

**УДК 622.245.4**

**Толкачев Г.М., Козлов А.С., Анисимова А.В., Пастухов А.М.**

**ПРИМЕНЕНИЕ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ЦЕМЕНТОВ ПРИ КРЕПЛЕНИИ  
ГЛУБОКИХ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН**

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
г. Пермь, Комсомольский проспект 29, 614990*

**UDC 622.245.4**

**Tolkachev G.M., Kozlov A.S., Anisimova A.V., Pastuhov A.M.**

**USAGE OF MAGNESIA CEMENTS FOR OIL AND GAS DEEP WELL  
CASING**

*Perm National Research Polytechnic University,  
Perm, Komsomolsky avenue 29,614990*

*Выполнен обзор исследований в области разработки и применения магнезиальных цементов. Указаны их преимущества и недостатки. Особое внимание уделено составам, предназначенным для крепления глубоких нефтяных и газовых скважин в солесодержащих разрезах. Показана возможность крепления скважин в многолетнемёрзлых породах с использованием магнезиального вяжущего.*

*Ключевые слова; магнезиальный цемент, крепление скважин, солесодержащий разрез, многолетнемёрзлые породы.*

*Review of research in the field of magnesia cements development and usage was carried out. Their advantages and disadvantages are described. Much attention has been given to compositions for deep oil and gas well casing in salt-containing cross-section. An opportunity that the magnesia cements can be used for casing in permafrost is showed.*

*Key words: magnesia cement, casing, salt-containing cross-section, permafrost.*

Магнезиальный цемент, известный также как «цемент Сореля», предложенный французским инженером С. Сорелем в 1867 году [1], представляет собой продукт химической реакции взаимодействия оксида магния ( $MgO$ ) с водными растворами солей магния ( $MgCl_2$ ,  $MgSO_4$ ). Обладая рядом таких достоинств как ускоренное загустевание и схватывание раствора с быстрым набором высокой прочности формирующегося цементного камня, хорошая смачиваемость заполнителей, бактерицидность, стойкость к агрессивным средам, износостойкость, отсутствие пыления, магнезиальный цемент нашёл широкое применение в строительной индустрии при изготовлении различных изделий (фибролит, ксилолит, бесшовные ксилолитовые полы, в т.ч. в операционных, лестничные ступени, подоконники и т.д.), а также в абразивной промышленности при производстве наждачных кругов, жерновов и др. [2]. Однако низкая водостойкость сформированного цементного камня существенно ограничивала область его применения. Повышение водостойкости цементного камня впоследствии стало основным предметом исследований в области разработки составов магнезиальных цементов, среди которых приоритетным направлением стал способ защиты новообразований от разрушающего действия воды вводом в состав магнезиального цемента различных добавок, способных в процессе твердения формировать с компонентами вяжущей основы водостойкие соединения.

Исследования в области повышения водостойкости магнезиальных цементов выполняли многие специалисты в области химии и технологии цементов: С.Бури и Е.Девис, О.Каллауер и В.Стопке, К.В.Каскер, Г.В.Мелик-Еганова, Б.Ф.Харрель, П.П.Будников, В.Л.Панкратов, А.Е.Павлис, Л.П.Вильям, Е.И.Ведь и В.К.Бочаров, М.Роса, О.Б.Адомавичутте, И.В.Яницкий, Б.И.Вектарис, Н.Н.Болтенкова, Р.Киттельбергер, Р.Вернер, И.З.Вальштейнас, Н.В.Диадарофф и В.С.Статаноф, Н.И.Пивень, И.Н.Рогачева и др.

Большинство из них пришло к выводу, что наиболее эффективными методами повышения водостойкости магнезиального цемента являются ввод в

его состав фосфорсодержащих добавок, а также шлаковых добавок при условии их сульфатно-щелочного пробуждения.

На заре использования магнезиальных цемента, помимо строительной индустрии, они нашли своё применение в горном деле при проведении цементировочных работ в горных выработках, в т.ч. ликвидационного и других видов тампонажа в скважинах различного назначения в процессе поиска, разведки и разработки месторождений водорастворимых минеральных солей.

Известно, что впервые для тампонажных работ магнезиальный цемент использовался на соляном штоке Гедвигсбург в 1899 г. при изоляции камеры в каменной соли перемычкой длиной 67 м от притока хлормагнезиевого рассола.

В 1923 г. на руднике «Бисмарксгаль-Бишоффероде» нагнетанием магнезиального цемента были изолированы притоки рассола из незначительных неплотностей в теле ранее установленной перемычки, что обеспечило возможность дальнейшей эксплуатации рудника [3].

