

УДК 622.245.6

АНАЛИЗ И ВЫБОР ТАМПОНАЖНОЙ СМЕСИ, УСТОЙЧИВОЙ К ДИНАМИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ, С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ГЕРМЕТИЧНОСТИ КРЕПИ В ЗАТРУБНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Блинов Павел Александрович¹,
Blinov_PA@pers.spmi.ru

Шаншеров Александр Владимирович¹,
mr.shansherov@mail.ru

Черемшанцев Данил Максимович¹,
cheremshantsev@gmail.com

Кузнецова Наталья Юрьевна¹,
Kuznetsova_NYu@pers.spmi.ru

Никишин Вячеслав Валерьевич¹,
Nikishin_VV@pers.spmi.ru

¹ Санкт-Петербургский горный университет,
Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, 2.

Качество крепления скважин является весьма актуальной проблемой в области цементирования скважин. В ходе разработки месторождения скважина подвергается как статическим, так и динамическим нагрузкам, при этом стоит отметить, что влияние динамической составляющей является более значимым, так как при разрушении цементного камня могут возникнуть осложнения, связанные с преждевременным обводнением скважины, а также велика вероятность заколонных перетоков. В работе рассмотрен анализ причин возникновения нарушения герметичности крепи скважин во время эксплуатации и подобран состав, повышающий прочностные характеристики цементного камня.

Актуальность. Ввиду высокой сложности прогнозирования поведения горных пород с различными типами цементов часто возникают ситуации, связанные с негерметичностью ствола скважины, которые приводят к осложнениям и авариям, а это в свою очередь повышает стоимость работ и затраты на их ликвидацию. Существует ряд трудов, направленных на решение проблемы качества герметичности, но, несмотря на это, проблема не решена и остается актуальной и важной в этой области исследований.

Цель: разработать состав для цементирования скважины, обеспечивающий повышение качества крепления скважин в условиях динамических нагрузок.

Методы. Для решения поставленной цели был проведен литературный обзор зарубежных и отечественных источников. Проведены лабораторные испытания тампонажного раствора и цементного камня с добавлением эластомеров различной концентрации. Рассмотрены и применены методики определения модуля Юнга и коэффициента Пуассона тампонажного камня. Все исследования проводились в соответствии с ГОСТ 34532-19 «Цементы тампонажные. Методы испытаний», ГОСТ 28985-91 «Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии», ГОСТ 21153.3-85 «Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении».

Результаты. В ходе эксперимента были получены цементные растворы с добавками латекса и резиновой крошки разной фракции и концентрации. Установлено, что при рассматриваемых концентрациях снижается плотность раствора, повышается значение растекаемости, кроме раствора с концентрацией латекса 4 %, и происходит снижение его водоотделения. Установлено увеличение прочности на изгиб и растяжение для всех образцов. Определен состав цементной смеси, обладающий наилучшими показателями с содержанием 3 % латекса и 3 % резиновой крошки фракции 1–2 мм.

Выводы. Разработанный состав тампонажной смеси с добавлением эластомеров позволит повысить качество крепи и устойчивость к динамическим нагрузкам в процессе эксплуатации скважины.

Ключевые слова:

качество крепления, динамические нагрузки, латекс, резиновая крошка, прочность цементного камня.

Введение

Цементирование является завершающим этапом строительства скважин. Важно понимать, что качество цементирования влияет на дальнейшую эксплуатацию скважины. При некачественном цементировании герметичность заколонного пространства со временем ухудшается, а это в свою очередь приводит к различным осложнениям и авариям [1–5].

Исследования показали, что ремонтно-изоляционные работы по восстановлению герметичности затрубного пространства составляют около 25 % от общего числа всех работ, а их эффективность при этом не превышает 50 %. Следует понимать, что возникающие осложнения – заколонные перетоки и обводнение скважины – приводят к значительному ущербу для окружающей природной среды, а также к увеличению затрат на восстановление скважины. Чтобы предотвратить возможные осложнения, необходимо обра-

тить внимание на качество контакта «горная порода – цементный камень – металл».

Следует отметить, что в ходе работы были изучены материалы трудов следующих российских и зарубежных ученых: А.И. Булатова, Ф.А. Агзамова, Г.М. Саркисова, S. Stryczek, A. Gonet, G.W. Scherer, Hualin Liao, Zhichuan Guan и многих других исследователей, посвященные вопросам качества цементирования и герметичности колонны, а также причинам ухудшения прочностных свойств цементного камня [6–13].

Как известно, наибольшее влияние на качество крепления во время эксплуатации скважины оказывают процессы опрессовки, гидроразрыва пласта и перфорации [14]. Они в свою очередь вызывают динамические (ударные) нагрузки на цементный камень, которые приводят к его растрескиванию и разрушению [15]. Существуют технологии по снижению влияния ударных нагрузок на крепь скважины, направленные на уменьшение потери ее герметичности, которые к тому же увеличивают удароустойчивость. К этой технологии относятся добавление в тампонажный раствор таких добавок, как латекс, каучук, различные армирующие волокна, смолы, сферы и пр. Обзор литературы и патентов показал, что наиболее эффективными являются эластомеры и армирующие волокна. Авторы, занимающиеся похожими исследованиями, рассматривали различные реагенты, которые могут повысить удароустойчивость цемент-

ного камня [16–18]. Таким образом, основной идеей этой работы является возможность создания тампонажной смеси, которая увеличит сопротивляемость цементного камня к динамическим нагрузкам.

Методика испытания цементного раствора и камня

Все исследования проводились на базе Горного университета, в частности, в лабораториях тампонажных и буровых жидкостей в научном центре «Арктика» и в центре геомеханики. Так как в работе нет определенной привязки к месторождению и в целях упрощения большого числа экспериментов, в качестве условий для приготовления и выдержки цементного камня были выбраны следующие: температура 22 °С и давление 101708 Па.

