

Оригинальная статья / Original article

УДК 622

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2019-42-2-201-208>

Влияние микрокремнезема на физические свойства тампонажного камня

© Н.А. Буглов, Л.А. Бутакова, Н.С. Буланов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме: Целью данной работы является выявление изменений физическо-механических показателей тампонажного камня в зависимости от добавления различных концентраций микрокремнезема разных марок, а также проведение экспериментального сравнения полученных значений с допустимыми параметрами государственного стандарта. Затворение раствора производилось в разных концентрациях. Время ожидания затвердевания цемента перед испытанием составило 48 часов, при этом в первые сутки твердение проходило в формах-балочках, а в дальнейшем – в ванне с водой. Полученный цементный камень был проверен на прочность при сжатии и изгибе с помощью гидравлического пресса, также были произведены замеры водоотделения и растекаемости раствора. На основе экспериментов и анализа полученных данных выведена зависимость влияния микрокремнезема на прочностные свойства тампонажного камня, а также сделаны выводы о допустимом количестве микрокремнезема в цементной смеси. При повышении концентрации микрокремнезема более 8 % цементная смесь перестает соответствовать государственному стандарту, так как становится слишком вязкой, а следовательно, сложнопрокачиваемой. В данной статье рассмотрена возможность улучшения свойств тампонажного камня при строительстве скважин для эксплуатации углеводородных месторождений. Проведен ряд практических опытов по модифицированию тампонажного цемента марки ПЦТ I-50. В качестве добавок был использован микрокремнезем марок МК-65 и МК-85. Выбор данного реагента объясняется тем, что теоретически он способен влиять на прочность и проницаемость цементного камня, а также водоотделение, сульфатостойкость, плотность тампонажного раствора. На основе проведенного исследования сделан вывод о том, что применение данных добавок оказывает воздействие на прочностные свойства камня, но необходимо провести дополнительные эксперименты по увеличению подвижности цементного раствора, в случае успешно подобранной добавки по уменьшению его вязкостных свойств можно добиться получения консистенции, которая удовлетворяла бы производственным требованиям.

Ключевые слова: портландцемент, цементный камень, микрокремнезем, прочностные характеристики, растекаемость, предел прочности

Информация о статье: Дата поступления 15 марта 2019 г.; дата принятия к печати 16 апреля 2019 г.; дата онлайн-размещения 27 июня 2019 г.

Для цитирования: Буглов Н.А., Бутакова Л.А., Буланов Н.С. Влияние микрокремнезема на физические свойства тампонажного камня. *Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых*. 2019. Т. 42. № 2. С. 201–208. DOI: 10.21285/2541-9455-2019-42-2-201-208.

Influence of silica fume on the physical properties of oil-well cement stone

© Nicolai A. Buglov, Lyubov A. Butakova, Nikita S. Bulanov

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract: The aim of the study has been to define the changes in the physical-mechanical properties of cement stone when adding different-concentration silica fume (SF) of different grades, and to experimentally compare the obtained values with the state standard (GOST) permissible values. Different-concentration cement slurry was mixed, with a 48-hour interval for thickening and solidification before the test. The obtained cement stone was tested for compressive and flexural strength using a hydraulic press; besides, its water separation and spreadability measurements were taken. Based on the experimental data analysis, the dependence of the cement stone's strength properties on silica fume admixture was defined, and conclusions were drawn on the permissible amount of SF in the cement slurry. With the SF concentration exceeding 8%, the cement slurry no longer meets the standard values

and becomes low workable and highly viscous. The article discusses the possibility of improving the cement stone properties in well construction for hydrocarbon deposits development. A series of experiments have been carried out with the purpose to modify the cement of PCT – 1-50 grade with silica fume admixtures of MK-65 and MK-85 grades. The reagent was chosen due to its ability to influence the strength and permeability of the cement stone, as well as the water separation, sulfate resistance, and density of the cement slurry. On the basis of the study done, it has been concluded that the above admixtures do influence the strength properties of the stone; though to increase the flowability of the cement slurry, further experiments are needed. A properly selected admixture can reduce the cement slurry's viscosity, thereby making it possible to achieve the consistency meeting the production requirements.

