



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОПОЛИМЕРА И ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА В КАЧЕСТВЕ ТАМПОНАЖНОГО МАТЕРИАЛА В УСЛОВИЯХ НЕ ПОЛНОГО ВЫТЕСНЕНИЯ БУРОВОГО РАСТВОРА ИЗ КОЛЬЦЕВОГО ПРОСТРАНСТВА

Э. Ф. Велиев^{*1,2}, А. А. Алиев¹

¹НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, Баку, Азербайджан

²Научно-исследовательский центр «Композитные материалы», Азербайджанский государственный экономический университет, Баку, Азербайджан

Comparative analysis of the geopolymer and Portland cement application as plugging material under conditions of incomplete displacement of drilling mud from the annulus

E. F. Veliyev^{*1,2}, A. A. Aliyev¹

¹«OilGasScientificResearchProject» Institute, SOCAR, Baku, Azerbaijan;

²«Composite Materials» Scientific Research Center, Azerbaijan State University of Economics (UNEC), Baku, Azerbaijan

ABSTRACT

KEYWORDS

Portland cement is traditionally used in cementing of oil and gas wells. However, Portland cement has a number of shortcomings. The most important of these are the formation of microannuli between the cement plug and the rock or casing, as well as the formation of cracks and permeable channels in the cement matrix. Recent research shows that geopolymer can be a perspective alternate to portlandcement by overcoming beforementioned issues. The article comparatively analyzes the changes in the parameters of plugging materials containing geopolymer and Portland cement while contamination with water-based drilling mud. The results show that geopolymer-based solutions are more resistant to contamination with water-based drilling mud than Portland cement-based solutions. Thus, mixing Portland cement slurry with water-based drilling mud increases its viscosity and fluid loss, and sharply reduces its compressive strength. However, when a geopolymer solution is mixed with a water-based drilling fluid, its viscosity is almost unchanged, its fluid loss is reduced, and reduction in its compressive strength is less than in Portlandcement based material.

Portland cement;
Geopolymer;
Fly Ash;
Cementing;
Water based mud;
Mud contamination.

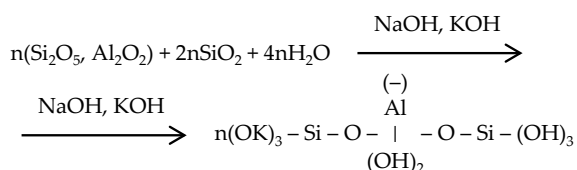
© 2022 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

1. Введение

Цементирование - один из важнейших процессов при бурении и заканчивании скважин. Основная функция цементирования заключается в разобщении пластов и обеспечении, таким образом, зональной изоляции, для предотвращения серьезных осложнений при эксплуатации скважин связанных с экологическими проблемами и большими затратами на проведение ремонтных работ. [1] Портландцемент уже много лет используется в качестве основного тампонажного материала при цементировании нефтяных и газовых скважин. Однако данный продукт не лишен недостатков наиболее существенными, из которых являются образующиеся микро-каналы на границах раздела цемента и окружающей среды, радиальные трещины и каналы в самой цементной матрице [2, 3]. Одним из наиболее перспективных аналогов порт-

ландцемента в настоящее время является материал, называемый геополимером [4]. Геополимер является продуктом реакции зольной пыли (субпродукт сжигания угля) и щелочного активатора, представляющего собой смесь гидроксида натрия или калия (NaOH, KOH) и силиката натрия (Na₂SiO₃) или калия (K₂SiO₃).

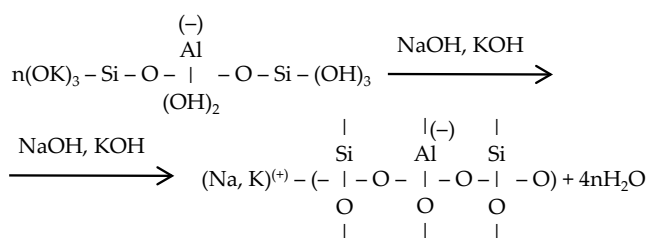
В результате этой реакции образуется полимерная связь между силикатом, кислородом и алюминием. [5]



Алюминий и силикат, соединены ковалентной связью за счет совместного использования атомов кислорода. Ионы алюминия создают отрицательный заряд, который нейтрализуется положительными ионами натрия и калия, занимающими пустоты в геополимерном комплексе [5]:

*E-mail: elchinf.veliyev@socar.az

<http://dx.doi.org/10.5510/OGP20220100637>



Данный материал имеет ряд неоспоримых преимуществ в сравнении с портландцементом наиболее существенными из которых являются следующие два:

- низкая себестоимость, обусловленная тем, что основным компонентом геополимера является зольная пыль, которая будучи субпродуктом сжигания угля не пользуется большим спросом на рынке и безусловно обходится существенно дешевле, чем клинкер являющийся основным компонентом портландцемента. [6].
- значительно меньшее негативное воздействие на окружающую среду, обусловленное тем, что, по сути, производство и применение геополимера можно рассматривать как способ утилизации зольной пыли и предотвращение ее попадания в окружающую среду. Производство портландцемента напротив оказывает огромное отрицательное влияние на экологию, так как технологический процесс производства требует сжигания огромного количества топлива, что в свою очередь приводит к колоссальным объемам выбросов диоксида углерода (CO_2) [7].

