



УДК 622.245.422

ВЛИЯНИЕ МЕТОДИКИ ПОДГОТОВКИ ТЯЖЕЛОГО ТАМПОНАЖНОГО РАСТВОРА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ТЕРМОСТОЙКОСТИ КАМНЯ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

INFLUENCE OF THE HEAVY CEMENT SLURRY PREPARATION TECHNIQUE ON THE RESULTS OF TESTS TO ASSESS THE HEAT RESISTANCE OF THE STONE AT HIGH TEMPERATURES

Белей Иван Ильич

кандидат технических наук,
главный специалист лаборатории тампонажных растворов,
ООО «Газпром проектирование»
ibeley@proektirovanie.gazprom.ru

Речапov Данир Ахатович

начальник лаборатории тампонажных растворов,
ООО «Газпром проектирование»
drechapov@proektirovanie.gazprom.ru

Родер Светлана Александровна

ведущий инженер лаборатории тампонажных растворов,
ООО «Газпром проектирование»
sroder@proektirovanie.gazprom.ru

Буланов Сергей Геннадьевич

заместитель директора по новым технологиям
и разработкам,
ООО «Гранула»
bulanov@granula-ural.ru

Казанцев Максим Николаевич

заместитель директора по производству,
ООО «Гранула»
kazancev@granula-ural.ru

Аннотация. Приведены результаты исследований влияния методики подготовки тяжелых тампонажных растворов на характер изменения прочности камня во времени при твердении в условиях высоких температур и давлений. Установлено, что процедура предварительного кондиционирования растворов определенных составов в консистометре (при динамической температуре и давлении) не влияет на результаты по оценке термостойкости камня и может быть исключена. Это позволяет снизить трудоемкость работ и сократить продолжительность разработки и тестирования высокотемпературных тампонажных систем.

Ключевые слова: методика; тяжелый тампонажный раствор; кондиционирование; камень; термостойкость; высокие температуры.

Belej Ivan Ilich

Candidate of Technical Sciences,
Chief Specialist of Plugging Solutions
Laboratory,
Gazprom Design LLC
ibeley@proektirovanie.gazprom.ru

Rechapov Danir Akhatovich

Head of squeeze cementing Solutions
Laboratory,
Gazprom Design LLC
drechapov@proektirovanie.gazprom.ru

Roder Svetlana Aleksandrovna

Leading Engineer of the Cement Solutions
Laboratory,
Gazprom Design LLC
sroder@proektirovanie.gazprom.ru

Bulanov Sergey Gennadievich

Deputy Director for New Technologies
and developments,
Granula LLC
bulanov@granula-ural.ru

Kazantsev Maxim Nikolaevich

Deputy Director for Production,
Granula LLC
kazancev@granula-ural.ru

Annotation. The results of researches of influence of heavy plugging mortars preparation technique on the character of stone strength changing in time during hardening under high temperatures and pressures are given. It is established that the procedure of preconditioning of grouts of certain compositions in a consistometer (under dynamic temperature and pressure) doesn't influence the results of evaluation of thermal stability of a stone and can be excluded. This allows to reduce labor input and duration of development and testing of high-temperature plugging systems.

Keywords: methodology; heavy plugging solution; conditioning; stone; heat resistance; high temperatures.

При разработке тампонажных систем для условий высоких температур оценку термостойкости камня в автоклавных условиях рекомендуется осуществлять после предварительного кондиционирования тампонажного раствора при динамической температуре и давлении. Предполагается, что таким образом в какой-то мере воспроизводятся условия воздействия на раствор в процессе цементирования (температуры, давления и перемешивания), после которых он уже находится в статических забойных термобарических условиях (что воспроизводится автоклавным воздействием).

Помимо трудоемкости, следует отметить условность операции предварительного кондиционирования в консистометре, как подготовительного этапа к автоклавной обработке тампонажного рас-



твора. В этом случае раствор в консистометре подвергается нагреву до динамической температуры с набором давления, перемешивается определенное время и затем охлаждается до 85–90 °С со снижением давления до атмосферного. Затем заполненные кондиционированным раствором формы размещаются в автоклаве (предварительно прогревом до 80–85 °С), осуществляется повторный нагрев образцов до статической пластовой температуры и забойного давления.