Keywords: portland cement, cement stone, silica fume, strength characteristics, spreadability, ultimate strength

Information about the article: Received March 15, 2019; accepted for publication April 16, 2019; available online June 27, 2019.

For citation: Buglov N.A., Butakova L.A., Bulanov N.S. Influence of silica fume on the physical properties of oil-well cement stone. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya seksii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits*, 2019, vol. 42, no. 2, pp. 201–208. (In Russ.) DOI: 10.21285/2541-9455-2019-42-2-201-208.

Введение

В нефтегазовых районах со сложными геолого-техническими условиями не всегда удается качественно разобшить пласты друг от друга. Анализ литературных данных [1–2] показывает, что число скважин, в которых возникают осложнения после цементирования, очень велико. Так, например, анализ, проведенный Н.Н. Круглицким и его командой, показал, что из 66 скважин Самолорского нефтяного месторождения в 29 отмечены межпластовые перетоки и межколонные газопроявления [3]. А.И. Булатов и другие [4] приводят случаи низкого качества цементирования скважин с образованием кратеров. Очень часты случаи, когда цементный раствор в затрубном пространстве не поднимается до планируемых высот.

Цементирование обсадных колонн является заключительным и вместе с тем одним из важнейших процессов строительства скважин для разведки и эксплуатации нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений. Большое внимание уделяется поиску тампонажных растворов и смесей, которые наилучшим образом подходят под конкретные горно-геологические условия [5].

Одной из возможных причин некачественного крепления скважин является

использование тампонажного портландцемента. Бездобавочный портландцемент становится непригодным изоляционным материалом для сложных геолого-технических условий и требует доработок.

Материалы и методы исследования

Все показания и значения, использованные в работе, получены экспериментальным путем или с помощью обработки экспериментальных данных.

Результаты исследования и их анализ

Одной из добавок, которая может улучшить физическо-механические свойства камня, является микрокремнезем [6]. Его применение объясняется тем, что он способен влиять на прочность, водоотделение, сульфатостойкость, проницаемость, а также способствует понижению плотности и, как следствие, гидравлического давления [7].

Использование микрокремнезема при тампонировании скважин позволяет добиться:

- уменьшения расхода цемента;
- увеличения прочности как на изгиб, так и на сжатие;
- уменьшения водоотделения;
- увеличения срока службы нефтегазовой скважины.

В лаборатории буровых растворов и крепления скважин был проведен ряд исследований по применению микрокремнезема двух марок – МК-65 и МК-85 – к тампонажному портландцементу марки ПЦТ I-50 (таблица). В ходе эксперимента замерялись такие показатели, как: водоотделение, растекаемость, прочность при изгибе и сжатии.

В результате добавления микрокремнезема в тампонажный портландцемент наблюдается увеличение прочности, которое обусловлено образованием связывающих соединений при реакции с СаО, освобождаемой при гидратации портландцемента. Вследствие этого частицы микрокремнезема присоединяются к каждому зерну цемента, таким образом, цементный раствор начинает уплотняться, а пустоты заполняются продуктами гидратации [8].

При добавлении микрокремнезема в цемент увеличилась прочность при

сжатии. При концентрации 12 % реагента МК-65 данная характеристика возрастает почти на 24 %, что является довольно хорошим показателем (рис. 1). Но при проверке на прочность при изгибе показатели в лучшую сторону кардинально не изменились. Наилучший показатель был достигнут при добавлении 10 % МК-65, в результате прочность выросла всего на 8,5 % (рис. 2). С применением МК-65 прочностные характеристики цемента возросли, но при этом показатель растекаемости сильно снизился. Так, при добавлении 10 % МК-65 цементный раствор не соответствует ГОСТ 26798.1-96, поэтому дальнейшее повышение концентрации МК-65 в ПЦТ I-50 не имеет смысла (рис. 3).

