чами Стратегии является сохранение и устойчивое использование водных ресурсов в республике на длительную перспективу.

Список литературы

1 **Карпенко, А. Ф.** Логистика поступления солнечной энергии в природные системы Беларуси / А. Ф. Карпенко, А. В. Крук. – Гомель : ГГУ им. Скорины, 2017. – 195 с.

2 Охрана окружающей среды в Республике Беларусь: стат. буклет // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – URL: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnayastatistika/publications/izdania/public5542.3/ (дата обращения: 01.02.2026).

3 Охрана и использование водных ресурсов // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – URL: https://minpriroda.gov.by/ru/vod/nres-ru/ (дата обращения: 08.01.2026).

4 Государственная программа «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов на 2021–2025 годы» // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – URL: https://www.minpriroda.gov.by/ru/prog/ (дата обращения: 08.12.2025).

5 Государственный водный кадастр, водные ресурсы, их использование и качество вод // РУП «ЦНИИКИВР». – URL: https://cricuwr.by/upload/iblock/980/lefxs9n1160fs0ythh6279wedre0ii0n.pdf (дата обращения : 01.02.2026).

6 Стратегия управления водными ресурсами до 2040 года // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – URL: https://minpriroda.gov.by/ru/new_url_1649710582-ru/ (дата обращения: 01.02.2026).

УДК:622.276.6

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ВОДЫ НА ПРОЦЕССЫ НЕФТЕДОБЫЧИ

Е. Ф. КУДИНА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

На нефтяных месторождениях Республики Беларусь растет доля трудноизвлекаемых запасов нефти. Это обусловлено низкой проницаемостью пластов и высокой пластовой температурой. В условиях высоких пластовых температур композиции не всегда способны образовывать в трещинных коллекторах прочные водонепроницаемые гидроэкраны, которые обеспечивают высокую эффективность используемых процессов нефтедобычи. В качестве эффективных методов повышения нефтеотдачи пластов могут рассматриваться физико-химические технологии, которые могут обеспечить контролируемые процессы гелеобразования потокоотклоняющих композиций [1, 2].

Составы потокоотклоняющих композиций постоянно совершенствуются. Перспективными представляются композиции на основе модифицированных растворов гидросиликата натрия. При применении в таких составах в качестве модификаторов минеральных кислот можно проводить обработку карбонатных и терригенных средне- и высокопроницаемых пластов с температурой более 90 °С.

Однако эффективность практического применения таких составов ограничивается жесткими требованиями к качеству воды затворения и низкими значениями показателя «время гелеобразования» при использовании проб технической воды затворения в условиях повышенных температур. Поэтому основными факторами, определяющими состав потокоотклоняющих композиций, являются состав воды затворения, температура, фильтрационные характеристики и литология пласта.

Исследования показали, что на процессы гелеобразования существенное влияние оказывают ионы двухвалентных металлов (Ca^{2+}, Mg^{2+}), определяющие жесткость воды.

Для проведения экспериментов получена композиция на основе гидратированного порошкообразного силиката натрия. В качестве модификатора, являющегося инициатором процесса гелеобразования, применяли сульфаминовую кислоту (САК) [3]. Для предотвращения образования нерастворимых продуктов исходный гидросиликат натрия растворяли в пресной воде, не содержащей ионы поливалентных металлов (кальция, магния и др.).

Влияние технической воды для приготовления раствора композиции оценивали экспресс-тестом по отсутствию в исследуемом растворе нерастворимых соединений в реакции при смешивании равных объемов воды затворения и 10 % раствора карбоната натрия (Na_2CO_3). Кроме того, необходимо исключить влияние внешних факторов загрязнения воды, используя в работе чистое технологическое оборудование (накопительные емкости, циркуляционные смесители и т. п.). Для изучения особенностей процессов гелеобразования в зависимости от состава воды затворения оценивали физико-химические показатели и состав технической воды (таблица 1).

Полученные результаты показали, что жесткость воды оказывает существенное влияние на процессы гелеобразования. Снижение концентрации ионов кальция и магния в воде приводит к значительному увеличению времени гелеобразования композиции – на 3,5 ч.

Экспериментально определенная пороговая концентрация катионов кальция и магния в воде, при которой не происходит нарушение агрегативной устойчивости смеси, составляет 0,15 г/л [3]. Установлено, что введение нитрилотриметилфосфоновой кислоты в количестве 0,15–0,2 % в пробу технической воды затворения, содержащую 1,0 г/л Ca^{2+} и Mg^{2+}, позволяет получать однородный раствор связующего-гелеобразователя – силиката натрия [3].

Щелочные компоненты при контакте с нефтью вступают во взаимодействие с нафтеновыми кислотами, содержащимися в ней, в результате чего образуются мыла, снижающие межфазное натяжение на границе фаз, вода/нефть, что способствует нефтевытеснению. Поскольку гелеобразующая композиция на основе гидросиликата натрия имеет щелочную среду, были исследованы ее нефтеотмывающие свойства. В таблице 2 приведены результаты влияния состава воды затворения и полученных композиций на межфазное натяжение на границе с моделью нефти при 20 °С [3].

