



УДК 622.276:544.773.432:678.745.842

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТАМПОНАЖНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗОЛЯЦИОННЫХ РАБОТ В ТРЕЩИНОВАТЫХ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ

DEVELOPMENT OF NEW GROUTING HYDROGELS FOR CARRYING OUT INSULATION WORKS IN FRACTURED CARBONATE RESERVOIRS

Журавлев Андрей Сергеевич

магистрант,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
aszhuravlev777@gmail.com

Стрижнев Владимир Алексеевич

кандидат технических наук, эксперт,
ООО «Уфимский Научно-Технический Центр»
strijnevva@ufntc.ru

Арсланов Ильдар Робертович

начальник отдела ремонтно-изоляционных работ и
скважинных технологий,
ООО «Уфимский Научно-Технический Центр»
arslanovir@ufntc.ru

Ленченкова Любовь Евгеньевна

доктор технических наук, профессор
кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и
газонефтяных месторождений»
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
lenchenkoval@mail.ru

Телин Алексей Герольдович

кандидат химических наук, член-корреспондент РАЕН,
заместитель директора по научной работе,
ООО «Уфимский Научно-Технический Центр»
telinag@ufntc.ru

Аннотация. В данной статье приведены результаты исследования изолирующих свойств полимерных тампонажных составов на основе реагента NGT-Chem-3 и органоминерального комплекса ГОС ОМК, разработанных в ООО «Уфимский Научно-Технический Центр». Отражены изменения, происходящие с фильтрационной устойчивостью и блокирующей способностью изолирующих составов при введении в сшиваемую полимерную систему некоторых органических наполнителей. Установлена принципиальная возможность регулирования изолирующих свойств тампонажных составов для их использования при проведении РИР в скважинах трещиноватых коллекторов.

Ключевые слова: трещиноватые и карбонатные коллекторы, ремонтно-изоляционные работы, тампонажные составы, гидрогели, шитые полимерные системы, фибра, хризотил, шелуха риса, шелуха проса.

Zhuravlev Andrey Sergeevich

Master's Degree Student,
Ufa State Petroleum Technological University
aszhuravlev777@gmail.com

Strijnev Vladimir Alekseevich

Candidate of Technical Sciences, Expert,
Ufa Scientific and Technical Center, LLC
strijnevva@ufntc.ru

Arslanov Ildar Robertovich

Head of the Department of Repair and
Insulation Works and Borehole Technologies,
Ufa Scientific and Technical Center, LLC
arslanovir@ufntc.ru

Lenchenkova Lyubov Evgenевна

Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department «Oil and Gas
And Oil Field Development and Operation».
Ufa State Petroleum Technological University
lenchenkoval@mail.ru

Telin Alexey Geroldovich

Candidate of Chemical Sciences,
Corresponding Member of the Russian
Academy of Natural Sciences.
Deputy Director for Scientific Work.
Ufa Scientific and Technical Center, LLC
telinag@ufntc.ru

Annotation. This article presents the results of research of the insulating properties of polymer grouting compositions based on NGT-Chem-3 reagent and GFC OMC organomineral complex, developed at LLC «Ufa Scientific and Technical Center». In the article are shown the changes occurring with the filtration resistance and blocking ability of the initial insulating compositions when some organic fillers are introduced into the cross-linkable polymer system. The presence of a fundamental possibility of regulating the insulating properties of grouting compositions for their use when carrying out repair and insulation works in wells of fractured reservoirs has been determined.

Keywords: fractured and carbonate reservoirs, repair and insulation works, grouting compositions, hydrogels, cross-linked polymer systems, fiber, chrysotile, rice husk, millet husk.



Современная практика разработки нефтяных месторождений постоянно сталкивается с различными видами осложнений, одним из которых являются прорывы пластовых и нагнетаемых вод к забоям добывающих скважин по высокопроницаемым пластам и пропласткам. До 80 % общих временных расходов на ликвидацию осложнений при бурении уходит на изоляцию зон поглощений буровых и иных технологических растворов. Значимыми причинами непрекращающегося роста затрат времени и средств на ликвидацию перечисленных видов осложнений являются недостаточная технологическая эффективность существующих методов и низкое качество применяющихся изолирующих составов.

Кроме того, с каждым годом растет доля карбонатных коллекторов, задействованных при разработке месторождений Российской Федерации. Это связано с истощением запасов разрабатываемых терригенных коллекторов и открытием больших месторождений карбонатного типа в Восточной Сибири. К отличительным особенностям коллекторов карбонатного типа относятся высокая трещиноватость и кавернозность, склонность к образованию густых сетей трещин, крайняя невыдержанность и высокая степень расчлененности продуктивных пропластков. Наличие множества высокопроницаемых каналов и пустот зачастую способствует прорыву и преждевременному обводнению продукции пластовыми и нагнетаемыми водами [1], приводит к возникновению катастрофических поглощений при бурении [2]. Отсюда вытекает потребность в использовании изолирующих составов, главным образом повышающих эффективность проведения РИР в скважинах трещиноватых и трещиновато-поровых карбонатных коллекторов.