Кроме этого, был проведен ряд экспериментов, связанных с добавлением МК-85 в ПЦТ I-50. Эта добавка также лучше проявила себя в опытах при сжатии. Данный показатель при добавлении

Составы и свойства тампонажных растворов Composition and properties of cement slurries

Состав раствора	Водоотделение, мл	Время ожидания затвердевания, ч	Температура, °С	Соотношение вода / цемент
ПЦТ I-50	1,1	48	22	0,5
ПЦТ I-50 + 5 % МК-65	0,5			
ПЦТ I-50 + 8 % МК-65	0			
ПЦТ I-50 + 10 % МК-65	0			
ПЦТ I-50 + 12 % МК-65	0			
ПЦТ I-50 + 5 % МК-85	0			
ПЦТ I-50 + 8 % МК-85	0			
ПЦТ I-50 + 10 % МК-85	0			

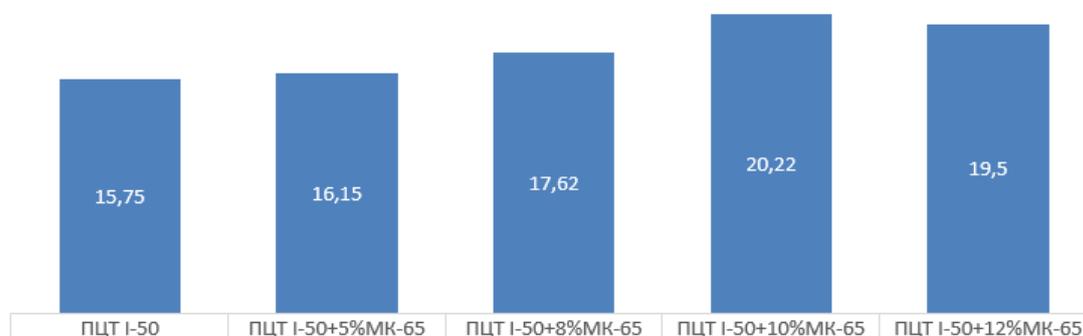


Рис. 1. Показатели предела прочности при сжатии при добавлении МК-65, МПа
Fig. 1. Ultimate compressive strength when adding МК-65, МПа

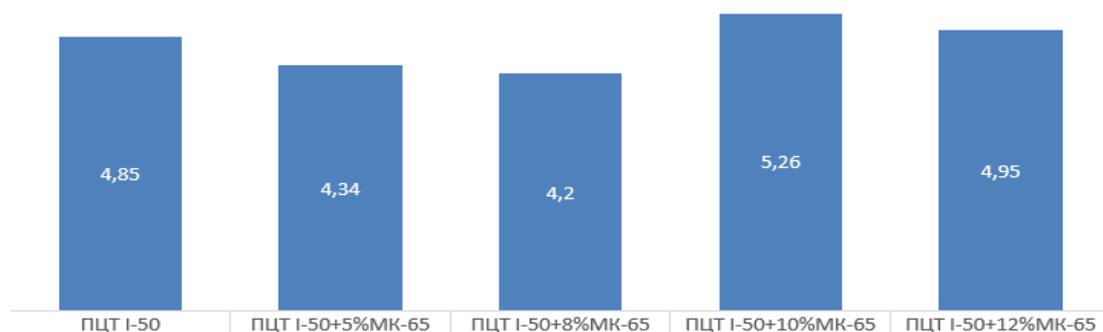


Рис. 2. Показатели предела прочности при изгибе при добавлении МК-65, МПа
 Fig. 2. Ultimate flexural strength when adding MK-65, MPa