По мнению многих исследователей именно геополимерные системы в ближайшем будущем являются реальной альтернативой портландцементу и открывают новые перспективы в применении экологически безвредных тампонажных материалов способных существенно уменьшить негативное воздействие на экосистему.

Несомненным плюсом является и тот факт, что увеличение прочности геополимерного камня возможно без применения дополнительных добавок в отличие от традиционно используемых тампонажных растворов на основе портландцемента. Так увеличение концентрации гидроксида натрия (NaOH) или соотношения щелочного активатора и зольной пыли приводит к существенному росту показателей прочности на сжатие. Данный эффект обусловлен образованием алюмосиликатного геля в результате процесса геополимеризации [8-10]. Сравнительный анализ механических свойств геополимера и портландцемента класса G при идентичных условиях отверждения, также показал практически сопоставимые результаты. Однако учитывая низкую пористость в сравнении с цементным камнем и более высокую термо- и кислотостойкость геополимерного камня данные системы обладают гораздо более широким диапазоном технического применения [11-15].

Неполное вытеснение бурового раствора при цементации скважин является, пожалуй, основной причиной снижения эффективности и успешности проведенных тампонажных работ, приводя к ряду сопутствующих осложнений [16, 17]. К сожалению, полностью избежать загрязнения цементного раствора буровым в силу особенностей технологии цементирования не представляется

возможным, даже в случае применения буферных и промывочных жидкостей. В результате на практике данная задача на сегодняшний день сводится лишь к уменьшению загрязнения тампонажного раствора, а не полной изоляции обоих растворов друг от друга. Небольшое загрязнение цементного раствора в принципе принимается за данность и считается вполне приемлемым явлением, но не маловажную роль играет и тип бурового раствора находящегося в скважине. Так, к примеру, проникновение в цементный раствор даже 1% полимерной составляющей способно существенно снизить время загустевания цементного раствора и привести к сложным обратимым последствиям, а применение буровых растворов на полимерной основе на сегодняшний день является далеко не редкостью [18]. В связи с этим влияние загрязнения цементного раствора на его реологические и механические свойства зачастую входит даже в программу стандартных лабораторных испытаний проводимых при планировании цементировочных работ и выборе композиции тампонажного раствора [19-22]. Однако геополимерные системы не так чувствительны к загрязнению буровым раствором, так к примеру Лиу с соавт. в своем исследовании показали, что при смешивании геополимерного раствора с буровым раствором на углеводородной основе наблюдаются вполне приемлемые значения прочности на сжатие и реологические свойства [23]. Тем не менее большинство работ рассматривающих загрязнение геополимерных систем буровыми растворами было сконцентрировано на геополимерных растворах полученных из зольной пыли класса F (минимальное содержание пуццолановых соединений составляет 70%), а в качестве загрязняющего агента использовался буровой раствор на углеводородной основе. Необходимо учесть и тот факт, что современная промышленность генерирует зольную пыль класса C (минимальное содержание пуццолановых соединений составляет от 50 до 70%) в не меньшем количестве и применение буровых растворов на водной основе все еще занимает доминирующую позицию в бурении во всем мире.

Таким образом, в представленной работе была поставлена задача, рассмотреть влияние загрязнения буровым раствором на водной основе геополимерных систем полученных из зольной пыли класса C. В ходе проведения исследований был проведен сравнительный анализ изменения реологических и механических свойств цементных и геополимерных систем загрязненных буровым раствором на водной основе.

2. Экспериментальная часть

2.1. Зольная пыль

В таблице 1 приведен состав зольной пыли полученной с помощью метода рентгеновской флуоресценции (XRF). Результаты проведенного анализа показали, что применяемая в исследованиях зольная пыль относится к классу C по классификации Американского общества по испытаниям и материалам (ASTM C 618), так как суммарное содержание пуццолановых соединений, а точнее диоксида кремния (SiO_2), оксида алюминия (Al_2O_3) и оксида железа (Fe_2O_3) находится в диапазоне от 50% до 70%.

2.2. Водный раствор гидроксида натрия (NaOH)

Во всех приведенных экспериментах применялся 40% водный раствор гидроксида натрия, полученный путем смешения 98% гидроксида натрия в соответствующей пропорции с дистиллированной водой.

2.3. Силикат натрия (Na_2SiO_3)

Данное соединение было приобретено у компании Merck KGaA. и использовалось при проведении исследований в полученном виде без каких-либо модификаций.

2.4. Портландцемент

В качестве портландцемента в исследовании был использован цемент класса Н по классификации Американского Института Нефти (API). Химический состав цемента приведен в таблице 2.