Одним из многообещающих путей развития в этом направлении видится разработка новых технологически более эффективных тампонажных составов, закачиваемых в скважину с целью изоляции водонасыщенных и поглощающих горизонтов. Перспективной группой таких гелеобразующих составов считаются композиции на полимерной основе [3, 4]. Основными преимуществами подобных смесей являются: образование плотносшитых гелеобразных полимерных систем – гидрогелей, регулируемое время их сшивания, простота приготовления и др. Именно поэтому в настоящее время широкое распространение получили полимерные гидрогели на основе частично гидролизованного полиакриламида (ПАА), представляющие собой гидрофильные шитые макромолекулярные системы.

В данной работе был проведен ряд лабораторных исследований, направленных на поиск способов повышения изолирующей способности исходных составов на примерах полимерного реагента NGT-Chem-3 и органоминерального комплекса ГОС ОМК, разработанных в ООО «Уфимский НТЦ».

Описание реагентов

Модифицированный полимерно-дисперсный реагент NGT-Chem-3 [5] предназначен для проведения РИР на нефтяных и газовых месторождениях с целью повышения эффективности их разработки. NGT-Chem-3 представляет собой смесь низкомолекулярного ПАА с некоторыми сшивающими компонентами, что обеспечивает высокую эффективность применения этой композиции в роли структурообразующей системы при проведении изоляционных работ. Данный реагент при добавлении кольматирующей наполнители позволяет качественно изолировать проблемные интервалы при бурении и эксплуатации скважин, имеет регулируемое время гелеобразования в пластовых условиях, обладает высокой устойчивостью к температурной и механической деструкции, образуя в пласте прочные гели от «текучих» до «звонящих» [6].

В роли водорастворимого полимера в составе реагента NGT-Chem-3 выступает полиакриламид марки А523, который сшивается некоторыми органическими сшивателями, в то же время являющимися стабилизаторами ПАА от разного рода деструкций. В качестве дополнительных дисперсных кольматантов используются фиброволокно (фибра) и хризотилловый асбест (хризотил). Фибра является волокнистым полимерным компонентом, представляющим собой техническую вату, используемую для армирования изоляционных материалов в целях повышения их прочностных характеристик, в частности, путем обеспечения дополнительного сопротивления растягивающим и изгибающим напряжениям [7] при динамических нагрузках на тампонажные гели. Хризотил представляет собой водный силикат магния, кристаллы которого – это тончайшие полые трубочки-фибриллы длиной до 3 см, напоминающие мягкие целлюлозные волокна хлопковой ваты. Будучи неорганическим материалом, волокна хризотила выдерживают высокие температуры. Хризотилловый асбест способен расщепляться на длинные волокна толщиной до 0,5 мкм. Хризотил повсеместно применяется в промышленности в качестве компонента, повышающего прочность и износостойкость исходного вещества.

Водный раствор рассмотренных реагентов – NGT-Chem-3, фибры и хризотила, смешанных в определенных концентрациях при правильном порядке введения, – спустя время гелеобразования образует шитую полимерную систему в виде плотносшитого геля. Данный гидрогель успел зарекомендовать себя на промысле в качестве эффективного тампонажного материала.

В роли исследуемых органических наполнителей в опытах использовались мелкодисперсные шелуха риса и шелуха проса, дополнительно измельченные на дисмембраторе, а также техническая целлюлоза. Использование этих наполнителей в качестве кольматирующих агентов все чаще встречается при проведении работ по предупреждению и по борьбе с поглощениями буровых растворов и при ликвидации водопритокков [8, 9].



Рисовая шелуха представляет собой волокнистое вещество, которое состоит из органических соединений (75–85 % массы), из диоксида кремния (до 23 % масс.), из неорганических примесей металлов (до 5 % масс.), а также содержит небольшое количество белка и витаминов. Органическая часть рисовой шелухи состоит из большого количества углерода в составе природных полисахаридов – целлюлозы и лигнина [10]. Результаты исследования [11] по определению химического состава рисовой шелухи приведены в таблице 1. Стоит отметить, что при этом использовались результаты экспериментов по изучению её кольматирующей способности.