В качестве вяжущего вещества был использован ПЦТ-I-50, который имеет относительно невысокую стоимость, температурный диапазон составляет 15–50 °С [19]. Жидкостью затворения является техническая вода, а в качестве рассматриваемых добавок были использованы два типа эластомеров различной концентрации, а именно латекс (концентрацией от 1,0 до 4,0 %), резиновая крошка размером фракции до 0,8 мм и крошка, средний размер частиц которой составлял не более 1–2 мм (концентрации крошки рассматривалась в диапазоне 1,5–4,5 %). На рис. 1 представлены используемые эластомеры.



Рис. 1. Рассматриваемые эластомеры: латекс, резиновая крошка фракции 0,8 мм, резиновая крошка фракции 1–2 мм
Fig. 1. Considered elastomers: latex, rubber crumb of 0,8 mm fraction, rubber crumb of 1–2 mm fraction

Резиновая крошка для повышения адгезии к цементу перед проведением исследования обрабатывалась двухмолярным раствором NaOH в течение 20 минут при постоянном перемешивании, с последующей промывкой водой и сушкой при комнатной температуре. В качестве второй добавки в работе был рассмотрен полимерный латекс. Модификация цемента с помощью латекса позволяет увеличить прочность цемента за счет образования в процессе гидратации непрерывных пленок и мембран полимера [20–24]. Стоит отметить, что при высоких концентрациях латекса в структуре цемента могут образовываться разрывы, приводящие к ухудшению прочностных свойств цементного камня [25].

В работе предлагается рассмотреть 13 типов рецептур, их количество обоснованно видом добавки и ее процентным содержанием в составе. В двух рецептурах применялись несколько добавок, придающих

цементному камню оптимальные параметры. В таблице показано количество эластомера в процентах от массы чистого цемента при водосмесевом соотношении (В/С)=0,5.

Для определения плотности тампонажного раствора применяли плотномер Mud Balance 141 компании Fann, диапазон измерения данного оборудования составляет 0,75–2,6 г/см³. Растекаемость является важным параметром, который учитывается для оценки возможности прокачки цементного раствора. Определяли ее с помощью конуса АзНИИ. Удовлетворительными считаются значения от 180 до 250 мм. В связи с изучением влияния эластомеров в ходе работы необходимо определить водоотделение. Этот параметр показывает наличие свободной воды и ее отделение от цемента в процессе седиментации. Он определяется с помощью мерного цилиндра и рассчитывается как отношение выделившейся воды к общему объему раствора.

Таблица. Составы рецептур и их количество в смеси
Table. Formulations and their quantity in the mixture

№ состава, Composition no.	Количество добавки-эластомера от массы сухого цемента, % Amount of elastomer additive by weight of dry cement, %		
	Ла- текс Latex	Резиновая крошка (≤0,8 мм) Rubber crumb (≤0,8 mm)	Резиновая крошка (1–2 мм) Rubber crumb (1–2 mm)
1	0	0	0
2	0	1,5	0
3	0	3	0
4	0	4,5	0
5	0	0	1,5
6	0	0	3
7	0	0	4,5
8	1	0	0
9	2	0	0
10	3	0	0
11	4	0	0
12	3	4,5	0
13	3	0	3

При рассмотрении прочностных характеристик цементного камня были определены прочности на сжатие ($\sigma_{сж}$), на изгиб ($\sigma_{и}$) и на растяжение ($\sigma_{рас}$). Перед испытанием подготавливали образцы цементного камня заданных размеров в соответствии с ГОСТ 34532-19 и ГОСТ 21153.3-85. Для определения прочно-

сти на изгиб и сжатие применяли гидравлический пресс модели Controls 65-L1132, а для прочности на растяжение – прибор БУ-21 [26].

Для исследования упругих свойств тампонажного камня рассматривали модуль Юнга (E) и коэффициент Пуассона (μ). Для их определения использовали сервогидравлическую машину модели MTS 816 [27]. Значения модуля Юнга и коэффициента Пуассона рассчитывают по формулам (1), (2) в соответствии с ГОСТ 28985-91:

$$E = \frac{\sigma_m - \sigma_0}{\varepsilon_{1m} - \varepsilon_{10}}; \quad (1)$$

$$\mu = \frac{\varepsilon_{2m} - \varepsilon_{20}}{\varepsilon_{1m} - \varepsilon_{10}}; \quad (2)$$

где σ_m и σ_0 – значения сжимающего напряжения в диапазоне частичной разгрузки образца; ε_{1m} ; ε'_{10} ; ε'_{20} и ε_{2m} – частные значения продольных и поперечных относительных деформаций при частичной разгрузке и пригрузке образца.

Результаты исследования и их обсуждение

После приготовления тампонажного раствора необходимо измерить его значения плотности, растекаемости и водоотделения. На рис. 2–4 показаны данные параметры при различной концентрации эластомеров.