В 1968 году Непримеровым А.Ф. предложен состав магнезиального цемента, в качестве жидкости затворения в котором использовался водный раствор карналлита с добавкой медного купороса (3-5 % масс.). Этот состав до 1975 г. применялся при ликвидационном тампонировании солесодержащей части разреза в неглубоких (до 500 м) геологоразведочных скважинах на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей [4].

Романовым Ю.В. исследованы и применены магнезиальные тампонажные материалы (МТМ) при бурении геологоразведочных скважин с максимальной глубиной 1400 м и забойной температурой 20-25 °С на Эльтонском месторождении калийно-магниевых солей. При проведении ликвидационного тампонирования с целью достижения необходимых сроков загустевания и схватывания раствора МТМ были рекомендованы составы, где в качестве наполнителей использовались мелкозернистый песок и бентонит [5].

Применение магнезиального цемента для достижения вышеперечисленных целей обусловлено тем, что формирующийся на контакте с водорастворимыми природными солями хлоридами натрия, калия и магния (галит, карналлит,

бишофит, сильвинит) цементный камень образует прочную на кристаллохимическом уровне связь. Помимо этого, магнезиальные цементы характеризуются и высокой стойкостью в контакте с водными растворами этих солей [6].

Известно, что получение достаточно прочных связей между цементным камнем и соляными породами возможно только лишь в случае химического подобия или родства солей и применяемых материалов [7]. Именно цементный камень, полученный на основе традиционно используемого при производстве в скважинах цементируемых работ тампонажного портландцемента, затворённого как на пресной воде, так и на насыщенном водном растворе хлорида натрия, не может образовывать адгезионной связи с калийно-магниевыми солями и формировать на границе с ними флюидонепроницаемый контакт. Об этом свидетельствуют результаты многочисленных исследований, выполненных известными учёными в области тампонажных материалов и крепления скважин: Данюшевским В.С., Липовецким А.Я., Булатовым А.И., Пустоваловым В.И. и др.

Указанные преимущества МТМ в сравнении с тампонажными материалами на основе портландцемента определили его в качестве перспективного вяжущего для успешного проведения различного вида цементируемых работ в глубоких нефтяных и газовых скважинах при наличии во вскрываемых ими разрезах водорастворимых солей.

Отличительными особенностями условий этих работ в глубоких скважинах на нефть и газ от работ, проводимых в геологоразведочных на калийные соли скважинах, являются: значительные объёмы используемого тампонажного материала, более продолжительное время проведения работ по размещению тампонажного раствора за обсадными колоннами, наличие в разрезе пресных и маломинерализованных вод, широкий диапазон термобарических условий размещения тампонажного материала, наличие в разрезе пластов с аномально низкими пластовыми давлениями и пластов с низким значением давления гидроразрыва пород. Использование же в

глубоких скважинах известных и применяемых в соледобывающей промышленности составов МТМ сопряжено с рисками преждевременного загустевания тампонажного раствора, недоподъема его на заданную высоту и недолговечности крепи скважин в пресноводной части разреза.

Разработкой составов МТМ для различных условий их применения в глубоких нефтяных и газовых скважинах занимались специалисты ряда научно-исследовательских и проектных организаций: ВНИИНГП, ВНИИКРнефть, Гипроцемент, УкрНИГРИ, ХПИ, ПФ ВНИИБТ, СредАзНИПИнефть, УНИ и др.

Большинство этих исследований ограничилось лишь рамками лабораторных испытаний, а разработанные составы не нашли широкого применения при строительстве глубоких скважин. Основной причиной этому явилось отсутствие в отечественной промышленности целевого производства вяжущей основы магнезиального цемента (оксида магния) со стабильными физико-химическими свойствами.

Практически до настоящего времени единственным продуктом, содержащим оксид магния в активной форме, был пылеунос вращающихся печей производства огнеупоров – порошок магнезитовый каустический. Отгружаемый ОАО «Комбинат «Магнезит» потребителю каустический магнезит ПМК-75 и ПМК-83 характеризовался нестабильностью химической активности в широком диапазоне, что при использовании ПМК различных партий приводило к получению тампонажных составов с существенно различающимися значениями показателей свойств раствора-камня. Такая особенность обуславливала высокую вероятность возникновения нештатных аварийных ситуаций при цементировании обсадных колонн, а также получение низкого качества выполняемых работ.

Значительные успехи в разработке и применении магнезиальных тампонажных материалов при производстве цементировочных работ в скважинах предприятий нефтегазового комплекса [8-10] достигнуты коллективом научно-исследовательской лаборатории «Технологические жидкости для бурения и крепления скважин» (научный руководитель НИЛ –

профессор кафедры «Нефтегазовые технологии» Пермского национального исследовательского политехнического университета Г.М Толкачев).