2.5. Буровой раствор

В качестве бурового раствора был использован буровой раствор на водной основе приготовленный по нижеописанной процедуре. Предварительно гидратированный в течение 24 часов в пресной воде бентонит смешивался с ксантановой камедью в течение 10 мин. Далее к полученному раствору добавлялась полианионная целлюлоза и также смешивалась в течение 10 мин. Плотность конечного раствора замерялась с применением рычажных весов и в зависимости от полученных значений добавлялся барит до достижения раствором плотности 1.14 г/см³. Все измерения проводились при атмосферном давлении

и температуре 24 °С [25]. Основные свойства бурового раствора перечислены в таблице 3.

2.6. Приготовление геополимерного раствора

Первоначально необходимое количество зольной пыли смешивалось с пресной водой в миксере пропеллерного типа при малой скорости вращения в течение 10 с. Далее постепенно добавляли щелочной активатор (смесь силиката и гидроксида натрия) и перемешивали в течение 10 с на малой и 30 с на высокой скоростях вращения миксера. Композиционный состав геополимерного раствора приведен в таблице 4.

2.7. Приготовление цементного раствора

Портландцемент смешивался при водоцементном соотношении 0,38 в соответствии с рекомендациями API [26]. Все растворы портландцемента смешивались при комнатной температуре и атмосферном давлении.

2.8. Моделирование загрязнения буровым раствором

В данной серии экспериментов в приготовленные образцы цементного и геополимерного растворов добавлялся буровой раствор в концентрациях 5% и 10% по весу сухого цемента (BWOC).

2.9. Измерения реологических и механических свойств геополимерных и цементных растворов

Данная серия экспериментов была проведена согласно стандартным процедурам описанным в рекомендациях АНИ [27]. Все эксперименты были проведены при комнатной температуре и атмосферном давлении.

Элемент	Концентрация, %
SiO ₂	29.17
Al ₂ O ₃	15.24
Fe ₂ O ₃	6.84
CaO	39.52
MgO	4.75
Na ₂ O	1.86
K ₂ O	0.75
Другие	1.87

Элемент	Концентрация, %
SiO ₂	21.14
Al ₂ O ₃	3.24
Fe ₂ O ₃	5.76
CaO	64.59
MgO	1.28
SO ₃	2.13
K ₂ O	0.51
Другие	1.35

Пластическая вязкость, сП	Плотность, г/см ³	Статическое напряжение сдвига 10 сек	Статическое напряжение сдвига 10 мин.
21	1.14	19	26

Щелочной Активатор / Зольная пыль	Зольная пыль, г	Силикат Натрия, г	Гидроксид Натрия, г
0.4	600	60	60

3. Результаты и обсуждение

3.1. Изменение плотности исследуемых систем при загрязнении буровым раствором

Загрязнение буровым раствором не оказало существенного влияния на плотность обеих систем. Результаты проведенных экспериментов показаны на рисунке 1. По мере увеличения концентрации бурового раствора значения плотности снижались, но, тем не менее, находились в пределах нормы, в диапазоне 1.68 до 2.04 г/см³ [28]. Плотность эталонного геополлимерного раствора составляла 1.76 г/см³ и при добавлении 10% бурового раствора уменьшилась до 1.71 г/см³, что в принципе легко объясняется более низкой плотностью бурового раствора.

3.2. Реология

Реологические свойства тампонажного раствора имеют критическое значение при проведении операции по цементированию, ведь именно они определяют мощности и количество применяемого наземного оборудования. В свою очередь увеличение данных показателей не положительно сказывается на экономической составляющей всего процесса. Конечно, изменение реологических свойств неверно оценивать исключительно экономически, в технологическом плане это приведет к увеличению таких показателей как гидравлические сопротивления, эквивалентная циркуляционная плотность и т.д.

В результате это может легко привести к серьезным авариям на скважине или поглощению тампонажного раствора в следствии гидроразрыва пласта. Результаты испытаний показали незначительное уменьшение значений пластической вязкости геополлимерного раствора при увеличении концентрации бурового раствора до 10%, что в принципе можно принять и за погрешность проводимых измерений. Добавление такой же концентрации бурового раствора к цементному напротив привело к 10% увеличению вязкости (рис. 2). Таким образом загрязнение буровым раствором практически не сказывается на реологических свойствах тампонажного раствора.

