

**К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШЛАКОЦЕМЕНТНЫХ
КОМПОЗИЦИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СКВАЖИН**
ON THE USE OF SLAG CEMENT COMPOSITIONS
IN THE CONSTRUCTION OF WELLS

В. П. Овчинников, О. В. Рожкова, Н. А. Аксенова, П. В. Овчинников

V. P. Ovchinnikov, O. V. Rozhkova, N. A. Aksenova, P. V. Ovchinnikov

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Филиал Тюменского индустриального университета, г. Нижневартовск

*Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе,
г. Москва*

*Ключевые слова: тампонажный раствор; шлак; термоустойчивость;
шлакоцементная композиция*

Key words: slurry; slag; heat resistance; slag cement composition

Сохранность темпов добычи жидких углеводородов большинство исследователей связывают с освоением месторождений высоковязких нефтей: в Татарстане — Мордово-Кармальское, Ашальчинское и др., в Западной и Восточной Сибири — отложения баженовской свиты, в Поволжье и Западном Предуралье — отложения доманикового горизонта. Их особенностью является использование при освоении методов термического воздействия — подъем пластовой температуры свыше 100–130 °С.

Учитывая это, особое внимание должно быть обращено на используемый при цементировании обсадных колонн тампонажный материал, твердение на основе которого протекает при температурах ниже 100 °С, а сформированный камень работает (в процессе эксплуатации) при температурах выше 100 °С. Основным компонентом, входящим в состав минеральных вяжущих материалов, являются оксиды кремния и кальция. Их растворимость в водной среде от температуры носит

взаимообратный характер. Растворимость оксида кремния с увеличением температуры растёт, а оксида кальция, наоборот, снижается. Это и обуславливает термостойкость сформированного камня, то есть сформированные при температуре ниже 100 °С высокоосновные гидросиликаты кальция, при повышении температуры выше 100 °С самопроизвольно переходят в гидросиликаты более низкой основности. Данные полиморфные превращения сопровождаются изменением плотности и объема, что вызывает деструкционные процессы (снижение механической прочности, повышение проницаемости). Поэтому необходимы тампонажные материалы, формирующие камень, в большей степени представленный низкоосновными соединениями (гидросиликатами и гидроалюминатами кальция). Это и обусловило введение в состав портландцементов кремнеземсодержащих материалов — кварцевого молотого песка, фильтроперлита, алюмосиликатов и др. [1]

Среди большого их ассортимента применение доменных и металлургических шлаков заслуживает пристального внимания. При температуре 75 °С прочность сформированного на их основе камня невысокая, водопроницаемость не превышает $2 \cdot 10^{-15}$ м³, прочность предельных шлаков несколько ниже литейных, что объясняется замедленными реакциями гидролиза и гидратации первых в сравнении со вторыми. Следует также отметить и неблагоприятные температуры твердения 120–150 °С для обоих видов шлаков. В этом интервале температур наиболее часто наблюдаются сбросы прочности, сопровождающиеся ростом проницаемости и появлением сообщающихся трещин.

Использование шлаков обусловлено их составом, схожим с составом портландцементного клинкера, при меньшем содержании оксида кальция в химическом отношении и большем содержании двухкальциевого силиката β-модификации — в минералогическом. Гидравлическая активность шлака значительно возрастает в результате его грануляции — при быстром охлаждении. Гидравлическая активность гранулированных шлаков увеличивается при повышении температуры, введении химических катализаторов — оксида кальция, портландцемента, сульфатов и др., повышении удельной поверхности [2].

Проведены исследования с целью оценить возможность использования доменных гранулированных шлаков ООО «Мечел-Материалы». Уникальность данного производства заключается в технологии помола вертикальными валовыми мельницами, обеспечивающими возможность помола до 450÷600 м²/кг по Блэуну, а в шаровых мельницах — 250÷300 м²/кг. Физико-химические свойства шлака представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-химические свойства шлака

Химический состав		Физические свойства	
Показатели	Значение	Показатели	Значение
CaO	35,0–45,0	Размер зерна: содержание фракции < 0,080 мм, % содержание фракции < 0,020 мм, %	не менее 98,0 не менее 60,0
SiO ₂	35,0–45,0		
Al ₂ O ₃	≥ 7,5		
MgO	≤ 1,5	Удельная поверхность, м ² /кг	450
FeO	≤ 2,0	Влажность, %	не более 0,3
Na ₂ O	0,5–1,0	Содержание стекловидной фазы, %	66,6
K ₂ O	1,0–1,5	Активность твердения шлака в нормальных условиях в возрасте 28 суток, МПа	не менее 10
TiO ₂	< 1,0		
S	≤ 1,0	Удельная эффективная активность естественных радионуклидов, БК/кг	не более 370