Таблица 1 – Химический состав рисовой шелухи

Химическое соединение	Содержание, % масс.
Влага	7,6
Полисахариды холоцеллюлозы, в т.ч.:	49,4
– гемицеллюлозы	17,6
– целлюлозы	31,8
Лигнин	26,6
Зола (аморфный диоксид кремния)	17,5
Азотистые вещества	3,1
Уроновые кислоты	3,4

Основную часть рисовой шелухи составляют органические вещества, подразделяющиеся на две группы: углеводную и ароматическую. Углеводная часть – это комплекс полисахаридов (или холоцеллюлоза), гидролизуемая часть рисовой шелухи. По скорости деструкции полисахариды делятся на легко- и трудногидролизующиеся. К трудногидролизующим относится целлюлоза; гемицеллюлозы, как аморфные полимеры, легко гидролизуются разбавленными кислотами и щелочами, практически не растворимы в воде и органических растворителях.

Широко известно, что рисовая шелуха обладает высокой кольматирующей способностью поровых каналов и трещин. В проведенном исследовании преобладали частицы рисовой шелухи, не достигающие размера в 50 мкм. Такая молотая шелуха меньше теряется в очистительных устройствах и способна лучше закупоривать поровое пространство благодаря расширению фракционного состава. Считается, что использованием в тампонажных составах рисовой шелухи в качестве наполнителя-кольматанта достигается изоляция проницаемых пластов порового и слаботрещинного типов с размерами каналов от 1 мкм до 3 мм.

Химический состав шелухи проса представлен полисахаридами, аминокислотами, фенольными и некоторыми другими биологически активными соединениями. Среди перечисленных веществ в составе шелухи проса наиболее распространены полисахариды, представленные гемицеллюлозами и целлюлозой, и некоторые фенольные соединения.

Главными компонентами легкогидролизующихся полисахаридов в шелухе проса выступают гемицеллюлозы и крахмал (водорастворимый полисахарид); трудногидролизующим полисахаридом является целлюлоза.

В работе [12] определены содержание различных углеводов, их массовые концентрации в составе холоцеллюлозы, а также содержание некоторых других соединений в составе шелухи проса (табл. 2).

Техническая целлюлоза – это волокнистый полуфабрикат, получаемый очисткой волокон растительных тканей от нецеллюлозных компонентов; применяется в химической промышленности. Для технической целлюлозы понятие химического состава заключается, прежде всего, в определении содержания в ней α -, β - и γ -целлюлоз, гемицеллюлоз и лигнина.

Таблица 2 – Химический состав шелухи проса

Химическое соединение	Содержание, % масс.
Влага	9,5–10,0
Полисахариды холоцеллюлозы, в т.ч.:	62,0–67,0
– гемицеллюлозы	~ 31
– целлюлозы	~ 33,5
Лигнин	17,5–19,0
Зола (аморфный диоксид кремния)	~ 10
Крахмал	4,0–10,0
Азотистые вещества	~ 1
Уроновые кислоты	~ 3,5



В различных существующих видах технической целлюлозы содержание α -целлюлозы может быть одинаково, однако длина их цепей колеблется, что ведет к колебанию свойств вещества. При высоком содержании α -целлюлозы волокнистый материал отличается повышенной прочностью, химической и термической стойкостью. β -целлюлоза состоит из наиболее длинных гемицеллюлозных цепей, а также продуктов деструкции длинных целлюлозных молекул. В некоторых видах технических целлюлоз β -целлюлоза полностью отсутствует. γ -целлюлоза – самая низкомолекулярная часть технической целлюлозы. Она состоит из гемицеллюлозных цепей и низкомолекулярных осколков, образованных в процессе деструкции целлюлозных молекул.

Гемицеллюлозы, в свою очередь, являются важным компонентом технической целлюлозы: они пластифицируют волокна, облегчая их фибриллирование, что способствует увеличению прочности связей между волокнами. Определенное количество гемицеллюлоз не только придает технической целлюлозе высокие склеивающие свойства, необходимые для поверхностной связи волокон, но и обеспечивает их фибриллирование без сильного уменьшения их длины при размоле. Разные виды целлюлозы обладают различной способностью набухать в воде. Эта способность, в основном, зависит от содержания гемицеллюлоз. Также известно, что при прочих равных условиях с повышением содержания в технической целлюлозе гемицеллюлоз растет ее механическая прочность. Склеивающее действие гемицеллюлоз связано с тем, что они имеют более короткие цепи по сравнению с целлюлозой и, таким образом, при набухании способны создавать поперечные гибкие связи между соседними волокнами.

Лигнин с точки зрения объемобразующих (и кольматирующих) свойств волокон является неблагоприятным компонентом технической целлюлозы, так как препятствует пластификации волокон, ограничивает набухание, ухудшает условия взаимного сцепления волокон и затрудняет их размол и фибриллирование [13].