3.3. Прочность на сжатие

Результаты проведенных испытаний по изучению механических свойств исследуемых растворов представлены на рисунке 3. С увеличением времени отвердевания прочность на сжатие увеличивалась у обеих систем, но динамика набора прочности была различной. Так на ранних этапах твердения (т.е. первые 24 часа) геополлимерные системы показали более высокие значения прочности на сжатие по сравнению с портландцементом, 8.5 и 5.4 МПа соответственно, но на 3/7 сутки твердения данные показатели составили, 23.9/ 32.5 МПа для портландцемента и 15.1/21 МПа соответственно. Следует отметить, что значение прочности цементного камня в 3.4 МПа (500 psi) принимаются большинством сервисных нефтяных компаний достаточным для продолжения бурения последующего интервала, что является, пожалуй, основным требованием, предъявляемым к прочности цементного камня. [29]. В первые сутки твердения оба раствора позволяют достичь данных показателей, но значения прочности геополлимерного камня за данный период на 37% превышают показатели портландцемента. Тем не менее ситуация кардинально меняется при загрязнении обеих систем

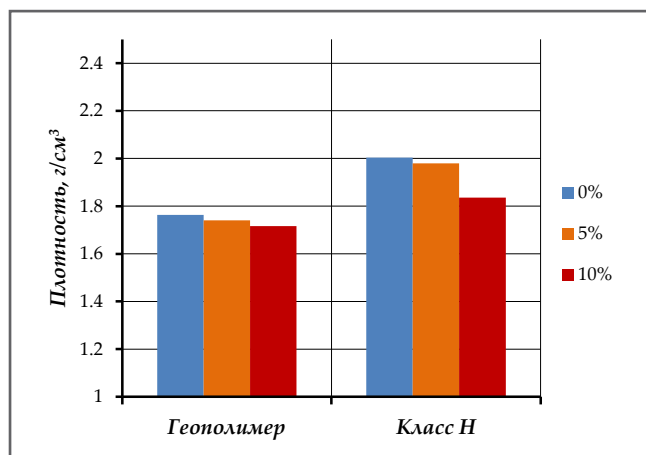


Рис.1. Влияние концентрации бурового раствора на плотность исследуемых тампонажных растворов

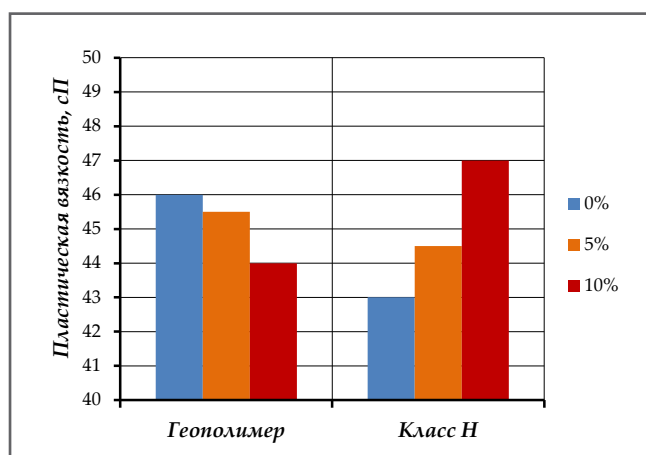
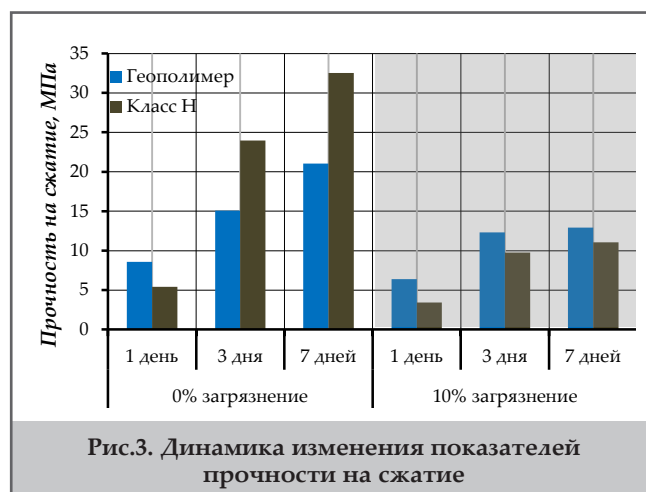


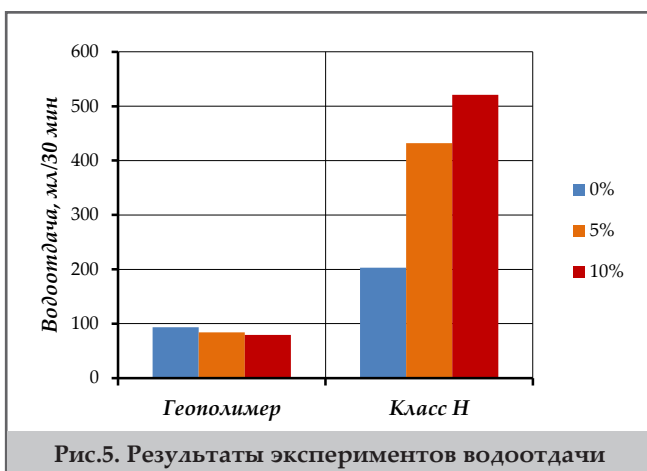
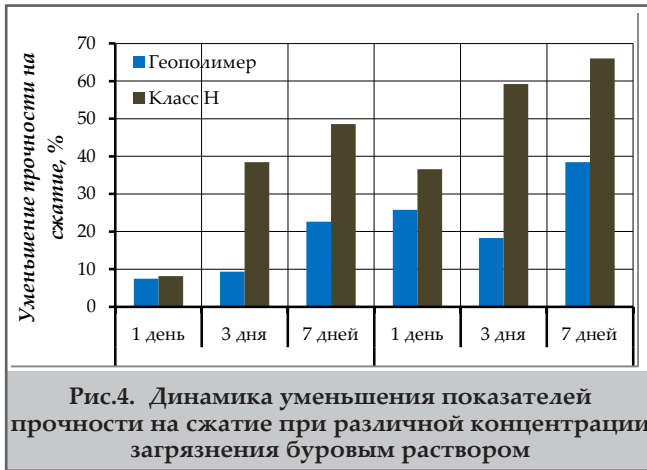
Рис.2. Влияние концентрации бурового раствора на вязкость тампонажных растворов