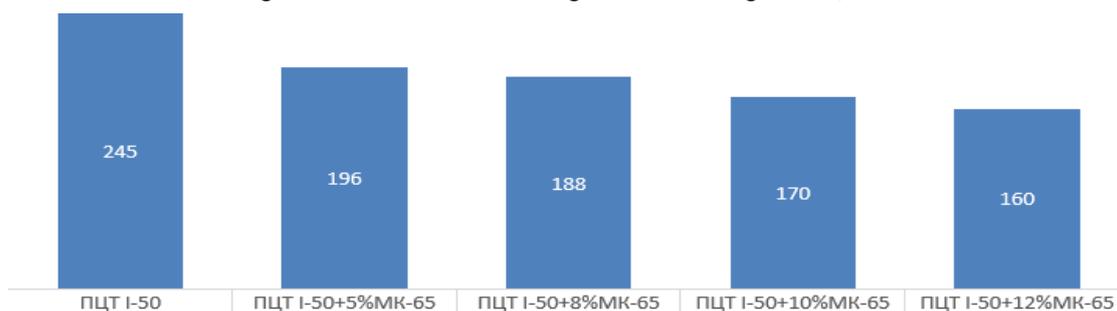


Рис. 3. Показатели растекаемости при добавлении МК-65, мм
 Fig. 3. Spreadability when adding MK-65, mm

10 % МК-85 увеличился по отношению к бездобавочному цементу на 55,8 %, что на 27,1 % больше показателя предела при сжатии с добавлением такой же концентрации МК-65 (рис. 4).

В то же время прочность при изгибе при добавлении 10 % МК-85 относительно бездобавочного ПЦТ I-50 возросла на 15,7 %, этот показатель также превосходит данные результатов, полученные при добавлении МК-65 (рис. 5). Таким образом, можно сказать, что добавление МК-85 существенно увеличивает прочностные характеристики цементного камня по сравнению с добавкой

МК-65, но экспериментальные показатели растекаемости не соответствуют ГОСТ 26798.1-96 [9], поэтому дальнейшее увеличение концентрации МК-85 нецелесообразно, так как необходимо повышать растекаемость цементного раствора путем добавления пластифицирующих добавок (рис. 6).

Процесс заполнения пор способствует значительному понижению пористости цемента. При достаточном добавлении микрокремнезема в портландцемент можно получить непроницаемый цементный камень, таким образом, микрокремнезем может оказывать

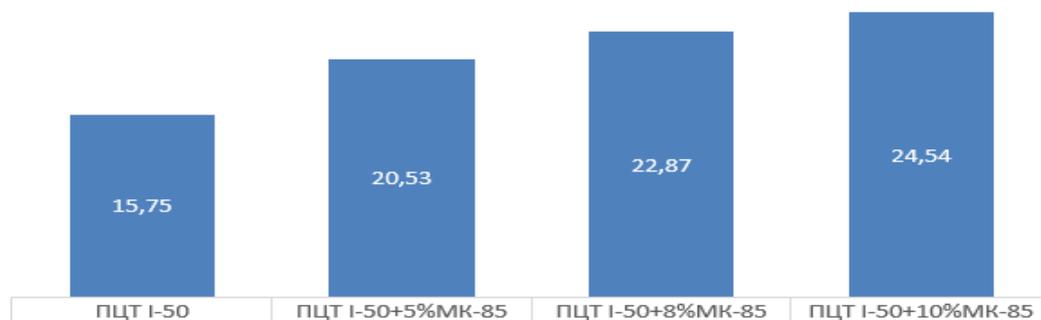


Рис. 4. Показатели предела прочности при сжатии при добавлении МК-85, МПа
 Fig. 4. Ultimate compressive strength when adding MK-85, MPa

