

Д.С.ТАНАНЫХИН, аспирант, *DmitrySPMI@mail.ru*
А.В.ПЕТУХОВ, д-р геол.-минерал. наук, профессор, *AV_Petukhov@mail.ru*
А.М.ШАГИАХМЕТОВ, студент, *Artem-shagiakhmetv@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

D.S.TANANYKHIN, post-graduate student, *DmitrySPMI@mail.ru*
A.V.PETUKHOV, Dr. in geol. & min. sc., professor, *AV_Petukhov@mail.ru*
A.M.SHAGIAKHMETOV, student, *Artem-shagiakhmetv@mail.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ХИМИЧЕСКИЙ СПОСОБ КРЕПЛЕНИЯ СЛАБОСЦЕМЕНТИРОВАННЫХ ПЕСЧАНИКОВ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИНАХ ПОДЗЕМНОГО ГАЗОХРАНИЛИЩА

Разработка слабосцементированных коллекторов всегда осложняется выносом частиц породы и механических примесей, и решение возникающих при этом проблем становится актуальным при добыче углеводородов. Эти проблемы характерны для Гатчинского подземного хранилища газа. Разрабатываемый коллектор представляет собой несцементированный песчаник, вследствие чего оборудование работает в условиях повышенной абразивности. Вынос песка достаточно значительный.

Ключевые слова: песчаник, химическое крепление, разрушение коллектора, подземное хранилище газа.

CHEMICAL CONSOLIDATION OF FRIABLE SANDSTONES IN OPERATING WELLS OF AN UNDERGROUND GAS STORAGE

Development of semiconsolidated collectors always becomes complicated by both sand production and contamination, and decision arise at that problem become paramount task for hydrocarbons production. These complications are typical for Gatchina underground gas storage. The produce reservoir represents unconsolidated sandstone, that's why the facility works in the conditions of overabrasion. Sand production is rather considerable.

Key words: sandstone, chemical consolidation, reservoir destruction, underground gas storage.

Промысловая практика показывает, что предупреждение выноса песка должно быть осуществлено еще до того, как продуктивный пласт серьезно затронут пескопроявлением. При увеличении объема выносимого песка все труднее контролировать дальнейшее течение процесса выноса частиц породы [2]. Механизм пескопроявления очень сложен, на него оказывает влияние весь процесс заканчивания скважины, начиная от первичного вскрытия пласта и до начала добычи углеводородов. Отрицательное влия-

ние факторов заканчивания скважин связано с изменением напряженного состояния песчаного коллектора [5].

Борьба с разрушением песчаных пород и пескопроявлением представляет сложную проблему, решение которой позволит продлить эксплуатацию подземных хранилищ газа (ПХГ). Поэтому очень важно выявить причины пескопроявления. Анализ исследований в этой области указывает на противоречивые выводы. Так, авторы работы [3] утверждают, что интенсивность пескопрояв-

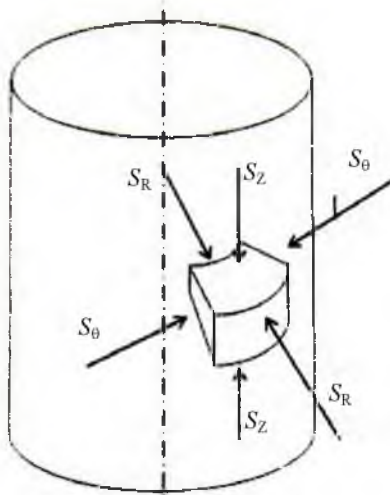


Рис. 1. Напряжения, действующие в призабойной зоне пласта необсаженной скважины

ления увеличивается с уменьшением пластового давления, в то время как обработка данных по Гатчинскому подземному хранилищу газа показала отсутствие однозначного влияния этого фактора на устойчивость призабойной зоны. Наиболее значимыми факторами, влияющими на вынос частиц породы, являются темпы отбора углеводородов, обводненность добываемой продукции и пластовое давление.

Рассмотрим степень участия горного давления в формировании наружных сминающих давлений (рис. 1).

Напряженное состояние горных пород вокруг ствола скважины в настоящее время по системе уравнений С.Г.Лехницкого [6]

$$\sigma_z = -\lambda Z;$$

$$\sigma_r = (\lambda\gamma - \gamma_1)Z(r/r_c)^2 - \lambda\gamma Z;$$

$$\sigma_\theta = -(\lambda\gamma - \gamma_1)Z(r/r_c)^2 - \lambda\gamma Z,$$

где σ_z , σ_r , σ_θ – вертикальное, радиальное и касательное напряжение горных пород в расчетной точке ствола скважины соответственно, кг/см²; Z – глубина скважины по вертикали, см; γ – удельный вес горных пород, кг/см³; γ_1 – удельный вес жидкости, заполняющий скважину, кг/см³; λ – коэффициент разгрузки горного давления; r_c – радиус ствола скважины, см; r – расстояние от расчетной точки до оси ствола скважины по горизонтали, см.