буровым раствором. Полученные результаты показали, что загрязнение буровым раствором оказывает меньшее влияние на прочность геополлимерного камня, но цементный камень потерял значительную часть своей прочности при идентичных условиях.

При 10% загрязнении буровым раствором геополлимерный камень имел более высокие механические показатели, так через 24 часа значение прочности на сжатие составляло 6.3 МПа по сравнению с 3.4 МПа для портландцемента.

На рисунке 4 показана динамика снижения показате-



лей прочности на сжатие для обоих исследуемых систем при различном времени отвередения. Показатели прочности геополлимерного камня снизились на 7.5/25% при 5/10 % содержании бурового раствора соответственно в первые 24 часа. Для портландцемента соответствующие показатели составили 8.28 и 36.6%. С увеличением вре-

мени отвередения наблюдаемая закономерность сохранилась, так на 7 сутки отвередения прочность геополлимерного камня при 5 % содержании бурового раствора уменьшилась на 22.6% , а цементного камня на 48.6 %. Механизм подобного явления по всей видимости связан с увеличением процентного содержания воды в цементном растворе при добавлении бурового раствора.

3.4. Водоотдача

При закачивании тампонажного раствора в скважину в силу возникающих гидравлических сопротивлений и гидростатического давления флюидов, находящихся в верхних интервалах цементирования на тампонажный раствор действует определенное дифференциальное давление. В результате ее цементный раствор отдает воду и формируется фильтрационная корка. Однако при высоких значениях водоотдачи происходит уменьшение водоцементного соотношения в цементном растворе, что негативно сказывается как на механических, так и на реологических его свойствах. В результате возможно резкое снижение времени загустевания цементного раствора, образование трещин и каналов в цементном камне и формирование ряда сопутствующих осложнений. Результаты проведенных испытаний показали уменьшение значения водоотдачи геополлимерного раствора при 10% концентрации бурового раствора с 93.2 до 79.1 мл. Для портландцемента добавка бурового раствора имела прямо противоположное воздействие, так увеличение концентрации загрязнения с 5 до 10% привело к увеличению значений водоотдачи с 432 до 521 мл (рис. 5). Предположительно наблюдаемое негативное влияние загрязнения буровым раствором также объясняется увеличением общего содержания воды в системе. Для геополлимерной системы механизм воздействия несколько иной, бентонит, содержащийся в буровом растворе в результате, образует алюмосиликатные гели связывая имеющуюся в системе свободную воду [30].

Выводы

- Загрязнение буровым раствором не оказывает существенного влияния на плотность обеих систем, что объясняется незначительной разницей между значениями данного показателя для всех 2 систем.
- Загрязнение буровым раствором не оказало влияния на реологическое поведение геополлимерного раствора, но привело к увеличению вязкости цементного.
- Значения прочности на сжатие уменьшились для обоих исследуемых систем с увеличением концентрации бурового раствора. Тем не менее падение прочности цементного камня было существенно выше .
- Показатели водоотдачи цементного раствора значительно возросли при увеличении концентрации бурового раствора, а для геополлимерного раствора напротив уменьшились, что, по всей видимости, связано с образованием алюмосиликатного геля.