Примечание. Шлак — пожаро и взрывобезопасный материал, не оказывающий влияние на организм человека, общетоксичного действия (IV класс опасности)

На первом этапе исследований была проведена оценка свойств раствора на основе шлакоцементной смеси и сформированного камня в ранние сроки твердения (в возрасте двое суток). В качестве цемента использован портландцемент Сухо-ложского завода ПЦТ-G-СС-2, его содержание варьировалось от 20 до 80 %. В таблице 2 приведены сведения о параметрах раствора. Водотвердое отношение было принято равным 0,55 в целях оценки влияния шлака на седиментационную устойчивость раствора. Его удельная поверхность составляла 350 м²/кг, портланд-цемента — 300 м²/кг [3].

Таблица 2

Параметры тампонажного раствора на основе шлакоцементной композиции

Состав смеси, (шлак/портландцемент), %	Плотность, кг/м ³	Растекаемость, 10 ⁻³ м	Водоотделение, мл
0/100	1 800	205	5,04
20/80	1 760	210	5,68
40/60	1 750	225	8,77
50/50	1 740	230	9,09
60/40	1 740	230	9,34
80/20	1 740	235	9,44
100/0	1 710	240	9,64

На рисунках 1, 2 представлены сведения о динамических и предельных статических напряжениях сдвига тампонажных растворов.

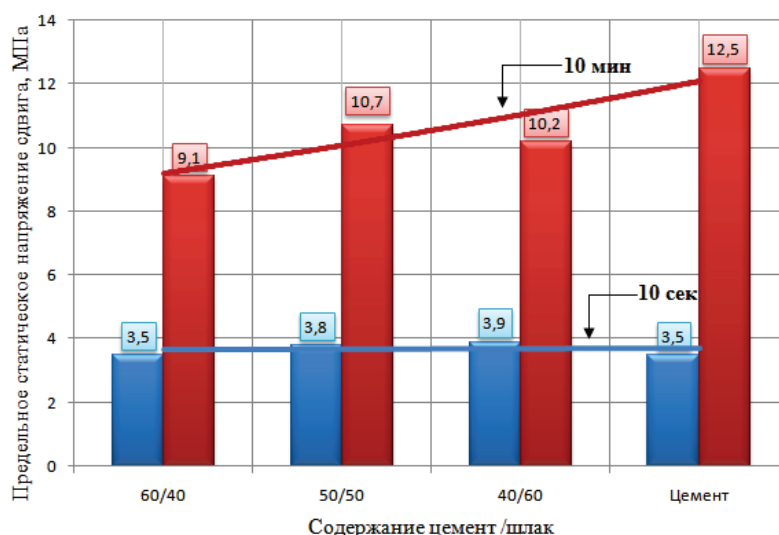


Рис. 1. Изменение предельного статического напряжения сдвига в зависимости от состава композиции

Полученные результаты свидетельствуют о следующем:

- показатели раствора практически идентичны, за исключением водоотделения. Повышенное значение последнего обусловлено более высоким удельным весом шлака относительно портландцемента. Однако этот параметр легко устраним за счет увеличения тонкости помола шлака, возможность которого достигается в вертикальной валовой мельнице (тонкость помола до 600 м²/кг по Блэйн);
- реологические показатели также практически идентичны и вполне объяснимы гидравлической активностью компонентов.

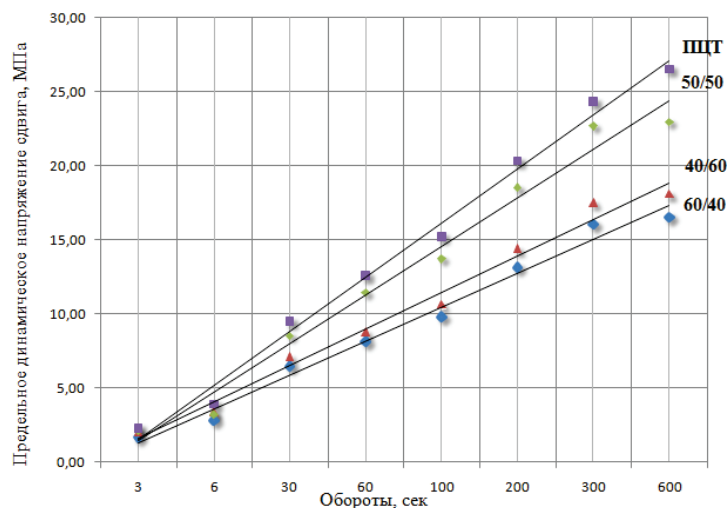


Рис. 2. Изменение предельного динамического напряжения сдвига в зависимости от состава композиции и деформации

Таким образом, можно считать, что раствор на основе шлакоцементной композиции в целом отвечает возможностям осуществления его доставки в заколонное пространство (цементирование скважин). Это явилось основанием для оценки механических свойств сформированного камня, исследования которых осуществлялись на тестере прочности компании OFITE. На рисунке 3 представлены прочностные показатели цементного камня в возрасте двух суток в зависимости от содержания шлака и температуры твердения.