Рис. 2. График изменения плотности

Fig. 2. Density change graph

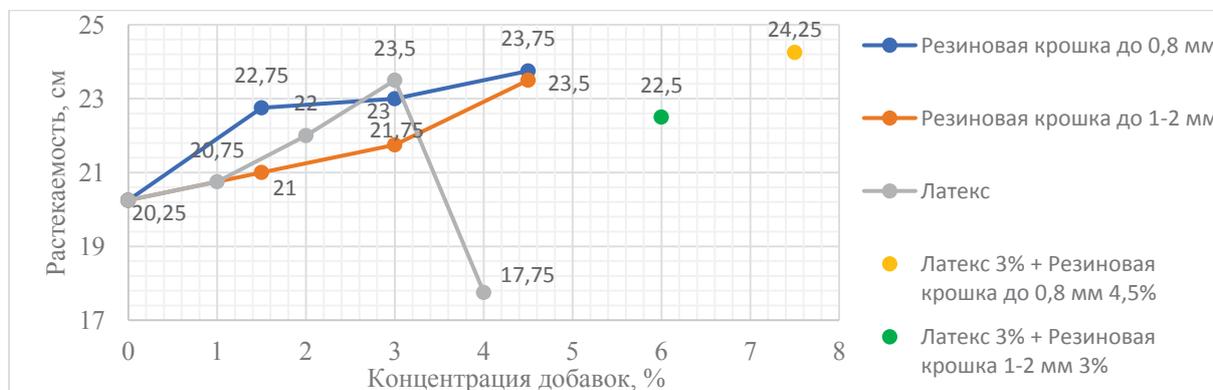


Рис. 3. График изменения растекаемости

Fig. 3. Flowability change graph

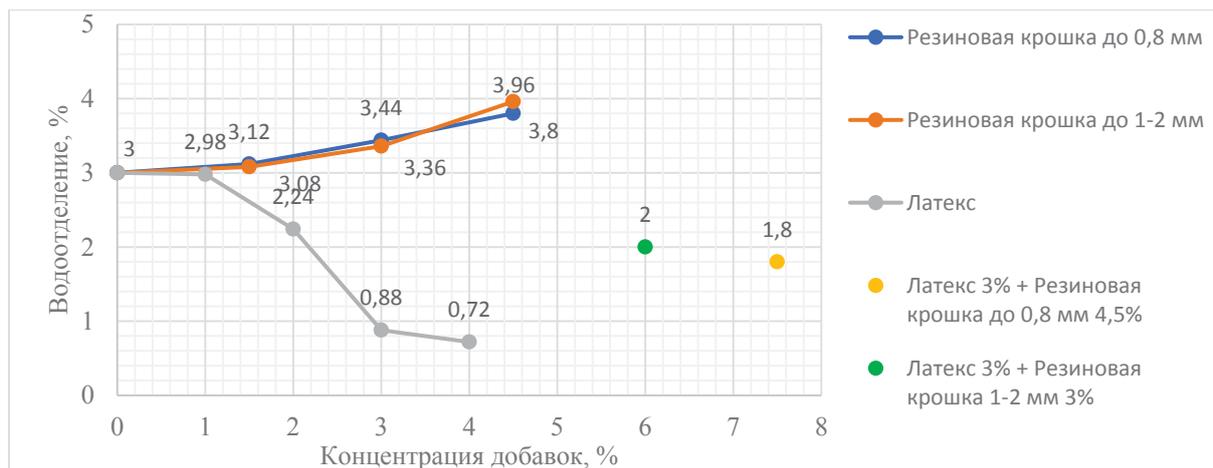


Рис. 4. График изменения водоотделения

Fig. 4. Water separation change graph

Из графиков следует, что при добавлении добавок-эластомеров плотность всегда понижается из-за того, что латекс и резина имеют куда меньшую плотность, чем базовый цемент. Растекаемость увеличивается во всех случаях, кроме состава № 11. При рассматриваемом значении концентрации 4 % латекс связывает свободную воду из дисперсионной системы и подвижность раствора уменьшается. Водоотделение

увеличивается при повышении концентраций резиновой крошки разных фракций.

После определения свойств цементного раствора были изготовлены образцы определенной формы с целью определения прочностных характеристик цементного камня. Все испытания образцов проводились после 48 часов выдержки в водяной бане. На рис. 5–7 показаны графики изменения прочности цементного камня при различных концентрациях эластомеров.