Литература

1. Сулейманов, Б. А., Велиев, Э. Ф. (2016). О влиянии гранулометрического состава и наноразмерных добавок на качество изоляции затрубного пространства в процессе цементирования скважин. *SOCAR Proceedings*, 4, 4-10.
2. Wang, W., Taleghani, A. D. (2014). Three-dimensional analysis of cement sheath integrity around Wellbores. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 121, 38-51.
3. Jafariesfad, N., Sangesland, S., Gawel, K., Torsæter, M. (2020). New materials and technologies for life-lasting cement sheath: a review of recent advances. *SPE Drilling & Completion*, 35(02), 262-278.
4. Алиев, А. А. (2021). Улучшение реологических свойств геополимеров щелочной активации с применением технологических жидкостей на безводной основе. *Prospecting and Development of Oil and Gas Fields*, 3(80), 60-67.
5. Davidovits, J. (1994). Properties of geopolymer cements. In First international conference on alkaline cements and concretes. Vol. 1. Kiev State Technical University, Ukraine: Scientific Research Institute on Binders and Materials.
6. (2003). Fly ash facts for highway engineers. US Department of Transportation, Federal Highway Administration. American Coal Ash Association.
7. Kong, D. L., Sanjayan, J. G. (2008). Damage behavior of geopolymer composites exposed to elevated temperatures. *Cement and Concrete Composites*, 30(10), 986-991.
8. Adjei, S., Elkhatny, S., Aggrey, W. N., Abdelraouf, Y. (2022). Geopolymer as the future oil-well cement: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 208, 109485.
9. Leong, H. Y., Ong, D. E. L., Sanjayan, J. G., Nazari, A. (2016). The effect of different Na₂O and K₂O ratios of alkali activator on compressive strength of fly ash based-geopolymer. *Construction and Building Materials*, 106, 500-511.
10. Al-Bakari, A. M., Kareem, A., Myint, S. (2012). Optimization of alkaline activator/fly ash ratio on the compressive strength of fly ash-based geopolymer. Kanger: University Malaysia Perlis (UniMAP).
11. Ridha, S., Yerikania, U. (2015). The strength compatibility of nano-SiO₂ geopolymer cement for oil well under HPHT conditions. *Journal of Civil Engineering Research*, 5(4A), 6-10.
12. Sugumaran, M. (2015, October). Study on effect of low calcium fly ash on geopolymer cement for oil well cementing. SPE-176454-MS. In: *SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers*.
13. Ridha, S., Abd Hamid, A. I., Halim, A. A., Zamzuri, N. A. (2018, April). Elasticity and expansion test performance of geopolymer as oil well cement. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 140(1), 012147.
14. Uehara, M. (2010). New concrete with low environmental load using the geopolymer method. *Quarterly Report of RTRI*, 51(1), 1-7.
15. Thokchom, S., Ghosh, P., Ghosh, S. (2009). Acid resistance of fly ash based geopolymer mortars. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 1(6), 36.
16. Arbad, N., Teodoriu, C. (2020). A review of recent research on contamination of oil well cement with oil-based drilling fluid and the need of new and accurate correlations. *ChemEngineering*, 4(2), 28.
17. Vipulanandan, C., Heidari, M., Qu, Q., et al. (2014, May). Behavior of piezoresistive smart cement contaminated with oil based drilling mud. OTC-25200-MS. In: *Offshore Technology Conference. Society of Petroleum Engineers*.
18. Zheng, Y., She, C., Yao, K., et al. (2015). Contamination effects of drilling fluid additives on cement slurry. *Natural Gas Industry B*, 2(4), 354-359.
19. Morgan, B. E., Dumbauld, G. K. (1952). Use of activated charcoal in cement to combat effects of contamination by drilling muds. *Journal of Petroleum Technology*, 4(09), 225-232.
20. El-Sayed, H. (1995). Effect of drilling muds contamination on cement slurry properties. In: *Fourth Saudi Engineering Conference*.
21. Arbad, N., Rincon, F., Teodoriu, C., Amani, M. (2021). Experimental investigation of deterioration in mechanical properties of oil-based mud (OBM) contaminated API cement slurries & correlations for ultrasonic cement analysis. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 205, 108909.
22. Katende, A., Lu, Y., Bungler, A., Radonjic, M. (2020). Experimental quantification of the effect of oil based drilling fluid contamination on properties of wellbore cement. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 79, 103328.
23. Liu, X., Aughenbaugh, K., Nair, S., et al. (2016, September). Solidification of synthetic-based drilling mud using geopolymers. SPE-180325-MS. In: *SPE Deepwater Drilling and Completions Conference. Society of Petroleum Engineers*.
24. Arbad, N., Rincon, F., Teodoriu, C., Amani, M. (2021, November). Mechanical properties of API class C cement contaminated with oil-based mud OBM at elevated temperatures and early curing time. SPE-204302-MS. In: *SPE International Conference on Oilfield Chemistry. Society of Petroleum Engineers*.
25. (2019). API RP 13B-1. Field Testing Water-based Drilling Fluids. *The American Petroleum Institute*.
26. (2019). API SPEC 10A. Cements and materials for well cementing. *The American Petroleum Institute*.
27. (2013). API RP 10B-2. Recommended practice for testing well cements. *The American Petroleum Institute*.
28. Pang, X., Boul, P. J., Jimenez, W. C. (2014). Nanosilicas as accelerators in oilwell cementing at low temperatures. *SPE Drilling & Completion*, 29(01), 98-105.
29. Maier, L. F. (1965). Understanding surface casing waiting-on-cement time. *Journal of Canadian Petroleum Technology*, 4(03), 140-147.
30. Suppiah, R. R., Rahman, S. H. A., Irawan, S., Shafiq, N. (2016, November). Development of new formulation of geopolymer cement for oil well cementing. IPTC-18757-MS. In: *International Petroleum Technology Conference. Society of Petroleum Engineers*.