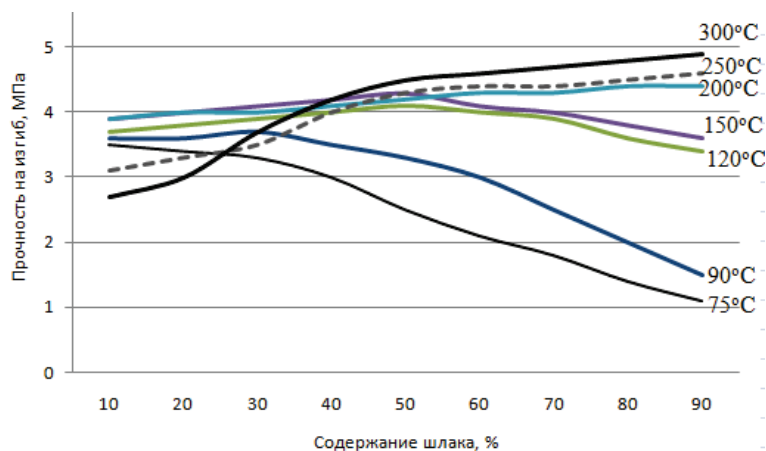


Рис. 3. Изменение прочности на изгиб камня на основе шлакоцементного раствора в зависимости от температуры окружающей среды

В таблице 3 приведены сведения о сроках схватывания растворов на основе шлакоцементных композиций.

Как видим, прочностные свойства камня зависят от состава сырьевой композиции и температуры окружающей среды. При температуре твердения до 120 °С наблюдается рост прочностных свойств образцов, а затем их сброс, что объясняется составом композиции. В температурном интервале до 120 °С на формирование структуры камня преобладающее влияние оказывает гидравлическая активность

портландцемента, свыше 120 °С — гидравлическая активность шлака. Можно считать, что наиболее оптимальное содержание шлака для температур более 150 °С — 60÷80 %.

Таблица 3

Сроки схватывания (начало) шлакоцементного раствора

Состав, %		Начало схватывания (час:мин) при температуре окружающей среды, °С						
Шлак	ПЦТ-G-CC-2	75	90	120	150	200	250	300
20	80	3:00	1:50	1:20	1:00	1:25	1:20	1:00
40	60	3:45	2:45	1:50	1:30	1:35	1:50	1:30
50	50	4:00	3:20	2:05	1:25	1:20	2:05	1:25
70	30	4:30	4:00	2:25	1:35	1:30	2:25	1:35
80	20	5:10	4:00	2:45	1:40	1:50	2:25	1:40
90	10	6:30	6:00	3:40	2:50	2:10	2:40	2:05

Учитывая важность при работе скважины, призабойная зона которой подвержена либо тепловым методам воздействия (при разработке высоковязких жидких углеводородов), либо находится в высоких температурных интервалах (ачимовская свита месторождений Уренгоя и др.) такого показателя как температуростойкость, было оценено влияние времени твердения на прочностные свойства сформированного камня. Результаты представлены на рисунке 4.

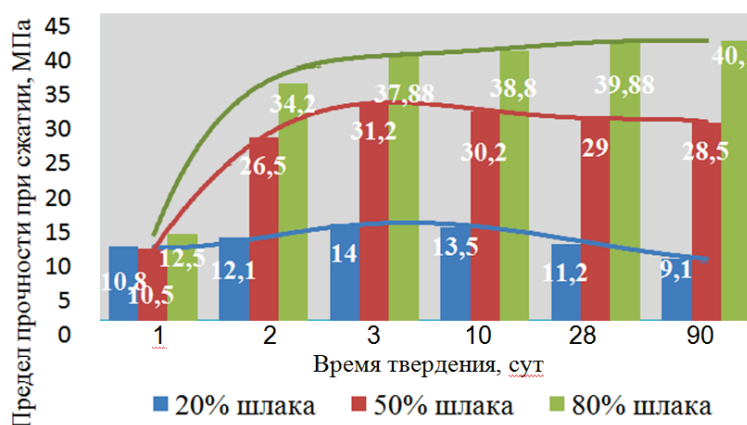


Рис. 4. Изменение прочности от времени твердения при температуре окружающей среды 160 °С

Анализ приведенных данных подтверждает ранее выдвинутое предположение об эффективности использования шлакоцементной композиции для цементирования обсадных колонн в интервале повышенных пластовых температур либо в интервалах, предназначенных для термического воздействия на пласт-коллектор высоковязких жидких углеводородов.