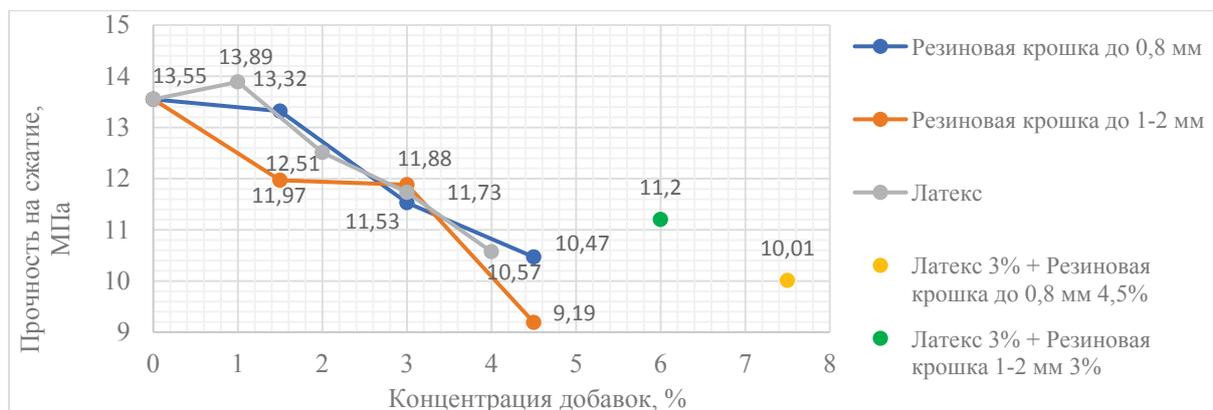


Рис. 5. График изменения прочности на сжатие

Fig. 5. Compressive strength change graph

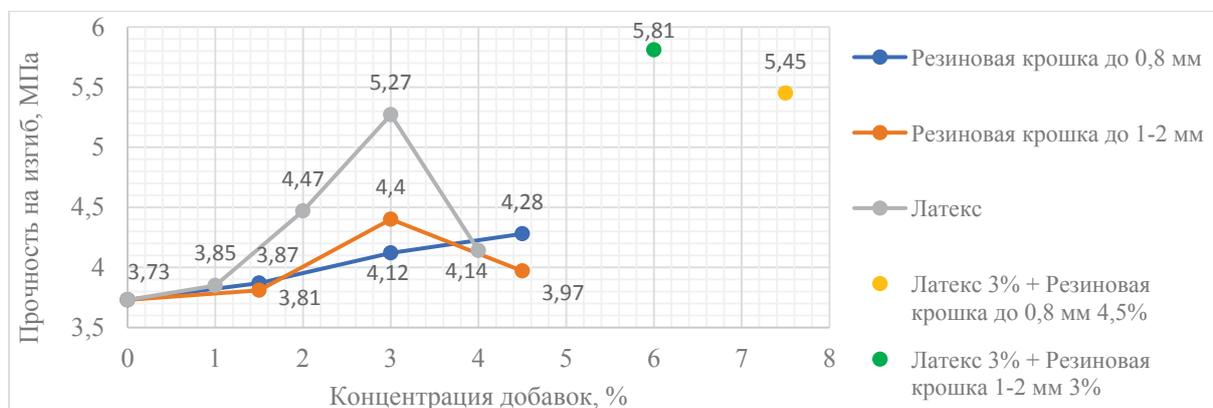


Рис. 6. График изменения прочности на изгиб

Fig. 6. Bending strength change graph

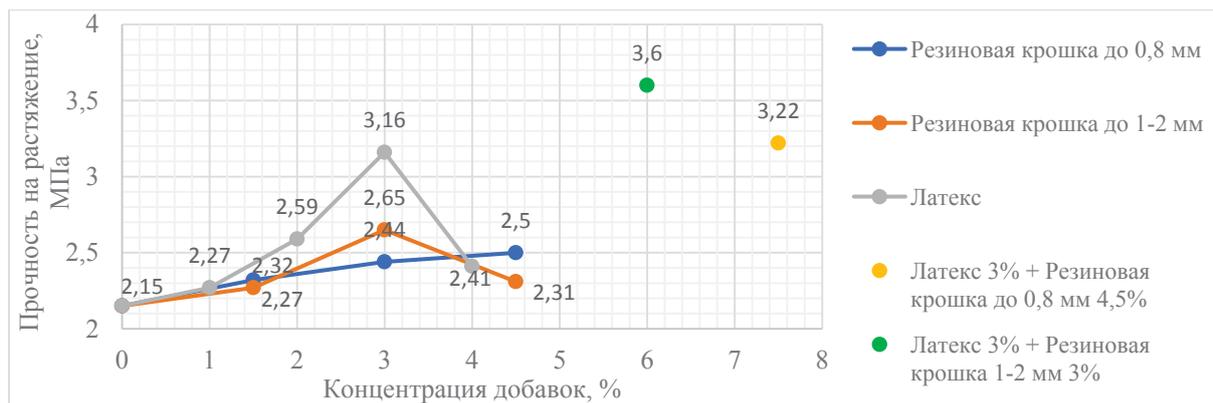


Рис. 7. График изменения прочности на растяжение
 Fig. 7. Tensile strength change graph

Так как все добавки имеют меньший удельный вес, по сравнению с чистым цементом, то его плотность и прочность на сжатие снижаются, исключением является цементный раствор с латексом концентрации 1 %. Резина является менее жесткой, чем цементный камень, и степень адгезии между резиновой крошкой и цементом также незначительна [28], вследствие этого прочность на сжатие уменьшается. Наибольшее снижение прочности на сжатие достигается при максимальных концентрациях эластомеров (резиновая крошка – 4,5 %, латекс – 4 %).

Прямой зависимости прочности на изгиб и растяжение от концентрации добавок не обнаружено, максимальные показатели были достигнуты при 3 %, за исключением резиновой крошки размером фракций

не более 0,8 мм. Следует отметить, что для этой добавки прочность постоянно увеличивалась с повышением концентрации, что в свою очередь приводит к устойчивому росту прочности. Резиновый материал восполняет внутренние недостатки тампонажного камня и увеличивает его эластичность, что вызывает рост прочности тампонажного камня на изгиб и растяжение [29–32]. Это создает предпосылки для дальнейших исследований с более высоким содержанием резиновой крошки малой фракции.

С целью изучения эластических характеристик цементного камня необходимо определить модуль Юнга и коэффициент Пуассона. На рис. 8, 9 представлены графики значений этих показателей при различной концентрации добавок.