References

1. Suleimanov, B. A., Veliyev, E. F. (2016). The effect of particle size distribution and the nano-sized additives on the quality of annulus isolation in well cementing. *SOCAR Proceedings*, 4, 4-10.
2. Wang, W., Taleghani, A. D. (2014). Three-dimensional analysis of cement sheath integrity around Wellbores. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 121, 38-51.
3. Jafariesfad, N., Sangesland, S., Gawel, K., Torsæter, M. (2020). New materials and technologies for life-lasting cement sheath: a review of recent advances. *SPE Drilling & Completion*, 35(02), 262-278.
4. Aliev, A. A. (2021). Improving the rheological properties of alkaline-activated geopolymers using water-free fluids. *Prospecting and Development of Oil and Gas Fields*, 3(80), 60-67.
5. Davidovits, J. (1994). Properties of geopolymer cements. In First international conference on alkaline cements and concretes. Vol. 1. Kiev State Technical University, Ukraine: Scientific Research Institute on Binders and Materials.
6. (2003). Fly ash facts for highway engineers. US Department of Transportation, Federal Highway Administration. American Coal Ash Association.
7. Kong, D. L., Sanjayan, J. G. (2008). Damage behavior of geopolymer composites exposed to elevated temperatures. *Cement and Concrete Composites*, 30(10), 986-991.
8. Adjei, S., Elkhatny, S., Aggrey, W. N., Abdelraouf, Y. (2022). Geopolymer as the future oil-well cement: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 208, 109485.
9. Leong, H. Y., Ong, D. E. L., Sanjayan, J. G., Nazari, A. (2016). The effect of different Na₂O and K₂O ratios of alkali activator on compressive strength of fly ash based-geopolymer. *Construction and Building Materials*, 106, 500-511.
10. Al-Bakari, A. M., Kareem, A., Myint, S. (2012). Optimization of alkaline activator/fly ash ratio on the compressive strength of fly ash-based geopolymer. Kanger: University Malaysia Perlis (UniMAP).
11. Ridha, S., Yerikania, U. (2015). The strength compatibility of nano-SiO₂ geopolymer cement for oil well under HPHT conditions. *Journal of Civil Engineering Research*, 5(4A), 6-10.
12. Sugumaran, M. (2015, October). Study on effect of low calcium fly ash on geopolymer cement for oil well cementing. SPE-176454-MS. In: *SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
13. Ridha, S., Abd Hamid, A. I., Halim, A. A., Zamzuri, N. A. (2018, April). Elasticity and expansion test performance of geopolymer as oil well cement. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 140(1), 012147.
14. Uehara, M. (2010). New concrete with low environmental load using the geopolymer method. *Quarterly Report of RTRI*, 51(1), 1-7.
15. Thokchom, S., Ghosh, P., Ghosh, S. (2009). Acid resistance of fly ash based geopolymer mortars. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 1(6), 36.
16. Arbad, N., Teodoriu, C. (2020). A review of recent research on contamination of oil well cement with oil-based drilling fluid and the need of new and accurate correlations. *ChemEngineering*, 4(2), 28.
17. Vipulanandan, C., Heidari, M., Qu, Q., et al. (2014, May). Behavior of piezoresistive smart cement contaminated with oil based drilling mud. OTC-25200-MS. In: *Offshore Technology Conference*. Society of Petroleum Engineers.
18. Zheng, Y., She, C., Yao, K., et al. (2015). Contamination effects of drilling fluid additives on cement slurry. *Natural Gas Industry B*, 2(4), 354-359.
19. Morgan, B. E., Dumbauld, G. K. (1952). Use of activated charcoal in cement to combat effects of contamination by drilling muds. *Journal of Petroleum Technology*, 4(09), 225-232.
20. El-Sayed, H. (1995). Effect of drilling muds contamination on cement slurry properties. In: *Fourth Saudi Engineering Conference*.
21. Arbad, N., Rincon, F., Teodoriu, C., Amani, M. (2021). Experimental investigation of deterioration in mechanical properties of oil-based mud (OBM) contaminated API cement slurries & correlations for ultrasonic cement analysis. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 205, 108909.
22. Katende, A., Lu, Y., Bunger, A., Radonjic, M. (2020). Experimental quantification of the effect of oil based drilling fluid contamination on properties of wellbore cement. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 79, 103328.
23. Liu, X., Aughenbaugh, K., Nair, S., et al. (2016, September). Solidification of synthetic-based drilling mud using geopolymers. SPE-180325-MS. In: *SPE Deepwater Drilling and Completions Conference*. Society of Petroleum Engineers.
24. Arbad, N., Rincon, F., Teodoriu, C., Amani, M. (2021, November). Mechanical properties of API class C cement contaminated with oil-based mud OBM at elevated temperatures and early curing time. SPE-204302-MS. In: *SPE International Conference on Oilfield Chemistry*. Society of Petroleum Engineers.
25. (2019). API RP 13B-1. Field Testing Water-based Drilling Fluids. *The American Petroleum Institute*.
26. (2019). API SPEC 10A. Cements and materials for well cementing. *The American Petroleum Institute*.
27. (2013). API RP 10B-2. Recommended practice for testing well cements. *The American Petroleum Institute*.
28. Pang, X., Boul, P. J., Jimenez, W. C. (2014). Nanosilicas as accelerators in oilwell cementing at low temperatures. *SPE Drilling & Completion*, 29(01), 98-105.
29. Maier, L. F. (1965). Understanding surface casing waiting-on-cement time. *Journal of Canadian Petroleum Technology*, 4(03), 140-147.
30. Suppiah, R. R., Rahman, S. H. A., Irawan, S., Shafiq, N. (2016, November). Development of new formulation of geopolymer cement for oil well cementing. IPTC-18757-MS. In: *International Petroleum Technology Conference*. Society of Petroleum Engineers.