Коэффициент λ бокового горного давления зависит от коэффициента μ Пуассона и определяется по формуле [1]

$$\lambda = \mu/(1 - \mu).$$

При выводе системы уравнения (1) горный массив представляется сплошной средой, упругой и изотропной. Теоретически наибольший коэффициент Пуассона $\mu = 0,5$ может быть принят для идеально пластичных глин в бассейне седиментации, не подвергнутых какому-либо уплотнению.

Определим радиальное напряжение на стенке скважины при $r = r_c$. Для условий Гатчинского ПХГ при $\mu = 0,3$ (для песчаников) $\rho = 2600$ кг/м³, $h = 400$ м, следовательно, получим градиент бокового горного давления, равный $1,114 \cdot 10^{-2}$ МПа/м.

Объектом хранения газа является водоносный пласт – I гдовский песчаный пласт, залегающий на глубине около 400 м. Пористость в среднем 22 %, проницаемость 2-4 дарси. Представлен I пласт песчаниками, участками слабосцементированными, переходящими в песок. Пески и песчаники крупно- и грубозернистые, кварцевополевошпатовые. Мощность I гдовского пласта меняется от 5 до 11 м.

Химический анализ воды Гатчинского ПХГ

Ионы	мг/л	мг/экв	экв. %	Характеристика по Пальмеру
Cl ⁻	7048,4	198,77	49,16	S ₁ = 65,88
SO ₄ ²⁻	45,7	0,9	0,22	S ₂ = 35,88
HCO ₃ ⁻	152,5	2,5	0,62	A ₂ = 1,24
Сумма анионов	7246,6	202,17	50	Сулин
Ca ²⁺	829,4	41,39	10,24	(Cl-Na)/Mg > 1
Mg ²⁺	355,5	27,59	6,82	
K ⁺ +Na ⁺	3063,4	133,19	32,94	Хлоркальциевый тип
Сумма катионов	4228,3	202,17	50	–
Сумма катионов и анионов	11474,9	404,34	100	–

Песчаник I гдовского пласта насыщен хлоридно-натриевыми пластовыми водами общей минерализацией 5-13 г/л, удельным