Исследование составов на основе NGT-Chem-3

Описанные органические наполнители вводились в раствор после добавления хризотила (перед введением в систему полимерного реагента). После полного растворения всех компонентов системы до получения однородной смеси каждый из составов оставался в неподвижном состоянии на время гелеобразования (сшивки), равное двум часам. Сначала было приготовлено семь различных составов, включая исходный.

Фильтрационные испытания проводились на приборе фильтр-пресс низкого давления/низкой температуры марки ФЛР-2. В данной работе, ссылаясь на опыт предыдущих исследований блокирующей способности различных изолирующих составов, измерение показателя фильтрации было заменено определением давления начала фильтрации (истекания) составов через отверстия диаметром 1,8 мм (10 меш) в решетке диаметром 53 мм, ограничивающей соответствующую площадь фильтрации.

Приготовленные составы помещались в фильтровальную ячейку фильтр-пресса. Давление в ячейке повышалось с шагом 0,1 атм до начала истекания фильтрата из отверстий решетки. Избыточное давление, соответствующее началу фильтрации, фиксировалось в результатах, после чего в ячейке продолжалось увеличение давления до значения, при котором достигалась максимальная скорость фильтрации. Это давление также фиксировалось.

Результаты измерений приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты испытания составов на основе NGT-Chem-3

№ опыта	Компонент состава	Массовая концентрация	$P_{нач.}$, МПа	$P_{макс.}$, МПа
0	NGT-Chem-3	2,5 %	0,20	0,47
	Волокнисто-дисперсный кольматант	1,65 %		
1	NGT-Chem-3	2,5 %	0,17	0,40
	Волокнисто-дисперсный кольматант	1,65 %		
	Шелуха риса	0,15 %		
2	NGT-Chem-3	2,5 %	0,14	0,35
	Волокнисто-дисперсный кольматант	1,65 %		
	Шелуха риса	1,5 %		
3	NGT-Chem-3	2,5 %	0,16	0,40
	Волокнисто-дисперсный кольматант	1,65 %		
	Шелуха проса	0,15 %		
4	NGT-Chem-3	2,5 %	0,13	0,37
	Волокнисто-дисперсный кольматант	1,65 %		
	Шелуха проса	1,5 %		
5	NGT-Chem-3	2,5 %	0,21	0,48
	Волокнисто-дисперсный кольматант	1,65 %		
	Техническая целлюлоза	0,15 %		
6	NGT-Chem-3	2,5 %	0,16	0,35
	Волокнисто-дисперсный кольматант	1,65 %		
	Техническая целлюлоза	1,0 %		



Из результатов испытаний (табл. 3) видно, что введение в исходный состав органических наполнителей приводит к незначительному снижению прочностных и ухудшению фильтрационных характеристик сшитой полимерной системы; причем увеличение концентрации вводимых органических компонентов лишь усиливает этот эффект.

Низкие показатели начального и максимального давлений фильтрации продемонстрировал состав с добавлением 1 % технической целлюлозы. Его структура еще до фильтрации являлась наименее «схватившейся» и наиболее подвижной, а во время сшивки «загеливалась» очень медленными темпами. После фильтрации через решетку фильтр-пресса полученный гель полностью разрушился, не оставив поверх решетки признаков однородной полимерно-дисперсной смеси.

Интересным будет отметить, что наибольшие значения измеренных давлений фильтрации показал состав с добавлением той же технической целлюлозы, но в минимальной протестированной концентрации (0,15 %).

Полученные результаты заставили задуматься о природе и механизме процессов, которые происходят при введении в исходную систему органических наполнителей. В качестве объяснения наблюдаемых изменений было предположено, что причина кроется в высокой адсорбционной активности вводимых растительных материалов. Политовым А.А. (ИХТТМ СО РАН, 2020 г.) были проведены сорбционные исследования порошков шелухи риса и шелухи проса. В ходе исследований определялись удельная поверхность органических частиц шелухи риса и шелухи проса, а также адсорбционная активность этих частиц. Удельная поверхность определялась методом БЭТ по низкотемпературной адсорбции азота. Адсорбционная активность растительного материала измерялась метиленовым голубым согласно ГОСТ 4453-74 (табл. 4).

Таблица 4 – Удельная поверхность и адсорбционная активность шелухи риса и шелухи проса

Материал	Размер частиц до обработки, мм	*Размер частиц после обработки, мкм	Удельная поверхность после обработки, м ² / г	**Адсорбционная активность после обработки, мг / г
Шелуха риса	4–7	17,2	1,9	60,8
Шелуха проса	2–3	26,4	1,7	70,8

* 50 % частиц имеют эффективный размер меньше, чем указанные в таблице величины;

** Адсорбционная активность угля ОУ-А составляет 225 мг / г

Такую высокую адсорбционную активность шелухи риса и шелухи проса можно объяснить тем, что часть полисахаридов, входящих в состав шелухи, растворяется в воде, образуя протяженный слой вблизи поверхности частиц. В этом случае адсорбция метиленового голубого, в соответствии с моделью адсорбции Гиббса, происходит не только на поверхности частиц, но и в приповерхностном слое. Большую адсорбционную активность шелухи проса можно объяснить тем, что в ней содержится больше водорастворимых соединений, чем в шелухе риса (крахмал и некоторые гемицеллюлозы; таблицы 1 и 2), поэтому при меньшей величине удельной поверхности шелуха проса демонстрирует большую адсорбционную активность по отношению к красителю.