На стадии разработки составов тяжелых тампонажных растворов (ТТР) (плотностью 2,3–2,4 г/см³) нами проведены сравнительные исследования по оценке влияния предварительного кондиционирования растворов на характер изменения прочности камня во времени. При этом, для исключения влияния факторов, характерных для автоклавных испытаний и могущих оказывать влияние на конечные результаты, опыты первоначально выполнялись на ультразвуковом анализаторе (УЗА). С использованием УЗА можно получить достаточно корректные сравнительные данные о времени начала формирования камня, характере изменения прочности камня во времени, поскольку образцы непрерывно (с заданной дискретностью) «прозваниваются» при выдержке в имитируемых, неизменяемых термобарических условиях.

Для испытаний были выбраны два состава ТТР, которые, в случае предварительного кондиционирования, характеризовались по УЗА и по результатам автоклавной обработки как системы со снижающейся или с возрастающей во времени прочностью.

Суспензии ТТР кондиционировались по режиму испытания на время загустевания по схеме: нагрев до 170 °С (давление 100 МПа) в течение 100 мин; перемешивание на режиме 20 мин. Затем, без отключения перемешивания, растворы охлаждались до 90–95 °С и заливались в предварительно прогретый (до 85–90 °С) автоклав анализатора. Конечные значения температуры 190 °С и давление 100 МПа в УЗА создавались в течение 120 мин. Указанная температура является более низкой, по сравнению с автоклавным режимом, и была выбрана из-за температурных ограничений, указанных изготовителем для УЗА (не более 205 °С).

В случае сравнительных испытаний, тампонажные растворы после приготовления сразу же заливались в автоклав УЗА и после окончательной сборки создавалась режимная температура 190 °С и давление 100 МПа в течение 200 мин (начальная температура 24–26 °С; начальное давление 5 МПа).

В обоих случаях образцы выдерживались до получения стабильных данных по характеру и тенденции изменения прочности камня во времени (как правило до 5 сут).

Как видно на рисунке 1, для состава ТТР с молотым кварцем (удельной поверхности 3710 см²/г) (соотношение «цемент/кварц» составляло 1,25 : 1) в случае кондиционирования отмечается снижение расчетной прочности камня по УЗА через 46 ч, с сохранением тенденции снижения в дальнейшем.

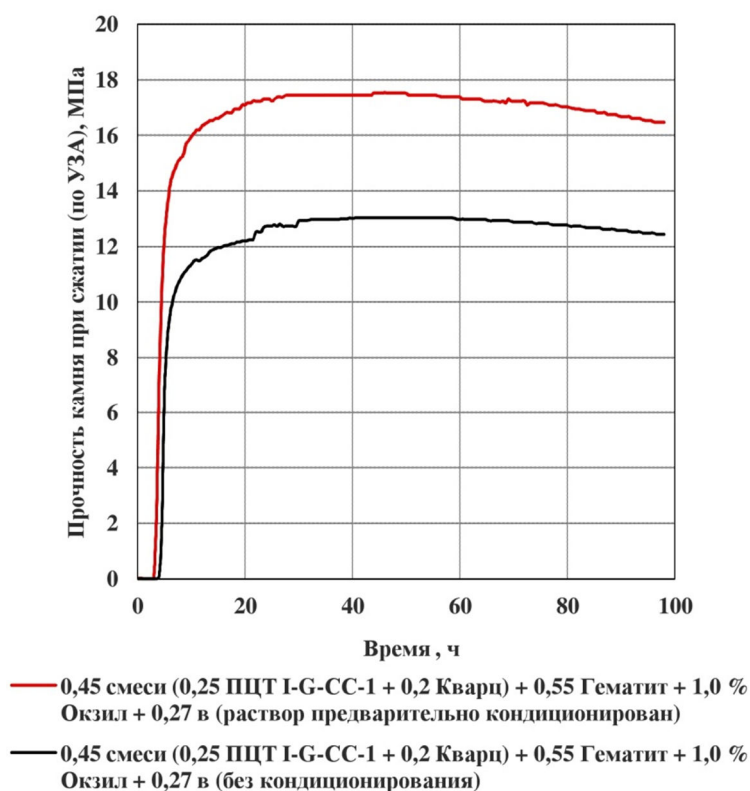


Рисунок 1 – Влияние предварительного кондиционирования на характер изменения во времени расчетной прочности камня ТТР на основе смеси «портландцемент + Кварц + Гематит» (твердение при 190 °С и давлении 100 МПа)



Для образца ТТР с молотым кварцем, который испытывался на УЗА без предварительного кондиционирования, наблюдается аналогичное изменение расчетной прочности камня, но с закономерным смещением во времени перегиба графика $R_{сж} = f(t)$ (рис. 1).