Магнезиальные тампонажные составы, разработанные в НИЛ ТЖБКС, предназначены для выполнения различных по виду, назначению и трудоемкости цементировочных работ на всех этапах строительства и эксплуатации скважин. В условиях изменения температуры по разрезам, вскрываемыми скважинами от +3 до +50 °С, с использованием этих тампонажных составов представляется возможным [11]:

- осуществить первичное цементирование обсадных колонн, перекрывающих отложения легкорастворимых солей и других горных пород;
- ликвидировать поглощения буровых промывочных растворов в процессе бурения скважин;
- осуществить первичное цементирование обсадных колонн (хвостовиков) в наклонных и горизонтальных участках стволов скважин;
- установить высокопрочные упорные мосты в бурящихся и эксплуатирующихся скважинах;
- устранить негерметичность обсадных колонн (в т.ч. в резьбовых соединениях);
- ликвидировать заколонные перетоки пластовых флюидов и ограничить приток воды в скважину и др.;
- восстановить нарушенную герметичность цементного кольца в межколонном пространстве.

Перечисленные виды работ в скважинах успешно выполняются благодаря особенностям реологических, физико-химических и физико-механических свойств раствора-камня тампонажных материалов, которые они приобретают после ввода в базовый состав магнезиального цемента материалов и реагентов (облегчающая добавка, утяжелитель, расширяющая добавка, регулятор сроков загустевания и схватывания, пластификатор и др.) в ассортименте и количестве, направленно формирующих тампонажную систему с необходимыми функциональными характеристиками (таблица).

Магнезиальные тампонажные растворы разработанных в НИЛ ТЖБКС составов характеризуются:

- низкими значениями реологических и фильтрационных свойств, придающих ему способность легко проникать в заполненные пластовыми водами поры и трещины без обезвоживания на границе «раствор – пористая (трещиноватая) горная порода»;

- высокой седиментационной стабильностью (минимальным гравитационным перераспределением твердой фазы в объеме раствора) и нулевым водоотделением;

- технологически необходимыми временем загустевания и сроками схватывания;

- способностью затвердевать с образованием цементного камня даже при смешивании с пластовыми водами до соотношения 1:2.

**Таблица**

**Показатели свойств раствора-камня магнезиальных тампонажных материалов, разработанных в НИЛ ТЖБКС**

Показатели свойств раствора-камня	Значения
Тампонажный раствор	
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,50...1,95
Начальная консистенция, Вс	5,0...20,0
Условная вязкость, УВ <sub>100</sub> , с	8,0...80,0
Пластическая вязкость, сПз	70...300
Динамическое напряжение сдвига, дПа	0...20
Фильтратоотдача, см <sup>3</sup> /30 мин	3,0...30,0
Стабильность, г/см <sup>3</sup>	0...0,06
Водоотделение, %	не отмечается
Время загустевания, ч-мин	1-30...7-00
Сроки схватывания, ч-мин, начало конец	не ранее 2-00 не позднее 10-00

Цементный камень (через двое суток хранения)	
Предел прочности при изгибе, МПа	не менее 2,7
Абсолютная газопроницаемость, мкм <sup>2</sup>	0...0,0005
Объемное (скелетное) расширение, %	0,3...1,2
Прочность сцепления с металлической огибающей поверхностью, МПа	0,5...2,5

Цементный камень, формирующийся при твердении магнезиального тампонажного раствора, характеризуется:

- высокой начальной и конечной прочностью;
- низкой абсолютной газопроницаемостью, соизмеримой с проницаемостью пород-флюидоупоров во вскрываемом скважиной разрезе;
- объемным (скелетным) расширением;
- коррозиестойкостью в контакте с пластовыми флюидами, в т.ч. содержащими сероводород;
- способностью формировать высокопрочную адгезионную связь со всеми с горными породами разреза и стальными трубами обсадных колонн.

Магнезиальные тампонажные составы НИЛ ТЖБКС с высокой эффективностью используются с 1976 г. при проведении первичного цементирования обсадных колонн, при ликвидации поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин, при производстве ремонтно-изоляционных работ. К настоящему времени выполнены работы более чем в 1500 скважинах в Пермском и Красноярском краях, республике Саха, Иркутской и Волгоградской областях, при этом обеспечено высокое качество выполненных работ.

В последнее время в НИЛ ТЖБКС разработан состав магнезиального тампонажного материала, гарантирующего формирование цементного камня при отрицательной температуре окружающей среды. Раствор тампонажного материала этого состава характеризуется отсутствием замерзания, пониженной плотностью, нулевым водоотделением, технологически необходимым временем загустевания и схватывания, раствора и формированием прочного



непроницаемого цементного камня при температуре до минус 5 °С [12]. Исследования на морозостойкость показали, что цементный камень разработанного состава выдерживает 12-15 циклов «замораживание-оттаивание». Перечисленное позволяет рекомендовать его в качестве основы при разработке составов тампонажного материала, предназначенного для повышения качества крепления скважин в многолетнемёрзлых породах.