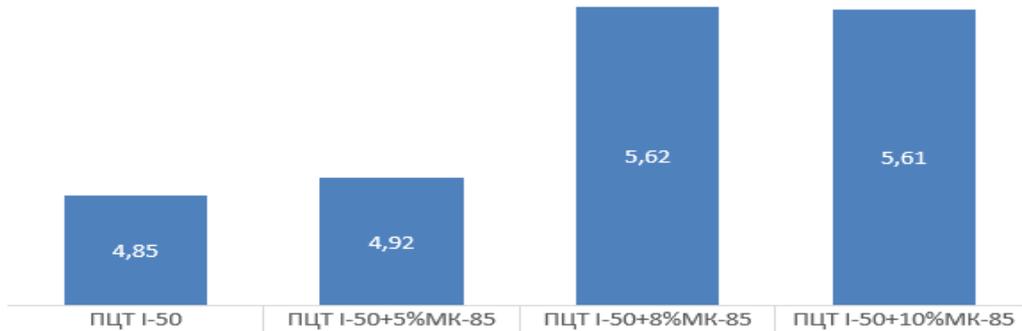


Рис. 5. Показатели предела прочности при изгибе при добавлении МК-85, МПа
Fig. 5. Ultimate flexural strength when adding of МК-85, MPa

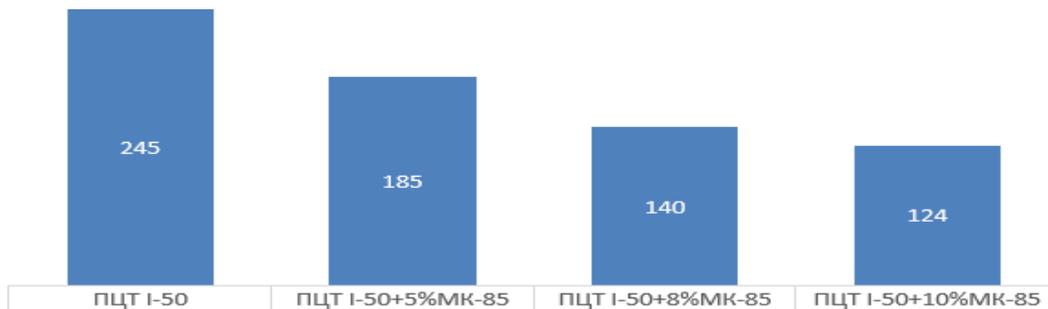


Рис. 6. Показатели растекаемости при добавлении МК-85, мм
Fig. 6. Spreadability when adding МК-85, mm

большее влияние на свойство проницаемости, нежели прочности. Проницаемость камня, содержащего микрокремнезем, будет меньше [10], чем проницаемость камня на основе бездобавочного цемента, обладающего такими же прочностными характеристиками.

Обсуждение результатов

Экспериментальным путем при добавлении МК-65 и МК-85 удалось достигнуть повышения прочностных характеристик ПЦТ I-50, но при этом снизился показатель растекаемости [11]. На основе проведенного исследования сделан вывод, что применение данных добавок возможно, но необходимо провести дополнительные эксперименты по увеличению подвижности цементного раствора. Также выяснилось, что при добавлении микрокремнезема требуется добавление пластифицирующих реагентов [12], способствующих разжижению раствора. Поэтому в процессе тампонирувания нефтегазовых скважин данным цемент-

ным раствором без добавления разжижающих присадок могут возникнуть трудности с прокачкой раствора в затрубное пространство, потому что он обладает низкой подвижностью, а следовательно, ни один насос не сможет прокачать такую высоковязкую консистенцию.

Заключение

Цементирование скважины – один из самых ответственных моментов при строительстве скважины [13], если в ходе этого процесса нарушить технологию или использовать неподходящий цемент, в скором времени скважина может выйти из строя или полностью прекратить свою работу. Недоброкачественный тампонаж скважин может привести к перетоку флюида из продуктивного пласта в пласт с меньшим давлением [14]. Следовательно, необходимо активно работать над модифицированием тампонажных растворов. Исследования в этом направлении являются весьма актуальными.