Если исходить из предложенного объяснения, кажется вполне логичным результат, полученный в эксперименте с добавлением технической целлюлозы в минимальной концентрации (0,15 %, табл. 3). Можно предположить, что ввиду практически полного отсутствия водорастворимых полисахаридов, обусловленного малым содержанием легкогидролизуемых гемицеллюлоз и отсутствием крахмала, техническая целлюлоза в малых концентрациях не способна образовывать протяженный полисахаридный слой, демонстрируя низкий уровень адсорбционной активности, что приводит к росту фильтрационной устойчивости.

Резюмируя, можно сделать вывод о существовании непосредственного влияния адсорбционных свойств вводимых органических наполнителей на конечные характеристики получаемого гидрогеля. Хорошо известно, что макромолекулы свободного ПАА в высокой степени склонны к адсорбции [14]. Возникающую проблему, чаще всего, решают вводом сшивающих веществ, содержащих ионы хрома, которые прочно связывают макромолекулы с образованием плотносшитых полимеров [15].

В ходе проведенного исследования было определено, что возникающий в полимерной системе приповерхностный слой растворенных полисахаридов способствует обеспечению адсорбции ПАА на поверхности частиц шелухи риса и шелухи проса, несмотря на наличие сшивающих компонентов в составе реагента NGT-Chem-3. Очевидно, что при добавлении в систему органических наполнителей с высокой адсорбционной активностью, исходной концентрации этих сшивателей в составе полимерного реагента становится недостаточно для полной сшивки макромолекул ПАА. Для проверки выдвинутой гипотезы было решено повторить эксперименты по введению органических наполнителей с одновременным увеличением концентрации сшивающих компонентов в составе реагента NGT-Chem-3.

Повышение исходной концентрации сшивателей в составе NGT-Chem-3 привело к увеличению общей массовой концентрации полимерного реагента с 2,5 до 3,3 %. Концентрация шелухи риса и шелухи проса в экспериментах была взята 1,5 % масс. для большей наглядности изменения фильтрационных свойств конечной системы (табл. 5).

**Таблица 5** – Результаты испытания составов с повышенной концентрацией сшивателей

№ опыта	Компонент состава	Массовая концентрация	$P_{нач.}$, МПа	$P_{макс.}$, МПа
7	NGT-Chem-3	3,3 %	0,20	0,50
	Волокнисто-дисперсный кольматант	1,65 %		
	Шелуха риса	1,5 %		
8	NGT-Chem-3	3,3 %	0,20	0,48
	Волокнисто-дисперсный кольматант	1,65 %		
	Шелуха проса	1,5 %		

Результаты экспериментов выявили увеличение фильтрационной устойчивости полученных сшитых полимерных составов относительно первоначально испытанных, что говорит о верной направленности рассуждений. Так, из таблицы 5 видно, что давление начала фильтрации достигает исходного значения, а давление, соответствующее максимальной скорости истечения составов, начинает превосходить показатели исходной смеси. Дополнительные опыты показали, что при большем увеличении концентрации сшивателей изолирующие составы с органическими наполнителями демонстрируют дальнейший рост показателей измеряемых давлений. Таким образом, при одновременном увеличении концентрации сшивателей в составе полимерного реагента ввод органических наполнителей в ограниченном количестве может быть признан эффективным подходом к улучшению водоизолирующей способности и прочности получаемых гелей.

В заключительной части исследования составов на основе полимерного реагента NGT-Chem-3 был проведен дополнительный эксперимент для определения отклика (реакции) конечной системы с добавлением органических наполнителей и повышенным содержанием сшивателей на увеличение концентрации ПАА.