Литература:

1. Sorel M. C.R. Acad. Scie. – 1867.
2. Кузнецов, А.М. Производство каустического магнезита. – М.: Промстройиздат., 1948.
3. Шиман, М.И. Предотвращение затопления калийных рудников. – М.: Недра, 1992.
4. Непримеров, А.Ф. Исследование эффективности восстановления водонепроницаемости защитной толщи калийных рудников, нарушенной буровыми скважинами на примере Верхнекамского калийного месторождения: дис. ...канд. техн. наук. – Л., 1972.
5. Романов, Ю.В. Исследование и разработка рациональной технологии бурения многопластовых калийных месторождений в осложнённых условиях (на примере Эльтона). Автореф. дис. ...канд. техн. наук. – М., 1977.
6. Бурение и крепление в солях: тематические научно-технические обзоры, сер. «Бурение»//А.Н. Ананьев, Л.И. Векслер, Н.П. Гребенников и др. – М.: ВНИИОЭНГ, 1972.
7. Остриков, М.С. К вопросу о роли адгезии и когезии в строительных материалах, содержащих полимеры/ М.С. Остриков, А.В. Чуйков, Г.И. Филилонова // Сб. «Пути повышения стойкости и долговечности строительных материалов и конструкций». – Ростов: изд-во Ростовского университета, 1966.
8. Применение магнезиальных цементов при бурении скважин и добыче нефти/ Г.М. Толкачев и др. – М: Изд. ЦП НТО НГП им. акад. И.М.Губкина, 1987.

9. Толкачев, Г.М., Козлов, А.С. Научно-исследовательская лаборатория «Технологические жидкости для бурения и крепления скважин»// Нефтяное хозяйство. – 2011. – №10.

10. Толкачев, Г.М., Козлов, А.С. Технологии и опыт строительства скважин для решения задач комплексного освоения калийных и нефтяных месторождений// Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – №12.

11. Толкачев, Г.М. Технологические жидкости на основе хлормagneзиево-фосфатных систем для бурения, крепления, ремонта и ликвидации скважин// Сб. докладов международной научно-практической конференции «Проблемы научно-технического прогресса в бурении». – Томск, 2004.

12. Пат. 2460754 РФ, МПК С09К 8/46 (2006/1). Тампонажный материал/Толкачев Г.М., Шилов А.М., Козлов А.С., Пастухов А.М.; заявитель и патентообладатель ПНИПУ. № 2011112246/03; заявл. 30.03.11; опубл. 10.09.12, Бюл. № 25.

#### References:

1. Sorel M. C.R. Acad. Scie. – 1867.
2. Kuznecov, A.M. Production of caustic magnesite. – M.: Promstroyizdat., 1948.
3. Shiman, M.I. Prevention of potassium mine flooding. – M.: Nedra, 1992.
4. Neprimerov, A.F. Investigation on efficiency of waterproofing recovery of potassium mine protective strata disturbed by drill well by example of Verhnekamsky potassium field: PhD Thesis. – L., 1972.
5. Romanov, U.V. Investigation and development of rational technology of multilayer potassium field drilling in problem areas: abstract of a PhD thesis. – M., 1977.
6. Drilling and casing in salts: subject scientific-technical survey// A.N. Anan'ev, L.I. Veksler, N.P. Grebennikov i dr. – M.: VNIIOENG, 1972.

7. Ostrikov, M.S. Adhesion and cohesion in constructional material containing polymers/ M.S. Ostrikov, A.V. Chujkov, G.I. Fililonova// Collected articles «Ways of increasing of durability of constructional material». – Rostov, 1966.

8. Usage of magnesia cements in well drilling and oil extraction/ G.M. Tolkachev, U.A. Dulepov, A.M. Shilov i dr. – M: Izd. CP NTO NGP im. akad. I.M.Gubkina, 1987.

9. Tolkachev, G.M., Kozlov, A.S. Scientific laboratory «Technological liquids for well drilling and casing»//Oil industry. – 2011. – Issue 10.

10. Tolkachev, G.M., Kozlov, A.S. Technologies and experience of well construction for deciding tasks of development of oil fields and potash ores// Mining equipment and electromechanics. – 2011– Issue 12.

11. Tolkachev, G.M. Technological liquids on the base of chlorine-magnesium-phosphate system for drilling, casing, repair work and abandonment// Collected articles of international theoretical and practical conference «Problems of scientific-technical progress in drilling». – Tomsk, 2004.

12. Patent 2460754 RF, MPK C09K 8/46 (2006/1). Oil-well cement composition/ Tolkachev G.M., Shilov A.M., Kozlov A.S., Pastuhov A.M.; applicant and patent holder PNRPU; declared 30.03.11; published 10.09.12, bul. issue 25.