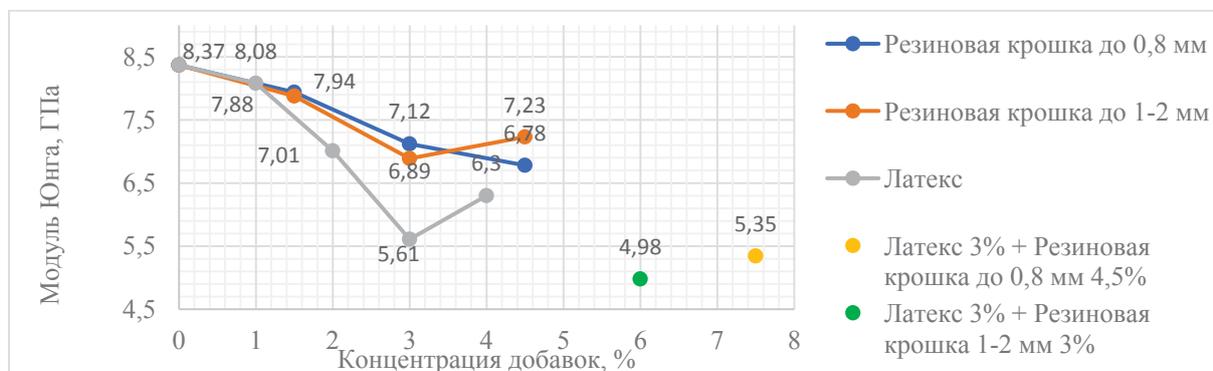


Рис. 8. График изменения модуля Юнга
 Fig. 8. Young's modulus change graph

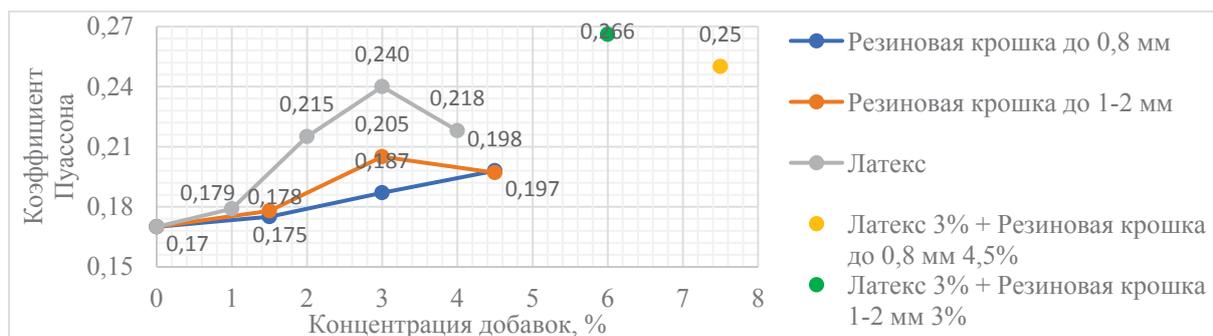


Рис. 9. График изменения коэффициента Пуассона
 Fig. 9. Poisson's ratio change graph

Из графиков следует, что все виды эластомеров приводят к улучшению упруго-эластичных свойств тампонажного камня, что подтверждается снижением модуля Юнга и повышением коэффициента Пуассона.

Изменение исследуемых показателей обусловлено большей эластичностью матрицы тампонажного камня за счет добавления резиновой крошки и латекса, что допускает дополнительную упругую деформацию без снижения прочностных характеристик.

Уменьшение показателей при определенных концентрациях связано со снижением прочностных характеристик, которые использовались при расчете коэффициентов эластичности.

На рис. 2–9 отмечены два состава, которые имеют наилучшие параметры при добавлении двух добавок эластомеров в раствор.

Заключение

В статье изложены результаты аналитического обзора современного состояния проблемы потери герметичности затрубного пространства скважин, связанные с повышенными динамическими нагрузками на крепь скважины, которые создаются главным образом при проведении операций по перфорации, ГРП и опрессовке.

На основе анализа были приведены существующие решения по увеличению сопротивляемости тампонажного камня динамическим нагрузкам с целью предотвращения потери герметичности затрубного пространства скважин за счет добавления в тампонажную смесь армирующих волокон и эластомеров.

Проведенные исследования основаны на изучении изменения свойств тампонажного раствора и камня за счет добавления в его состав эластомеров. В резуль-

тате были получены данные по их влиянию на такие свойства тампонажного раствора, как плотность, растекаемость и водоотделение. Испытания показали, что все использованные эластомеры приводят к снижению плотности раствора и увеличению его растекаемости (за исключением состава с добавкой 4 % латекса), увеличению водоотделения для составов с резиновой крошкой и уменьшению водоотделения для составов с латексом. Для тампонажного камня определены прочностные характеристики (сжатие, изгиб и растяжение), характеристики эластичности (модуль Юнга и коэффициент Пуассона). По результатам экспериментов выявлено положительное влияние предложенных добавок на упруго-прочностные свойства тампонажного камня, что, в свою очередь, подтверждает теоретические исследования о характере изменения прочностных показателей тампонажных составов при добавлении эластомеров. Выявлены оптимальные концентрации предложенных добавок, позволяющие получить наилучшие упруго-прочностные характеристики:

- 1) резиновая крошка фракцией до 0,8 мм с концентрацией 4,5 % и латекс 3 %;
- 2) резиновая крошка фракцией 1–2 мм с концентрацией 3 % и латекс 3 %.