Результаты эксперимента представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты испытания состава с повышенными концентрациями сшивателей и ПАА

№ опыта	Компонент состава	Массовая концентрация	$P_{нач.}$, МПа	$P_{макс.}$, МПа
9	NGT-Chem-3	4,1 %	0,23	0,56
	Волокнисто-дисперсный кольматант	1,65 %		
	Шелуха риса	1,5 %		

Данный гелеобразующий состав ожидаемо продемонстрировал прирост определяемых давлений фильтрации относительно исходной смеси. Однако высокое содержание полимерного реагента в растворе приводит к началу гелеобразования еще до полного растворения всех компонентов системы. Рост фильтрационной устойчивости можно объяснить наличием избытка ПАА, который не успевает сшиться ввиду ограниченной сшивающей способности сшивателей наряду с практически моментальным началом гелеобразования и адсорбируется, занимая значительную часть удельной поверхности частиц сорбентов, тем самым снижая их адсорбционную активность. В подтверждение этому после проведения эксперимента на фильтрационной решетке наблюдался остаток, содержащий вкрапления несшитых крупинок ПАА, адсорбировавшихся в структуре рисовой шелухи.

Исследование органоминерального комплекса

Для более детального изучения влияния органических наполнителей и их адсорбционных свойств на фильтрационные характеристики полимерных гелеобразующих составов было проведено несколько экспериментов с тапонирующими материалами другой природы. В качестве структурообразующего элемента выступал органоминеральный комплекс ГОС ОМК на основе частично гидролизованного ПАА и силиката натрия, сшитых ацетатом хрома.

Известно, что данный гелеобразующий состав эффективно используется для водоизоляции высокодебитных добывающих скважин [16]. Дело в том, что совместное использование ПАА, силиката натрия и ацетата хрома дает синергетический эффект, заключающийся в сочетании вязкоупругих и вязкопластичных свойств, что позволяет решать техническую задачу по созданию трехкомпонентной сшитой системы с контролируемым индукционным периодом, низкими начальными характеристиками реологии и повышенной прочностью [17]. Именно поэтому ГОС ОМК нашел широкое применение в технологиях повышения нефтеотдачи пластов и ограничения водопритоков [18].

Фильтрационные свойства исходного органоминерального комплекса сравнивались не только с показателями последнего при добавлении в него органических наполнителей – шелухи риса и шелухи проса, но и с характеристиками составов, включающих фибру и хризотил (волокнуто-дисперсный кольматант). Это было сделано исходя из того факта, что при испытании первоначального трехкомпонентного состава (ГОС ОМК) спустя время гелеобразования в 24 часа консистенция гидрогеля оказалась недостаточной для достижения сравнимого значения давления начала фильтрации (капля геля свисала из выходного сопла фильтровальной ячейки еще до подачи в систему избыточного давления).



Выбранное время гелеобразования, равное полным суткам (24 часа), обусловлено тем, что состав даже через 5–7 часов «загеливания» оставался текуч и подвижен.

Результаты экспериментов приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты исследования составов на основе ГОС ОМК

№ опыта	Компонент состава	Массовая концентрация	$P_{нач.}$, МПа	$P_{макс.}$, МПа
10	ГОС ОМК	6,45 %	0,18	0,25
11	ГОС ОМК Шелуха риса	6,45 % 1,5 %	0,23	0,33
12	ГОС ОМК Шелуха проса	6,45% 1,5%	0,22	0,30
13	ГОС ОМК Волокнисто-дисперсный кольматант	6,45 % 1,65 %	0,28	–
14	ГОС ОМК Волокнисто-дисперсный кольматант Шелуха риса	6,45 % 1,65 % 1,5 %	0,37	–
15	ГОС ОМК Волокнисто-дисперсный кольматант Шелуха проса	6,45 % 1,65 % 1,5 %	0,34	–
16	ГОС ОМК Волокнисто-дисперсный кольматант Шелуха риса Шелуха проса	6,45 % 1,65 % 1,5 % 1,5 %	0,39	–

Важно обратить внимание на тот факт, что давление $P_{макс.}$ в опытах с составами №№ 13–16, включающими фибру и хризотил, не измерялось по объективным причинам: эти составы после отдачи определенного количества фильтрата переставали фильтроваться даже при повышении давления в рабочей камере до максимального значения. Фактически они надежно закупоривали отверстия в решетке фильтровальной ячейки (аналогично созданию водоизоляционных экранов путем блокирования высокопроницаемых каналов, каверн и трещин).

Итоги проведенного исследования составов с использованием ГОС ОМК подтвердили его высокую эффективность как основы тампонажных составов для ликвидации катастрофических поглощений при строительстве скважин. Составы с шелухой риса и шелухой проса показали рост фильтрационной устойчивости в сравнении с исходным органоминеральным комплексом. Наилучшими блокирующими (изолирующими) свойствами закономерно обладает состав, включающий максимальное количество наполнителей-кольматантов – фибру, хризотил, шелуху риса и шелуху проса.

Выводы

1. Рассмотренные органические наполнители – шелуха риса и шелуха проса – способны разносторонне влиять на фильтрационные и прочностные характеристики изолирующих материалов на полимерной основе. С одной стороны, они закономерно повышают фильтрационную устойчивость таких составов, с другой – могут отрицательно повлиять на экранирующие свойства изоляционных смесей.