Библиографический список

1. Круглицкий Н.Н., Гранковский И.Г., Вагнер Г.Р., Детков В.П. Физико-химическая механика тампонажных растворов. Киев: Наукова думка, 1974. 291 с.
2. Самсоненко Н.В., Симонянц С.Л., Самсоненко В.А. О влиянии объемных изменений тампонажных растворов-камней на качество первичного цементирования // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2017. № 4. С. 19–24.
3. Булатов А.И., Рябченко В.И., Сибирко И.А., Сидоров Н.А. Газопроявления в скважинах и борьба с ними. М.: Недра, 1969. 287 с.
4. Вавржин Ф. Влияние химических добавок на процессы гидратации и твердения цемента: доклады VI Междунар. конгресса по химии цемента. М.: Стройиздат, 1976. 34 с.
5. Каримов Н.Х., Данюшевский В.С., Рахимбаев Ш.М. Разработка рецептур и применение расширяющихся тампонажных цементов. М.: Изд-во ВНИИОЭНГ, 1980. 51 с.
6. Шакирова Э.В., Аверкина Е.В., Сабиров Т.Р., Пырышкина К.О. Применение нефти в качестве смазочной добавки в буровом растворе (на примере Ярактинского нефтегазоконденсатного месторождения) // Нефтегазовое дело. 2018. Т. 16. № 2. С. 12–19.
7. Bayasi Z., Zhou J. Properties of silica fume concrete and mortar // ACI Materials Journal. 1993. Vol. 90 (4). P. 349–356.
8. Bhikshma V., Nitturkar K., Venkatesham Y. Investigations on mechanical properties of high strength silica fume concrete // Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing). 2009. Vol. 10 (3). P. 335–346.
9. Venkatesh Babu D.L., Nateshan S.C. Investigations on silica fume concrete // Indian Concrete Journal. 2004. P. 57–60.
10. Иванов Ф.М. Эффективность использования суперпластификаторов // Бетоны с эффективными модифицирующими добавками. М.: Изд-во НИИЖБ, 1985. С. 3–7.
11. Yamada K.A. Summary of important characteristics of cement and superplasticizers // Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete: proceedings of 9th CANMET/ACI International Conference. Seville, 2009. P. 29–58.
12. Prince W., Espagne M., Aitcin P.C. Ettringite formation: a crucial step in cement superplasticizer compatibility // Cement and Concrete Research. 2003. Vol. 33. Iss. 5. P. 635–641.
13. Grabiec A.M., Piasta Z. Study on compatibility of cement-superplasticiser assisted by multicriteria statistical optimization // Journal of Materials Processing Technology. 2004. Vol. 152. P. 197–203.
14. Holland T.C. Technical Report no. FHWA-IF-05-016 // Silica Fume. User's Manual. 2005. April. 183 p.