Основное отличие заключается лишь в более низких значениях расчетной прочности камня для составов без кондиционирования, что вполне закономерно, учитывая особенности данного метода испытания и условность получаемых значений прочности – как величину, рассчитанную по определенной формуле, которая основана на фактических данных по прессу. Ранее нами отмечались отличия полученных по УЗА расчетных значений прочности камня УТР при сжатии и прочности камня по прессу этих же образцов после извлечения из автоклава УЗА, и указывалась необходимость корректировки расчетной формулы [1].

Снижение значений прочности камня от максимально достигнутых указывает на наличие процессов, влияющих на структуру камня в плане перехода в менее закристаллизованную форму или ее деструкцию, с появлением дефектов, влияющих на скорость прохождения ультразвукового сигнала. Следовательно, можно говорить о недостаточной эффективности молотого кварца как материала для формирования утяжеленного термостойкого камня даже в случае повышенного содержания в смеси.

Наличие деструктивных процессов камня ТТР с молотым кварцем подтверждается результатами испытаний на прессе после выдержки образцов в автоклаве в течение 2 сут и 7 сут (температура 210 °С, давление 100 МПа) (табл. 1).

Таблица 1 – Свойства камня ТР после автоклавной обработки при температуре 210 °С и давлении 100 МПа

Состав УТР	Предел прочности камня при сжатии, МПа	
	через 2 сут	через 7 сут
1. 0,45 смеси (0,25 ПЦТ 1-G-CC-1 + 0,20 Кварц молотый) + 0,55 гематит + 1,0 % Окзил + 0,27 в	31	17,2
2. 0,4 смеси (ПЦТ 1-G-CC-1 + зола) + 0,6 гематит + 1,0 % Окзил + 0,2 % Пл + 0,25 в	45,7	47,5

Полученные результаты несколько противоречат данным [2, 3, 4], указывающим на возможность применения смесей портландцемента с кварцевым песком при высоких температурах. Не исключено, что в нашем случае имеет место отрицательное влияние использования высокодисперсного кварца (вместо более грубодисперсного кварцевого песка) [3], либо побочное действие утяжеляющей добавки, влияние которой на термостойкость камня для смесей «портландцемент + кварцевый песок (кварц)» в указанных исследованиях не изучалось.

Для составов ТТР с золой также отмечается хорошая сопоставимость результатов тестирования на УЗА независимо от наличия предварительного кондиционирования в консистометре (рис. 2).

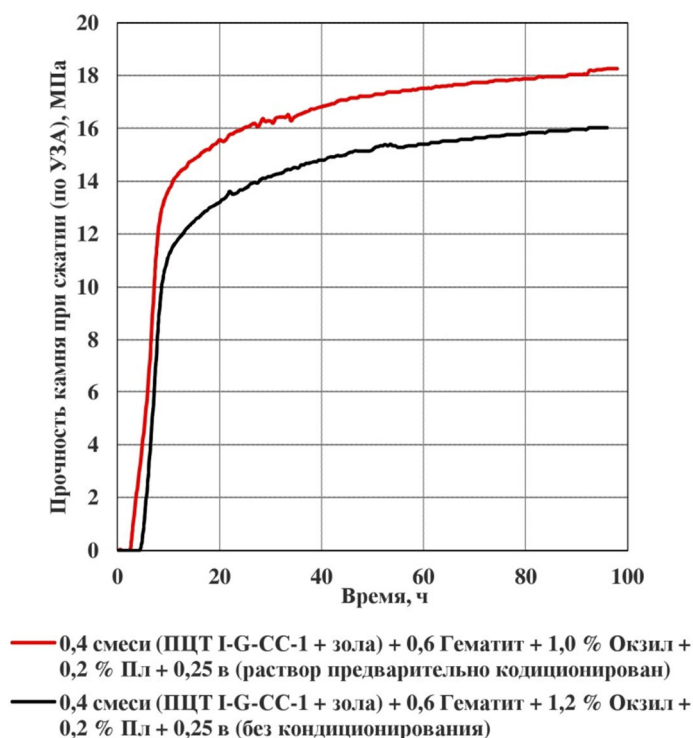


Рисунок 2 – Влияние предварительного кондиционирования на характер изменения во времени расчетной прочности камня ТТР на основе смеси «портландцемент + зола + Гематит» (твердение при 190 °С и давлении 100 МПа)