2. Ухудшение изолирующих свойств полимерных составов при введении рассмотренных органических наполнителей обусловлено их высокой адсорбционной активностью. Являясь сильными сорбентами, они адсорбируют макромолекулы ПАА, который подвержен поверхностной адсорбции в растворах.

3. При одновременном увеличении концентрации сшивателей и ПАА добавление кольматантов повышает стабильность геля и улучшает его изолирующие свойства.

4. Использование составов с ацетатом хрома способно обеспечивать технологические свойства водоизолирующих реагентов при добавлении кольматантов.

Таким образом, введение кольматантов (шелухи риса и т.п.) в изолирующие тампонажные составы для изоляции зон катастрофических поглощений и / или водонасыщенных горизонтов является одним из возможных способов увеличения их водоизолирующих свойств. Однако стоит отметить, что в полимерных системах с некоторыми органическими сшивателями для обеспечения положительного результата может потребоваться одновременное увеличение стандартных концентраций сшивающих веществ для борьбы с адсорбцией ПАА, что не всегда оказывается целесообразным.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-29-24086 мк



Литература:

1. Байкова Е.Н., Муслимов Р.Х. Опыт применения технологий ограничения водопритока и ремонтно-изоляционных работ в трещиноватых карбонатных коллекторах // Георесурсы. – 2016. – Т. 18. – № 3. – Ч. 1. – С. 175–185.
2. Харитонов А.А., Квеско Н.Г. Методы ликвидации осложнений при бурении скважин на Куюмбинском лицензионном участке // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 5–6 (47). – С. 99–101.
3. Ланчаков Г.А., Ивакин Р.А., Григулецкий В.Г. О материалах для ремонтно-изоляционных работ газовых и нефтяных скважин // Вести газовой науки. – 2011. – № 2 (7). – С. 52–68.
4. Ограничение притока пластовых вод в терригенных и карбонатных коллекторах / Р.Р. Кадыров [и др.] // Территория Нефтегаз. – 2017. – № 5. – С. 48–54.
5. ТУ 2458-003-12726854-2014. Модифицированный полимерно-дисперсный состав NGT-Chem-3 // Разработано и утверждено в ООО «Уфимский НТЦ» от 01.06.2014: дата введения в ФБУ «ЦСМ Республики Башкортостан» 2014-17-07. – URL : <http://ufntc.ru/content/files/NGT-Chem-3.pdf> (дата обращения: 15.01.2021).
6. Адаптация гелеобразующих составов для проведения работ по ограничению водопритоков и выравниванию профиля приемистости нагнетательных скважин к различным пластовым условиям / И.Р. Арсланов [и др.] // Нефть. Газ. Новации. – 2017. – № 7. – С. 74–77.
7. Агзамов Ф.А., Тихонов М.А., Каримов И.Н. Влияние фиброармирования на свойства тампонажных материалов // Нефтегазовое дело. – 2013. – № 2. – С. 30–39.
8. Булатов А.И. Правда о тампонажных цементах: Исследование и практика применения: в 2 т. – Краснодар : Просвещение-Юг, 2010. – Т. 1. – 1012 с.
9. Комилов Т.О., Махаматходжаев Д.Р. Усовершенствованный состав бурового раствора для предупреждения поглощения промывочных жидкостей // Нефтяное хозяйство. – 2021. – № 2. – С. 68–72.
10. Ефремова С.В. Физико-химические основы и технология термической переработки рисовой шелухи // Монография. – Алматы, 2011. – 149 с.
11. Раупов А.А. Разработка кольматирующих составов на основе рисовой шелухи для предупреждения поглощения промывочных растворов // Химия и химическая технология. – 2018. – № 2. – С. 44–48.
12. Старичкова В.Е. Исследование условий гидролиза полисахаридов пленок проса – отходов крупозаводов с целью получения из них кормовых дрожжей : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук; МВ и ССО УССР, Одес. технол. ин-т им. М.В. Ломоносова. – Одесса, 1964. – 26 с.
13. Исследование влияния химического состава целлюлозы на физико-механические свойства бумаги / Э.Р. Муллина [и др.] // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 9. – С. 56–58.
14. Усовершенствование комплексной технологии повышения нефтеотдачи пластов / Л.А. Магадова [и др.] // Территория Нефтегаз. – 2019. – № 1–2. – С. 70–73.
15. Определение статической адсорбции полиакриламида оптическими и спектральными методами / Л.А. Магадова [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2019. – № 5. – С. 94–96.
16. Разработка водоизоляционных гибридных гидрогелей на основе частично гидролизованного полиакриламида и силиката натрия, сшитых уксусной кислотой / А.Т. Ахметов [и др.] // Нефть. Газ. Новации. – 2019. – № 10. – С. 64–75.
17. Арсланов И.Р., Гусарова Е.И., Телин А.Г. Разработка водоизолирующего состава на основе органоминерального комплекса для проведения ремонтно-изоляционных работ // II Международная научно-практическая конференция «Булатовские чтения». – Краснодар : Сб. статей. – 2018. – Т. 2. – Ч. 1. – С. 44–46.
18. Нефтепромысловая химия. Регулирование фильтрационных потоков водоизолирующими технологиями при разработке нефтяных месторождений : учебное пособие / В.П. Захаров [и др.]. – М. : РГУ нефти и газа, 2011. – 224 с.