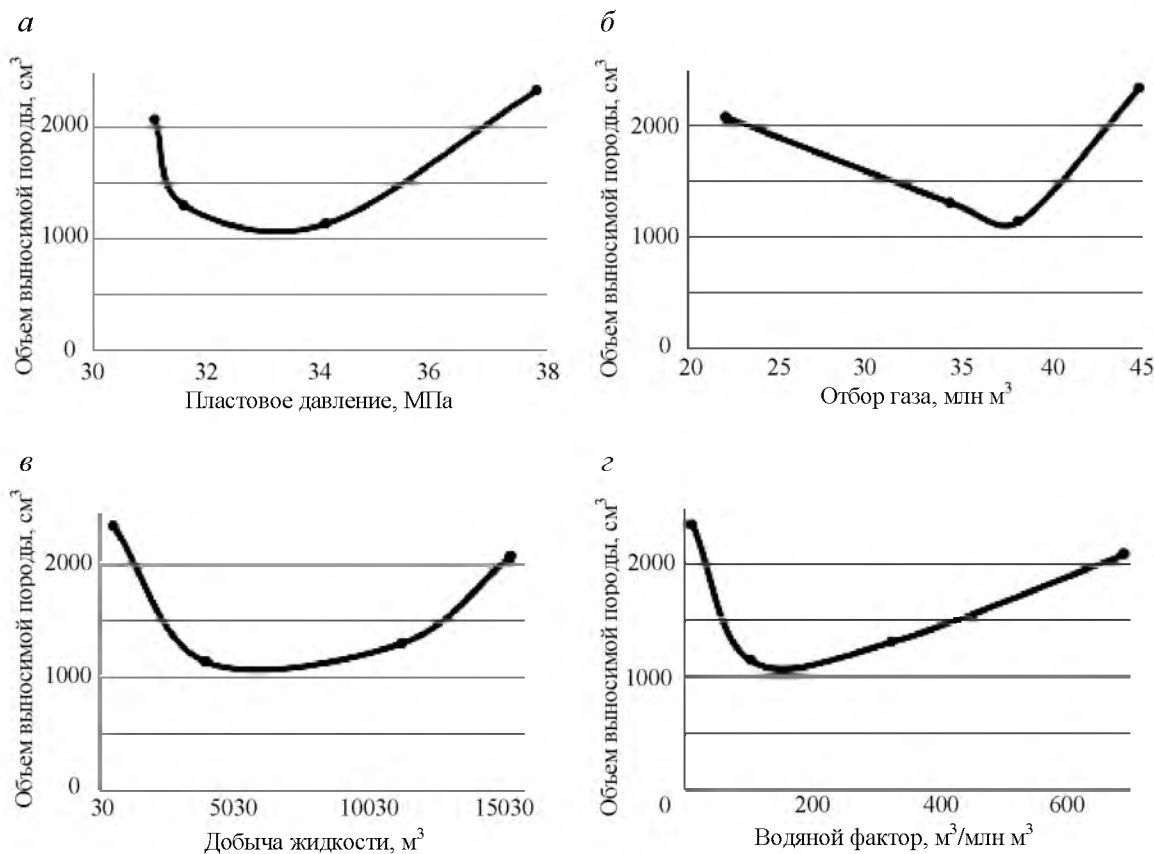


Рис.2. Зависимость объема выносимых частиц породы от технологических параметров работы скважин в течение 46-го цикла отбора газа Гатчинского ПХГ

весом $1,008 \text{ г/см}^3$. Среднее пластовое давление – 36,8 атм. Глубина залегания I пласта 419,6-428,0 м (см.таблицу). Воды вышележащих горизонтов также хлоридно-натриевые, с уменьшением глубины уменьшается также степень минерализации [1].

Характерной особенностью проведения отборов газа на Гатчинском ПХГ было и остается наличие крайне высокого водного фактора. Это связано с отсутствием высокоамплитудной структурной ловушки, а также высокими фильтрационно-емкостными свойствами эксплуатируемого пласта. На большинстве скважин Гатчинского ПХГ притоки воды сопровождаются выносом частиц породы.

Для выяснения основной причины разрушения песчаников на Гатчинском ПХГ был проведен детальный анализ технологических данных работы действующего фонда скважин (35шт.) за последние четыре цикла отбора газа. При этом была изучена зависимость распределения объема выносимого

песка в разные циклы отбора от таких технологических параметров, как пластовое давление, отбор газа, добыча жидкости, водяной фактор. На рис.2 представлены зависимости, на которых отмечается значительное увеличение объема выносимых частиц породы, зафиксированных в породоуловителях в течение 46-го цикла отбора газа.

На всех четырех графиках можно отметить переломную точку, с которой начинается резкое изменение значения объема выносимого песка. Особенное внимание привлекают $P_{пл} = 33 \text{ МПа}$, $Q_{ж} = 5050 \text{ м}^3$, а также высокий водяной фактор, равный $140 \text{ м}^3/\text{млн м}^3$, отмеченные в течение 46-го и 48-го циклов отбора газа. В связи с этим для предотвращения масштабированного обводнения и пескования скважин необходимо останавливать эксплуатацию скважин при достижении водного фактора выше, чем в предшествующем сезоне. Кроме этого, необходимо учитывать накопленный объем выносимого песка по скважинам.

Обработка подобных зависимостей в течение других циклов отбора газа не позволяет выделить какой-либо из факторов, однозначно влияющий на характер пескопроявления. Так, в течение 47-го цикла переломной точки на графике не наблюдалось, а объем выносимой породы с уменьшением пластового давления постоянно увеличивается.

На Гатчинском ПХГ наиболее распространенными являются механические методы крепления слабосцементированных пород. Применение фильтров в газовых скважинах эффективно при отсутствии обводнения. При поступлении газожидкостной смеси эффективность фильтров значительно снижается, поскольку газожидкостный поток не позволяет образовываться на их поверхности защитным «мостикам» – последовательному наслоению разных фракций песка, препятствующих выносу самых мелких его частиц. Абразивные мелкие частицы быстро прорезают «окна» в фильтре, и он теряет свои защитные свойства.

Забой таких скважин предпочтительно укреплять химическими методами, если есть условия для обработки без проведения спуско-подъемных операций. Соответственно одним из эффективных способов предотвращения выноса песка является крепление слабосцементированных пород призабойной зоны скважин специально подобранным химическим составом.

На базе Горного университета был проведен ряд опытов по созданию раствора для крепления слабосцементированных песчаников. Работы по моделированию газовой скважины проводились на насыпных моделях, приготовленных из рыхлых девонских песчаников, отобранных из обнажений коренных пород Ленинградской области.

На основе специального химического состава на кафедре разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений Горного университета был разработан и предложен к практической реализации способ обработки призабойной зоны пласта с целью предотвращения пескопроявлений. После проведения лабораторных экспериментов по закреплению рыхлых песчаников

химическим составом была подана заявка на патент № 2011134125/03 «Способ крепления призабойной зоны продуктивного пласта газовых скважин» (приоритет от 12.08.2011г.). Преимущество разработанного способа по сравнению с другими – не нужно применять дополнительное оборудование при осуществлении технологического процесса по закачке в пласт крепящих реагентов, а также более высокая надежность и низкая себестоимость используемых реагентов.