В отличие от системы с молотым кварцем, в данном случае не фиксируется снижение прочности камня во времени и сохраняется тенденция к ее стабилизации или незначительному повышению. Отсутствие деструктивных процессов подтверждается «прямыми» испытаниями образцов-кубиков на прессе после 2 сут и 7 сут выдержки в автоклаве (табл. 1, состав 2).

Полученные результаты по термостойкости ТТР с зольным материалом в целом сопоставимы с данными по термостойкости цементно-зольных смесей, приводимыми в работе [5].

Выполненные исследования позволяют говорить о возможности прогнозной качественной оценки термостойкости тампонажных систем без их предварительного кондиционирования по режиму, установленному для определения времени загустевания. Очевидно, что эти данные являются предварительными, позволяющими приступить к испытаниям по автоклавной обработке уже определенных и косвенно проверенных составов ТТР.

При этом следует иметь в виду, что полученные нами результаты в полной мере применимы для составов ТТР, в которых основным замедлителем являются реагенты типа Окзил, ФХЛС, ССБ и аналогичные материалы. В случае применения в качестве замедлителей высокоэффективных реагентов-комплексонов (типа НТФК, ОЭДФК и др.), очевидно потребуются предварительное кондиционирование растворов в консистометре с созданием динамических температуры и давления. Это связано с тем, что исключение фактора перемешивания может привести к существенному замедлению процессов кристаллического структурообразования и по УЗА начало формирования камня будет смещено до 1–2 сут, даже для составов с временем загустевания 4–5 ч.

Учитывая косвенность метода испытаний на УЗА и отсутствие достаточной базы данных по аналогичным испытаниям, окончательное заключение о термостойкости тампонажной системы следует принимать после испытаний прямым (разрушающим) методом образцов, подвергнутых автоклавной обработке.

Список литературы:

1. Результаты исследований утяжеленных тампонажных растворов при повышенных температурах / И.И. Белей [и др.]. // Бурение и нефть. – 2007. – № 7–8. – С. 44–46.
2. Булатов А.И., Шаманов С.А. Методы испытания тампонажных материалов: справочное пособие для инженеров. В 2 т. / Отв. ред. А.И. Булатов. – Краснодар : ООО «Просвещение-Юг», 2002. – Т. 2. – 296 с.
3. Данюшевский В.С. Проектирование оптимальных составов тампонажных цементов. – М. : Недра, 1978. – 293 с.
4. Будников В.Ф., Булатов А.И., Макаренко П.П. Проблемы механики бурения и заканчивания скважин. – М. : Недра, 1996. – 495 с.
5. Тампонажные смеси для скважин с аномальными пластовыми давлениями / Н.Х. Каримов [и др.]. – М. : Недра, 1977. – 192 с.

List of references:

1. Results of research of weighted plugging solutions at elevated temperatures / I.I. Beley [et al.] // Drilling and Oil. – 2007. – № 7–8. – P. 44–46.
2. Bulatov A.I., Shamanov S.A. Test Methods for Plugging Materials: Reference Book for Engineers. In 2 vol. / Edited by A.I. Bulatov. – Krasnodar : LLC Prosveshchenie – Yug, 2002. – Vol. 2. – 296 p.
3. Danushevsky V.S. Designing of Optimal Compositions of Grout Cements. – M. : Nedra, 1978. – 293 p.
4. Budnikov V.F., Bulatov A.I., Makarenko P.P. Problems of drilling and well completion mechanics. – M. : Nedra, 1996. – 495 p.
5. Tamponazhnyye mixtures for wells with anomalous formation pressures / N.Kh. Karimov [et al.]. – M. : Nedra, 1977. – 192 p.