References:

1. Baikova E.N., Muslimov R.Kh. Experience in application of water shut-off and repair-isolation technologies in fractured carbonate reservoirs // Georesursy. – 2016. – Vol. 18. – № 3. – Part. 1. – P. 175–185.
2. Kharitonov A.A., Kvesko N.G. Methods of liquidation of complications when drilling wells in the Kuyumbinskiy license area // International Research Journal. – 2016. – № 5–6 (47). – P. 99–101.
3. Lanchakov G.A., Ivakin R.A., Griguletsky V.G. On materials for repair-isolation works of gas and oil wells // Vesti gazovoy nauki. – 2011. – № 2 (7). – P. 52–68.
4. limitation of formation water inflow in terrigenous and carbonate reservoirs / R.R. Kadyrov [et al.] // Territory Neftgaz. – 2017. – № 5. – P. 48–54.
5. TU 2458-003-12726854-2014. Modified polymer-disperse composition NGT-Chem-3 // Developed and approved in LLC «Ufinsky NTC» dated 01.06.2014: the date of introduction in FBI CSM of the Republic of Bashkortostan. 2014-17-07. – URL : <http://ufntc.ru/content/files/NGT-Chem-3.pdf> (date of reference: 15.01.2021).
6. Adaptation of gel-forming compositions for work on limiting water inflows and leveling the injectivity profile of injection wells to different reservoir conditions / I.R. Arslanov [et al.] // Oil. Gas. novation. – 2017. – № 7. – P. 74–77.
7. Agzamov F.A., Tikhonov M.A., Karimov I.N. Influence of fiber reinforcement on properties of plugging materials // Oil and Gas Business. – 2013. – № 2. – P. 30–39.
8. Bulatov A.I. Truth about plugging cements: Research and practice of application: in 2 vols. – Krasnodar : Prosveshchenie – Yug, 2010. – Vol. 1. – 1012 p.
9. Komilov T.O., Makhamatkhojaev D.R. The improved composition of drilling mud to prevent absorption of flushing fluids // Oil Economy. – 2021. – № 2. – P. 68–72.



10. Efremova S.V. Physical and chemical bases and technology of thermal processing of rice husk // Monograph. – Almaty, 2011. – 149 p.
11. Раупов А.А. Development of colmatizing compositions based on rice husks to prevent the absorption of washing solutions // Chemistry and Chemical Technology. – 2018. – № 2. – P. 44–48.
12. Starichkova V.E. Study of conditions of hydrolysis of polysaccharides of millet films – waste of cereal plants in order to obtain from them fodder yeast : Ph. M.V. Lomonosov. – Odessa, 1964. – 26 p.
13. Study of the influence of the chemical composition of cellulose on the physical and mechanical properties of paper / E.R. Mullina [et al.] // Modern Science-Intensive Technologies. – 2015. – № 9. – P. 56–58.
14. Improvement of complex technology of enhanced oil recovery / L.A. Magadova [et al.] // Territory Neftegaz. – 2019. – № 1–2. – P. 70–73.
15. Determination of static adsorption of polyacrylamide by optical and spectral methods / L.A. Magadova [et al.] – 2019. – № 5. – P. 94–96.
16. Development of water-insulating hybrid hydrogels based on partially hydrolyzed polyacrylamide and sodium silicate cross-linked with chromium acetate / A.T. Akhmetov [et al.] // Oil. Gas. novation. – 2019. – № 10. – P. 64–75.
17. Arslanov I.R., Gusarova E.I., Telin A.G. Development of waterproofing composition on the basis of organomineral complex for repair and insulation works // II International Scientific-Practical Conference «Bulatov Readings». – Krasnodar : Collection of articles. – 2018. – Vol. 2. – Part 1. – P. 44–46.
18. Oilfield chemistry. Regulation of filtration flows by water-isolating technologies in the development of oil fields: a training manual / V.P. Zakharov [et al.]. – M. : RSU of Oil and Gas, 2011. – 224 p.