Технология закрепления слабосцементированной породы предлагаемым химическим способом позволяет связывать пласт с минимальной потерей проницаемости. Она характеризуется простотой и быстротой применения – период простоя скважины при обработке не превышает 48 ч.

Для изучения возможности закачки в призабойную зону пласта разработанного химического состава было проведено измерение среднего диаметра взвешенных частиц D_{50} химического раствора в процессе протекания реакции при смешивании используемых реагентов. Результаты замеров среднего диаметра взвешенных частиц отдельно для каждого используемого компонента водного раствора хлористого кальция (CaCl_2) и гидрокарбоната натрия (NaHCO_3), а также для химического водного раствора ($\text{CaCl}_2 + \text{NaHCO}_3$) показаны на рис.3.

Геологическая характеристика продуктивных песчаников Гатчинского ПХГ и проведенные лабораторные эксперименты

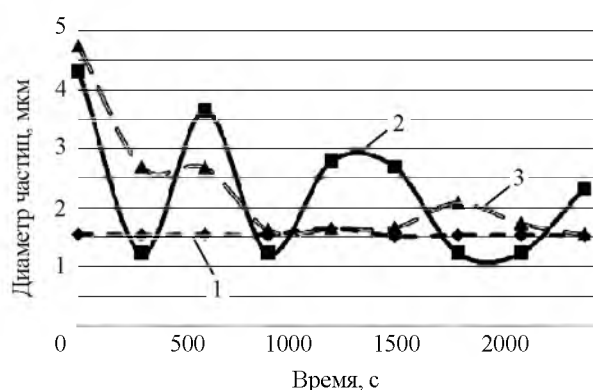


Рис.3. Результаты замеров среднего диаметра взвешенных частиц используемых растворов в процессе протекания химической реакции
1 – CaCl_2 ; 2 – NaHCO_3 ; 3 – $\text{CaCl}_2 + \text{NaHCO}_3$

по моделированию процесса фильтрации газа на насыпной модели пласта показали, что разработанный состав способен проникнуть на необходимую для скрепления слабосцементированных пород глубину и практически полностью предотвратить вынос песка при незначительном снижении проницаемости газонасыщенного песчаника (на 11-13 %).

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие важные выводы:

1. В условиях Гатчинского ПХГ при эксплуатации рыхлых, слабосцементированных песчаников I гдовского пласта химический способ крепления является одним из наиболее эффективных мероприятий по борьбе с выносом песка.

2. В отличие от имеющихся аналогов предлагаемый способ крепления слабосцементированных песчаников кроме предотвращения выноса песка из пласта в скважину (при соответствующих условиях) способствует снижению водного фактора, что обусловлено селективным действием разработанного состава на призабойную зону пласта.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ашрафьян М.О.* Напряженное состояние слабосцементированных пород призабойной зоны / М.О.Ашрафьян, О.А.Лебедев, Н.М.Саркисов // Нефтяное хозяйство. 1983. № 3. С.35-38.
2. *Близнюков В.Ю.* Пескопроявление и предупреждение повреждения обсадных колонн в процессе эксплуатации скважины / В.Ю.Близнюков, Р.Т.Еганьянц // Инженер-нефтяник. 2008. № 2. С.10-15.
3. *Мелик-Асланов Л.С.* Исследование вопросов пескопроявлений в нефтяных скважинах / Л.С.Мелик-Асланов, М.Д.Насиров // Нефтепромысловое дело. 1975. № 2. С.24-26.
4. *Спивак А.И.* Механика горных пород / А.И.Спивак, А.Н.Попов. М., 1975. 200 с.
5. *Юргенс Х.* Предупреждение пескопроявления в добывающих скважинах / Х.Юргенс, З.Невигер // Инженер-нефтяник. 2009. № 2. С.8-10.

REFERENCES

1. *Ashrafyan M.O., Lebedev O.A., Sarkisov N.M.* Stress state of unconsolidated formation at the bottomhole zone // Oil Industry. 1983. N 3. P.35-38.
2. *Bliznyukov V.Y., Eganyants R.T.* Sand production and prevention of casing string damage during the well operation // Petroleum Engineer. 2008. N 2. P.10-15.
3. *Melik-Aslanov L.S., Nasirov M.D.* The research questions of sand related problems in oil wells // Petroleum Engineering. 1975. N 2. P.24-26.
4. *Spivak A.I., Popov A.N.* Rock mechanics. Moscow, 1975. 200 p.
5. *Jurgens H., Neviger Z.* Prevention sand production in producing wells // Petroleum Engineer. 2009. N 2. P.8-10.