заместитель начальника лаборатории технологического проектирования ПХГ Центра подземного хранения газа, Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий - Газпром ВНИИГАЗ» (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»), г. Москва, Российская Федерация

E-mail: v_pischukhin@vniigaz.gazprom.ru

Макарьев Олег Васильевич, заместитель начальника управления, Публичное акционерное общество «Газпром» (ПАО «Газпром»), г. Москва, Российская Федерация

E-mail: O.Makarev@adm.gazprom.ru

Authors

Nifantov V.I., Chief researcher of the underground gas storage Center, doctor of technical Sciences, Academician of the Russian Academy of natural Sciences in the section of oil and gas, Limited Liability Company «Research Institute of Natural Gas and Gas Technologies - Gazprom VNIIGAZ» (LLC «Gazprom VNIIGAZ»), Moscow, Russian Federation

E-mail: v_pischukhin@vniigaz.gazprom.ru

Melnikova E.V., researcher at the laboratory of design and analysis of gas condensate and oil and gas fields development at the field development Center, Limited Liability Company «Research Institute of Natural Gas and Gas Technologies -Gazprom VNIIGAZ» (LLC «Gazprom VNIIGAZ»), Moscow, Russian Federation

E-mail: v_pischukhin@vniigaz.gazprom.ru

Pischukhin V.M., a leading researcher at the Department of experimental research experimental center, candidate of technical Sciences, academician of the international Academy of Sciences of applied radioelectronics, corresponding Member of the Academy of natural Sciences in the section of oil and gas, Limited Liability Company «Research Institute of Natural Gas and Gas Technologies -Gazprom VNIIGAZ» (LLC «Gazprom VNIIGAZ»), Moscow, Russian Federation

E-mail: v_pischukhin@vniigaz.gazprom.ru

Kuznetsov S.A., Deputy head of the laboratory of technological design of underground gas storage center UGS, Limited Liability Company «Research Institute of Natural Gas and Gas Technologies -Gazprom VNIIGAZ» (LLC «Gazprom VNIIGAZ»), Moscow, Russian Federation

E-mail: v_pischukhin@vniigaz.gazprom.ru

Makarev O.V., Deputy head of Directorate, Public joint-stock company «Gazprom» (PJSC «Gazprom»), Moscow, Russian Federation

E-mail: O.Makarev@adm.gazprom.ru

Пищухин Василий Михайлович

**142717, Московская обл., Ленинский район, сельское поселение Развилковское
поселок Развилка, Проектируемый проезд № 5537, владение 15, строение 1**

Тел. 8 965 2 789 345

E-mail: v_pischukhin@vniigaz.gazprom.ru