Сравнительный анализ применения геополимера и портландцемента в качестве тампонажного материала в условиях не полного вытеснения бурового раствора из кольцевого пространства

Э. Ф. Велиев^{1,2}, А. А. Алиев¹

¹НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, Баку, Азербайджан; ²Научно-исследовательский центр «Композитные материалы», Азербайджанский государственный экономический университет, Баку, Азербайджан

Реферат

Портландцемент уже много лет используется в качестве основного тампонажного материала при цементировании нефтяных и газовых скважин. Однако данный продукт не лишен недостатков наиболее существенными, из которых являются образующиеся микро-каналы на границах раздела цемента и окружающей среды, радиальные трещины и каналы в самой цементной матрице. Одним из наиболее перспективных аналогов портландцемента в настоящее время является материал, называемый геополимером. В представленной работе была поставлена задача, рассмотреть влияние загрязнения буровым раствором на водной основе геополимерных систем полученных из зольной пыли класса С. Результаты показывают, что геополимерные растворы более устойчивы к загрязнению буровым раствором на водной основе, чем портландцементы. Так, смешивание портландцементного раствора с буровым раствором на водной основе увеличивает его вязкость и водоотдачу, а также резко снижает прочность на сжатие. Однако при смешивании геополимерного раствора с буровым раствором на водной основе его вязкость практически не изменяется, водоотдача уменьшается, а снижение прочности на сжатие меньше, чем у портландцемента.

Ключевые слова: портландцемент; геополимер; зольная пыль; цементирование; буровой раствор на водной основе; загрязнения буровым раствором.

Həlqəvi fəzadan qazma məhlulunun natamam sıxışdırılması zamanı geopolimer və portlandsementin tamponaj materialı kimi tətbiqinin müqayisəli analizi

E. F. Vəliyev^{1,2}, Ə. A. Əliyev¹

¹«Neftqazəlmütədqiqatlayihə» İnstitutu, SOCAR, Bakı, Azərbaycan
²«Kompozit materiallar» Elmi-Tədqiqat Mərkəzi, Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti, Bakı, Azərbaycan

Xülasə

Ənənəvi olaraq neft və qaz quyularının qazılması zamanı tətbiq olunan tamponaj materialının əsas tərkib hissəsi kimi portlandsement istifadə olunur. Lakin, portlandsementin bir sıra çatışmazlıqları mövcuddur. Bunlardan ən əsası sement daşı ilə süxur və ya texniki kəmərlər arasında boşluqların yaranması, habelə sement daşının özündə çatların və keçirici kanalların yaranmasıdır. Son illərdə aparılmış araşdırmalar göstərir ki, geopolimer portlandsementi əvəz edərək quyuların sementlənməsində istifadə oluna bilər. Məqalədə geopolimer və portlandsement tərkibli tamponaj məhlullarının su əsaslı qazma məhlulu ilə çirklənməsi zamanı parametrlərinin dəyişməsi müqayisəli təhlil olunmuşdur. Nəticələr göstərir ki, geopolimer tərkibli tamponaj məhlulları su əsaslı qazma məhlulu ilə qarşılıqlı təsirə daha dayanıqlıdır, nəinki, portlandsement tərkibli tamponaj məhlulları. Belə ki, portlandsement tərkibli tamponaj məhlulunun su əsaslı qazma məhlulu ilə qarışması onun özlülüyünün və suverməsinin artmasına, sıxılmaya qarşı möhkəmliyinin isə kəskin azalmasına səbəb olur. Halbuki, geopolimer məhlulu su əsaslı qazma məhlulu ilə qarışdıqda özlülüyü demək olar ki dəyişmir, suverməsi azalır və sıxılmaya qarşı möhkəmliyi isə portlandsementə nisbətən daha az azalır.

Açar sözlər: portland sement; geopolimer; kül; sementləmə; su əsaslı qazma məhlulu; qazma məhlulu ilə çirklənmə.