Полученные данные свидетельствуют о перспективах дальнейших исследований влияния эластомеров за счет изучения свойств тампонажного камня при более длительном выдерживании образцов и повышенных термобарических условиях. Кроме этого, необходимо оценить такие факторы, как их влияние на время загустевания, сроки схватывания, проницаемость и усадку (расширение) тампонажной смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агзамов Ф.А., Белоусов А.О. Комплексный подход к предупреждению нарушения герметичности затрубного пространства скважин при вторичном вскрытии и ГРП // Нефтяная провинция. – 2019. – № 1. – С. 197–214.
2. Targosz-Korecka M. et al. Effect of selected B-ring-substituted oxysterols on artificial model erythrocyte membrane and isolated red blood cells // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes*. – 2020. – V. 1862. – № 2. – P. 183067.
3. Kremieniewski M. et al. Possibilities of limiting migration of natural gas in boreholes in the context of laboratory studies // *Energies*. – 2021. – V. 14. – № 14. – P. 4251.
4. Ахметвалиев Н.Н. Прочностные характеристики полимерцементного вяжущего // *Электронный научный журнал*. – 2019. – С. 28–31.
5. Блинов П.А. и др. Обоснование использования смол для улучшения упруго-прочностных свойств цементного камня и сравнительная оценка с существующими технологическими решениями // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. – 2021. – № 9. – С. 31–36.
6. Gupta T., Chaudhary S., Sharma R.K. Assessment of mechanical and durability properties of concrete containing waste rubber tire as fine aggregate // *Construction and Building Materials*. – 2014. – V. 73. – P. 562–574.
7. Буглов Н.А., Бутакова Л.А., Буланов Н.С. Влияние микрокремнезема на физические свойства тампонажного камня // *Науки о Земле и недропользование*. – 2019. – Т. 42. – № 2 (67). – С. 201–208.
8. Булатов А.И. Что представляет собой зацементированное колонное пространство // *Бурение и нефть*. – 2016. – № 6. – С. 30–35.
9. Гасумов Р.А., Минченко Ю.С. Повышение качества цементирования скважин применением дисперсно-армированных тампонажных материалов // *Нефтепромысловое дело*. – 2016. – № 8. – С. 53–57.
10. Гнибидин В.Н. Результаты исследований в области предотвращения потери герметичности затрубного пространства скважин в результате воздействия статических и динамических нагрузок // *Булатовские чтения*. – 2017. – Т. 3. – С. 54–59.
11. Долгих Л.Н. Крепление, испытание и освоение нефтяных и газовых скважин. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2007. – 189 с.
12. Зварыгин В.И. Тампонажные смеси. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 216 с.
13. Ишбаев Г.Г. и др. Разработка тампонажных материалов повышенной ударной прочности // *Бурение и нефть*. – 2015. – № 9. – С. 38–41.
14. Dvoynikov M.V., Kuchin V.N., Mintzaev M.Sh. Development of viscoelastic systems and technologies for isolating water-bearing horizons with abnormal formation pressures during oil and gas wells drilling // *Journal of Mining Institute*. – 2021. – V. 247. – P. 57–65. DOI: 10.31897/PMI.2021.1.7
15. Киямов И.К. и др. К вопросу разработки наномодифицированного цемента для тампонажа скважин // *Нефтяная провинция*. – 2015. – № 4. – С. 70–79.
16. Латыпов Р.Ф. Исследование и разработка технологий дифференцированной водоизоляции продуктивных пластов при капитальном ремонте скважин: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 2000. – 22 с.
17. Scherer G.W. Stress from crystallization of salt // *Cement and concrete research*. – 2004. – V. 34. – № 9. – P. 1613–1624.
18. Liu X. et al. A coupled thermo-hydrologic-mechanical (THM) model to study the impact of hydrate phase transition on reservoir damage // *Energy*. – 2021. – V. 216. – P. 119222.

19. Li C. et al. A new method to protect the cementing sealing integrity of carbon dioxide geological storage well: an experiment and mechanism study // *Engineering Fracture Mechanics*. – 2020. – V. 236. – P. 107213.
20. Kadochnikov V.G., Dvoynikov M.V. Development of Technology for Hydromechanical Breakdown of Mud Plugs and Improvement of Well Cleaning by Controlled Buckling of the Drill String // *Appl. Sci.* – 2022. – V. 12. – 6460.
21. Baghini M.S. et al. Effect of styrene-butadiene copolymer latex on properties and durability of road base stabilized with Portland cement additive // *Construction and Building Materials*. – 2014. – V. 68. – P. 740–749.
22. Wang R., Wang P.M., Yao L.J. Effect of redispersible vinyl acetate and versatate copolymer powder on flexibility of cement mortar // *Construction and Building Materials*. – 2012. – V. 27. – № 1. – P. 259–262.
23. Рамачандран В.С. и др. Добавки в бетон: справ. пособие / под ред. В.С. Рамачандрана / пер с англ. Т.И. Розенберг, С.А. Болдырева / под ред. А.С. Болдырева, В.Б. Ратинова. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.
24. Рябоконт С.А., Новохатский Д.Ф. Влияние опрессовки обсадных колонн на качество крепления скважин // *Нефтяное хозяйство*. – 2003. – № 9. – С. 41–43.
25. Hou D., Yu J., Wang P. Molecular dynamics modeling of the structure, dynamics, energetics and mechanical properties of cement-polymer nanocomposite // *Composites. B: Engineering*. – 2019. – V. 162. – P. 433–444.
26. Самсыкин А.В. и др. Методика расчета различных динамических нагрузок на крепь скважины // *Нефтегазовое дело*. – 2007. – Т. 5. – № 1. – С. 46–51.
27. Сафиуллин И.К., Комлева С.Ф. Повышение удароустойчивости цементного камня к динамическим нагрузкам методом фиброармирования тампонажных материалов // *Нефтяная провинция*. – 2016. – № 1. – С. 73–82.
28. Bisht K., Ramana P.V. Evaluation of mechanical and durability properties of crumb rubber concrete // *Construction and building materials*. – 2017. – V. 155. – P. 811–817.
29. Early assessment of seismic hazard in terms of Voronezh massif-Moscow Depression contact / I. Movchan, A. Yakovleva, A. Movchan, Z. Shaygallyamova // *Mining of Mineral Deposits*. – 2021. – V. 15. – P. 62–70.
30. Sadykov M.I., Blinov P.A., Nutskova M.V. Use of the water-swallowable polymers (WSP) for wellbore stabilization in intensely fractured rock intervals // *E3S Web of Conferences*. – 2021. – V. 266. – P. 01013.
31. Segre N., Joekes I. Use of tire rubber particles as addition to cement paste // *Cement and concrete research*. – 2000. – V. 30. – № 9. – P. 1421–1425.
32. Yilmaz A., Degirmenci N. Possibility of using waste tire rubber and fly ash with Portland cement as construction materials // *Waste management*. – 2009. – V. 29. – № 5. – P. 1541–1546.
33. Properties of cement-based composites using nanoparticles: a comprehensive review / S.C. Paul, A. van Rooyen, G. van Zijl, L.F. Petrik // *Construction and Building Materials*. – 2018. – V. 189. – P. 1019–1034.