References

1. Kruglitskii N.N., Grankovskii I.G., Vagner G.R., Detkov V.P. *Fiziko-khimicheskaya mekhanika tamponazhnykh rastvorov* [Physico-chemical mechanics of cement slurries]. Kiev: Naukova dumka Publ., 1974, 291 p. (In Russ.).
2. Samsonenko N.V., Simonyants S.L., Samsonenko V.A. The effect of volume changes of grouting mortars-stones on the quality of casing strings primary cementing in wells. *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*, 2017, no. 4, pp. 19–24. (In Russ.).
3. Bulatov A.I., Ryabchenko V.I., Sibirko I.A., Sidorov N.A. *Gazoproavleniya v skvazhinakh i bor'ba s nimi* [Gas show control in wells]. Moscow: Nedra Publ., 1969, 287 p. (In Russ.).
4. Vavrzhin F. *Vliyanie khimicheskikh dobavok na protsessy gidratsii i tverdeniya tsementa* [Effect of chemical admixtures on cement hydration and hardening]. *Doklady VI Mezhdunar. kongressa po khimii tsementa* [Materials of 4th International Congress on Cement Chemistry]. Moscow: Stroizdat Publ., 1976, 34 p. (In Russ.).
5. Karimov N.Kh., Danyushevskii V.S., Rakhimbaev Sh.M. *Razrabotka retseptur i primeneniye rasshiryayushchikhysya tamponazhnykh tsementov* [Formulation and application of expanding cement cements]. Moscow: All-Russian Research Institute of Organization, Management and Economics of Oil and Gas Industry Publ., 1980, 51 p. (In Russ.).
6. Shakirova E.V., Averkina E.V., Sabirov T.R., Peryshkina K.O. Use of oil as lubricant additive in drilling mud fluid (on the example of the Yarakinsky oil-gas condensate field). *Neftgazovoe delo* [Petroleum Engineering], 2018, vol. 16, no. 2, pp. 12–19. (In Russ.).
7. Bayasi Zing, Zhou Jing. Properties of silica fume concrete and mortar. *ACI Materials Journal*, 1993, vol. 90 (4), pp. 349–356.
8. Bhikshma V., Nitturkar K., Venkatesham Y. Investigations on mechanical properties of high strength silica fume concrete. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*, 2009, vol. 10 (3), pp. 335–346.
9. Venkatesh Babu D.L., Nateshan S.C. Investigations on silica fume concrete. *Indian Concrete Journal*, 2004, pp. 57–60.
10. Ivanov F.M. *Effektivnost' ispol'zovaniya superplastifikatorov* [Superplasticizers usage

efficiency]. *Betony s effektivnymi modifitsiruyushchimi dobavkami* [Concretes with Effective Modifying Admixtures]. Moscow: Research, Design and Technology Institute of Concrete and Reinforced Concrete n.a. A.A. Gvozdev Publ., 1985, pp. 3–7. (In Russ.).

11. Yamada K.A. Summary of important characteristics of cement and superplasticizers. Proceedings of 9th CANMET/ACI International Conference "Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete". Seville, 2009, pp. 29–58.

12. Prince W., Espagne M., Aitcin P.C. Ettringite formation: a crucial step in cement superplasticizer compatibility. *Cement and Concrete Research*, 2003, vol. 33, iss. 5, pp. 635–641.

13. Grabiec A.M., Piasta Z. Study on compatibility of cement-superplasticiser assisted by multicriteria statistical optimization. *Journal of Materials Processing Technology*, 2004, vol. 152, pp. 197–203.

14. Holland T.C. Technical Report no. FHWA-IF-05-016. Silica Fume. User's Manual, 2005, April, 183 p.

Критерии авторства / Authorship criteria

Буглов Н.А., Бутакова Л.А., Буланов Н.С. написали статью, имеют на нее авторские права и несут ответственность за плагиат.

Nikolai A. Buglov, Lyubov A. Butakova, Nikita S. Bulanov are the authors the article, hold equal copyright and bear equal plagiarism responsibility.

Конфликт интересов / Responsibility for plagiarism

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of the article.

Сведения об авторах / Information about the authors



Буглов Николай Александрович,

кандидат технических наук,
заведующий кафедрой нефтегазового дела,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: bna@istu.edu

Nikolai A. Buglov,

Cand. Sci. (Eng.),
Head of Oil and Gas Engineering Department,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: bna@istu.edu



Бутакова Любовь Александровна,

аспирант, младший научный сотрудник научно-исследовательской
лаборатории буровых растворов и крепления скважин кафедры
нефтегазового дела,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: lyubov.elizarova.89@bk.ru

Lyubov A. Butakova,

Post-graduate student, Junior researcher at the Research Laboratory of Drilling
Muds and Well Cementing, Oil And Gas Engineering Department,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: lyubov.elizarova.89@bk.ru



Буланов Никита Сергеевич,
студент,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: nek103@mail.ru
Nikita S. Bulanov,
Student,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: nek103@mail.ru