Следует отметить и другие положительные аспекты использования шлаков:

- сокращение расхода энергетически емкого и дорогостоящего клинкерного продукта ориентировочно на 25÷30 %, что отражается на стоимости тампонажного материала.
- сохранение и улучшение экологической обстановки в районе металлургического производства — сокращение землеотвода по шлакам, уменьшение объемов выбросов углекислого газа в атмосферу по сравнению с производством портландцементов.

Решение этих важных и актуальных задач требует теоретического обоснования и экспериментально-промышленного подтверждения возможности производства новых материалов на основе доменного гранулированного шлака в условиях производственного предприятия ООО «Мечел-Материалы» с привлечением коллектива Тюменского индустриального университета, оснащенного современным научным оборудованием фирмы OFITE, позволяющим имитировать условия в скважине (давление до 200 МПа, температура до 300 °С).

Список литературы

1. Булатов А. И., Данюшевский В. С. Тампонажные материалы. – М.: Недра, 1987. – 280 с.
2. Измухамбетов Б. С., Агзамов Ф. А., Умралиев Б. Т. Применение дезинтеграторной технологии при получении порошкообразных материалов для строительства скважин. – СПб.: Недра, 2007. – 464 с.
3. Шлакопортландцементный тампонажный материал для крепления высокотемпературных скважин / В. П. Овчинников [и др.] // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2016. – № 1. – С. 61–67.

Сведения об авторах

Овчинников Василий Павлович, д. т. н., профессор кафедры геотехники, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)390363, e-mail: geoteh@tgasu.ru

Аксенова Наталья Александровна, к. т. н., доцент кафедры нефтегазового дела, Тюменский индустриальный университет, филиал в г. Нижневартовске, тел. 8(3466)491073

Овчинников Павел Васильевич, д. т. н., профессор Российского государственного геологоразведочного университета, г. Москва, тел. 89150604525, e-mail: ovchinnikovpv@mail.ru

Розжкова Оксана Владимировна, ассистент кафедры бурения нефтяных и газовых скважин, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)283679

Information about the authors

Ovchinnikov V. P., Doctor of Engineering, Professor at the Department of Geotechnics, Industrial University of Tyumen, phone: 8(3452)390363, e-mail: geoteh@tgasu.ru

Aksenova N. A., Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Oil and Gas Business, Industrial University of Tyumen, a branch in Nizhnevartovsk, phone: 8(3466)491073

Ovchinnikov P. V., Doctor of Engineering, Professor at Russian State Geological Prospecting University, Moscow, phone: 89150604525, e-mail: ovchinnikovpv@mail.ru

Rozhkova O. V., Teaching Assistant at the Department of Oil and Gas Wells Drilling, Industrial University of Tyumen, phone: 8(3452)283679

УДК 622.276.

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ОСТАНОВКИ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН НА ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЙ СТАДИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ MAIN CAUSES OF STOPPING GAS WELLS AT THE FINAL STAGE OF DEVELOPMENT OF DEPOSITS

Е. В. Паникаровский, В. В. Паникаровский

E. V. Panikarovskii, V. V. Panikarovskii

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

*Ключевые слова: самозадавливание скважин; вынос песка; песчаная пробка;
газожидкостный поток; лифтовая колонна*

Key words: self-kill of wells; sand production; sand plug; gas-liquid flow; production tubing

На заключительной стадии разработки газовых и газоконденсатных месторождений усложняются условия эксплуатации скважин за счет обводнения продуктивных пластов и разрушения призабойной зоны скважин, что приводит к самозадавливанию скважин и абразивному износу оборудования.

Основной целью промыслово-геологических работ в данный период разработки месторождения является определение максимального дебита скважин, при котором не происходит разрушение призабойной зоны пласта (ПЗП), и минимального дебита, при котором не наблюдается подтягивание в скважины подошвенной воды, накапливающейся в стволе скважины.

Существует метод определения минимального дебита, при котором происходит непрерывный вынос воды из ПЗП скважин. Данный метод учитывает пластовое