Поступила 02.06.2022 г.

Прошла рецензирование 22.09.2022 г.

Информация об авторах

Блинов П.А., кандидат технических наук, доцент кафедры бурения скважин Санкт-Петербургского горного университета.

Черемшанцев Д.М., магистрант кафедры бурения скважин Санкт-Петербургского горного университета.

Шаньшиеров А.В., аспирант кафедры бурения скважин Санкт-Петербургского горного университета.

Кузнецова Н.Ю., кандидат технических наук, доцент кафедры бурения скважин Санкт-Петербургского горного университета (совместитель).

Никишин В.В., кандидат технических наук, доцент кафедры бурения скважин Санкт-Петербургского горного университета.

UDC 622.245.6

ANALYSIS AND SELECTION OF A GROUTING MIXTURE, RESISTANT TO DYNAMIC LOADS, IN ORDER TO IMPROVE THE SUPPORT TIGHTNESS QUALITY IN THE ANNULUS

Pavel A. Blinov¹,
Blinov_PA@pers.spmi.ru

Aleksandr V. Shansherov¹,
mr.shansherov@mail.ru

Daniil M. Cheremshantsev¹,
cheremshantsev@gmail.com

Natalia Yu. Kuznetsova¹,
Kuznetsova_NYu@pers.spmi.ru

Vyacheslav V. Nikishin¹,
Nikishin_VV@pers.spmi.ru

¹ St. Petersburg Mining University,
21 line 2, Vasilievsky Island, St. Petersburg, 199106, Russia.

The quality of well anchoring is a very urgent problem in the field of well cementing. During the development of the field, the well is subjected to both static and dynamic loads, while it is worth noting that the influence of the dynamic component is more significant, since when the cement stone is destroyed, complications associated with premature watering of the well may occur, and overflows may occur. The paper considers the analysis of the causes of the well support tightness breach during operation and selects a composition that increases cement stone strength characteristics.

Relevance. The quality of well cementing is an urgent problem today. Due to the high complexity of predicting the behavior of rocks with various types of cements, situations related to the leakiness of the borehole often arise. They lead to complications and accidents, and this in its turn increases the cost of work and the cost of their elimination. There are many works aimed at solving the problem of tightness quality, but despite this, the problem has not been solved and remains relevant and important in this field of research.

Purpose: to develop the composition of a grouting mixture with high resistance to various loads to increase the strength characteristics of cement stone, in addition, it is necessary to consider the most promising additives, in particular, elastomers; to investigate their influence on the basic properties of cement mortar and stone.

Methods. To achieve this goal, a literary review of foreign and domestic researchers was conducted. Laboratory tests of grouting mortar and cement stone with the addition of various concentrations of elastomer additives were carried out. The methods of determining the Young's modulus and the Poisson's ratio of the grouting stone are considered and applied. All studies were conducted in accordance with SS 34532-19 «Grouting cements. Test methods», SS 28985-91 «Mountain rocks. Method for determining deformation characteristics under uniaxial compression», SS 21153.3-85 «Mountain rocks. Methods for determining the tensile strength at uniaxial tension».

Results. During the experiment, cement mortars with additives: latex and rubber crumb of different fractions (concentrations differ), were obtained. It was found that at the concentrations under consideration, the density of the solution decreases, the spreadability value increases, except for the concentration of 4 % latex, and the water separation of the solution with the addition of latex decreases. There was an increase in flexural and tensile strength for all samples. The composition of the cement mixture with the best indicators of the content of 3 % latex and 3 % rubber crumb fractions of 1–2 mm was determined.

Conclusions. The developed composition of the grouting mixture with the addition of elastomers improves the quality of the support and has high resistance to dynamic loads during well operation.

Key words:

fastening quality, dynamic loads, latex, rubber crumb, cement stone strength.

REFERENCES

1. Agzamov F.A., Belousov A.O. An integrated approach to the prevention of breach of the tightness of the annular space of wells during secondary opening and hydraulic fracturing. *Oil province*, 2019, no. 1, pp. 197–214. In Rus.
2. Targosz-Korecka M. Effect of selected B-ring-substituted oxysterols on artificial model erythrocyte membrane and isolated red blood cells. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes*, 2020, vol. 1862, no. 2, pp. 183067.
3. Kremieniewski M. Possibilities of limiting migration of natural gas in boreholes in the context of laboratory studies. *Energies*, 2021, vol. 14, no. 14, pp. 4251.
4. Akhmetvaliyev N.N. Prochnostnye kharakteristiki polimertsementnogo vyazhushchego [Strength characteristics of polymer-cement binder]. *Studencheskiy forum: nauchnyy zhurnal*, 2019, no. 2 (53), pp. 28–31.
5. Blinov P.A. Justification of the use of resins to improve the elastic-strength properties of cement stone and a comparative assessment with existing technological solutions. *Construction of oil and gas wells on land and at sea*, 2021, no. 9, pp. 31–36. In Rus.
6. Gupta T., Chaudhary S., Sharma R.K. Assessment of mechanical and durability properties of concrete containing waste rubber tire as fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 2014, vol. 73, pp. 562–574.
7. Buglov N.A., Butakova L.A., Bulanov N.S. The effect of microsilicon on the physical properties of grouting stone. *Earth sciences and subsoil use*, 2019, vol. 42, no. 2 (67), pp. 201–208. In Rus.
8. Bulatov A.I. What is a cemented backwater space. *Drilling and oil*, 2016, no. 6, pp. 30–35. In Rus.
9. Gasumov R.A., Minchenko Yu.S. Improving the quality of well cementing using dispersed-reinforced grouting materials. *Oilfield business*, 2016, no. 8, pp. 53–57. In Rus.

10. Gnibidin V.N. Results of research in the field of preventing the loss of tightness of the annular space of wells as a result of the impact of static and dynamic loads. *Bulatovskie readings*, 2017, vol. 3, pp. 54–59. In Rus.
11. Dolgikh L.N. *Kreplenie, ispytanie i osvoenie neftyanykh i gazovykh skvazhin* [Fixing, testing and development of oil and gas wells]. Perm, Perm State technical University Publ., 2007. 189 p.
12. Zvarygin V.I. *Tamponazhnye smesi* [Cement mixtures]. Krasnoyarsk, SFU Publ., 2014. 216 p.
13. Ishbaev G.G. Development of grouting materials of increased impact strength. *Drilling and oil*, 2015, no. 9, pp. 38–41.
14. Dvoynikov M.V., Kuchin V.N., Mintzaev M.Sh. Development of viscoelastic systems and technologies for isolating water-bearing horizons with abnormal formation pressures during oil and gas wells drilling. *Journal of Mining Institute*, 2021, vol. 247, pp. 57–65. DOI: 10.31897/PMI.2021.1.7
15. Kiyamov I.K. On the issue of the development of nanomodified cement for well grouting. *Oil province*, 2015, no. 4, pp. 70–79. In Rus.
16. Latypov R.F. *Issledovanie i razrabotka tekhnologii differentsirovannoy vodoizolyatsii produktivnykh plastov pri kapitalnom remonte skvazhin*. Avtoreferat Dis. Kand. nauk [Research and development of technologies for differentiated water isolation of productive formations during the overhaul of wells. Cand. Diss. Abstract]. Tyumen, 2000. 22 p.
17. Scherer G.W. Stress from crystallization of salt. *Cement and concrete research*, 2004, vol. 34, no. 9, pp. 1613–1624.
18. Liu X. A coupled thermo-hydrologic-mechanical (THM) model to study the impact of hydrate phase transition on reservoir damage. *Energy*, 2021, vol. 216, pp. 119222.
19. Li C. A new method to protect the cementing sealing integrity of carbon dioxide geological storage well: an experiment and mechanism study. *Engineering Fracture Mechanics*, 2020, vol. 236, pp. 107213.
20. Kadochnikov V.G., Dvoynikov M.V. Development of technology for hydromechanical breakdown of mud plugs and improvement of well cleaning by controlled buckling of the drill string. *Appl. Sci.*, 2022, vol. 12, 6460.
21. Baghini M.S. Effect of styrene-butadiene copolymer latex on properties and durability of road base stabilized with Portland cement additive. *Construction and Building Materials*, 2014, vol. 68, pp. 740–749.
22. Wang R., Wang P.M., Yao L.J. Effect of redispersible vinyl acetate and versatate copolymer powder on flexibility of cement mortar. *Construction and Building Materials*, 2012, vol. 27, no. 1, pp. 259–262.
23. Ramachandran V.S. *Dobavki v beton: spravocnoye posobie* [Additives in concrete: reference manual]. Ed. by V.S. Ramachandran. Moscow, Stroyizdat Publ., 1988. 575 p.
24. Ryabokon S.A., Novokhatsky D.F. The influence of casing crimping on the quality of well anchoring. *Oil industry*, 2003, no. 9, pp. 41–43.
25. Hou D., Yu J., Wang P. Molecular dynamics modeling of the structure, dynamics, energetics and mechanical properties of cement-polymer nanocomposite. *Composites. P. B: Engineering*, 2019, vol. 162, pp. 433–444.
26. Samsykin A.V. Method of calculation of various dynamic loads on the well support. *Oil and gas business*, 2007, vol. 5, no. 1, pp. 46–51. In Rus.
27. Safullin I.K., Komleva S.F. Increasing the impact resistance of cement stone to dynamic loads by the method of fiber reinforcement of grouting materials. *Oil province*, 2016, no. 1, pp. 73–82. In Rus.
28. Bisht K., Ramana P.V. Evaluation of mechanical and durability properties of crumb rubber concrete. *Construction and building materials*, 2017, vol. 155, pp. 811–817.
29. Movchan I., Yakovleva A., Movchan A., Shaygallyamova Z. Early assessment of seismic hazard in terms of Voronezh massif-Moscow Depression contact. *Mining of Mineral Deposits*, 2021, vol. 15, pp. 62–70.
30. Sadykov M.I., Blinov P.A., Nutskova M.V. Use of the water-swelling polymers (WSP) for wellbore stabilization in intensely fractured rock intervals. *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 266, pp. 01013.
31. Segre N., Joekes I. Use of tire rubber particles as addition to cement paste. *Cement and concrete research*, 2000, vol. 30, no. 9, pp. 1421–1425.
32. Yilmaz A., Degirmenci N. Possibility of using waste tire rubber and fly ash with Portland cement as construction materials. *Waste management*, 2009, vol. 29, no. 5, pp. 1541–1546.
33. Paul S.C., Van Rooyen A., Van Zijl G., Petrik L.F. Properties of cement-based composites using nanoparticles: a comprehensive review. *Construction and Building Materials*, 2018, vol. 189, pp. 1019–1034.

*Received: 2 June 2022.
Reviewed: 22 September 2022.*

Information about the authors

Pavel A. Blinov, Cand. Sc., associate professor St. Petersburg Mining University.

Daniil M. Cheremshantsev, master's student St. Petersburg Mining University.

Aleksandr V. Shansherov, postgraduate student St. Petersburg Mining University.

Natalia Yu. Kuznetsova, Cand. Sc., associate professor St. Petersburg Mining University.

Vyacheslav V. Nikishin, Cand. Sc., associate professor St. Petersburg Mining University.