Таблица 1 – **Влияние состава воды затворения на свойства гелеобразующей композиции**

Состав композиции (мас. %)	Состав воды затворения, $[Ca^{2+}]$, $[Mg^{2+}]$, мг/л	Температура, °С	Плотность при 20 °С, г/см^3	Динамическая вязкость при 20 °С, мПа·с	Время гелеобразования, ч
ГСН (2) САК (1,3) Вода затворения (96,7)	Проба № 1 $[Ca^{2+}]$ = 53,4 $[Mg^{2+}]$ = 16,2	45	1,017	1,22	0,8
	Проба № 2 $[Ca^{2+}]$ = 116,2 $[Mg^{2+}]$ = 40,1		1,016	1,23	1,0
ГСН (2) САК (0,7) Вода затворения (97,3)	Проба № 4 $[Ca^{2+}]$ = 220,5 $[Mg^{2+}]$ = 139,7	82	1,016	1,19	1,0
	Проба № 5 $[Ca^{2+}]$ = 9,0 $[Mg^{2+}]$ = 4,9		1,016	1,20	4,5
ГСН (2) САК (0,7) Вода затворения (97,3)	Проба № 2 $[Ca^{2+}]$ = 116,2 $[Mg^{2+}]$ = 40,1	95	1,021	1,20	Нет геля
	Проба № 3 $[Ca^{2+}]$ = 63,5 $[Mg^{2+}]$ = 40,5		1,020	1,21	1,3

Таблица 2 – **Влияние состава гелеобразующей композиции на межфазное натяжение с нефтью**

Состав композиции (масс. %)	Состав воды затворения, $[Ca^{2+}]$, $[Mg^{2+}]$, мг/л	Межфазное натяжение, мН/м
ГСН (2) САК (1,3) Вода затворения (96,7)	Проба № 1 $[Ca^{2+}]$ = 53,4 $[Mg^{2+}]$ = 16,2	2,17
	Проба № 2 $[Ca^{2+}]$ = 116,2 $[Mg^{2+}]$ = 40,1	2,06
ГСН (2) САК (0,7) Вода затворения (97,3)	Проба № 4 $[Ca^{2+}]$ = 220,5 $[Mg^{2+}]$ = 139,7	1,78
	Проба № 5 $[Ca^{2+}]$ = 9,0 $[Mg^{2+}]$ = 4,9	1,89
Примечание – Межфазное натяжение для водопроводной воды на границе с моделью нефти при 20 °С – 20,53 мН/м.		

Полученные результаты показывают, межфазное натяжение гелеобразующих композиций на основе гидросиликата натрия на границе с моделью нефти изменяется в диапазоне 1,78–2,17 мН/м, что значительно ниже значения для водопроводной воды (20,53 мН/м). Это свидетельствует о высокой поверхностной активности разработанных гелеобразующих композиций и их способности к нефтеотмыву вне зависимости от состава воды затворения.

Таким образом, экспериментально показано: повышенное содержание ионов магния и кальция в воде существенно влияет на процессы гелеобразования потокоотклоняющих композиций. При использовании воды для приготовления гелеобразующих композиций необходимо контролировать общее содержание ионов магния и кальция – не более 0,15 г/л. Применение нитрилотриметилфосфоновой кислоты в качестве модификатора раствора силиката натрия, обеспечивающего агрегативную устойчивость композиции, позволяет снизить чувствительность гелеобразующего связующего к концентрации содержащихся в составе воды затворения катионов жесткости и использовать в составе композиции техническую воду с содержанием 1,00 г/л катионов магния и кальция.

Список литературы

1 **Кудина, Е. Ф.** Гелеобразующие технологии и материалы водоизоляционного назначения на основе водорастворимых силикатов (обзор) / Е. Ф. Кудина, Г. Г. Печерский, В. М. Шаповалов // Материалы, технологии, инструменты. – 2010. – Т. 15, № 4. – С. 62–74.

2 **Pechersky, G. G.** Multifunctional Hybrid Organosilicate Materials Prepared by the Sol-Gel Method / G. G. Pechersky, H. F. Kudina // Glass Physics and Chemistry. – 2011. – Vol. 37, № 6. – P. 583–589.

3 Влияние химического состава воды затворения на процессы гелеобразования неорганического полимера в технологиях увеличения нефтеотдачи / А. В. Антусева, Е. Ф. Кудина, Г. Г. Печерский [и др.] // Полимерные материалы и технологии. – 2017. – Т. 3, № 3. – С. 33–38.

УДК 621.763-036.742

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Е. Ф. КУДИНА, К. В. ЕФИМЧИК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, efimby@mail.ru

Актуальность. Одной из ключевых проблем является поиск оптимального сочетания полиолефинов и дисперсных компонентов – наполнителей, которые способны превратить обычный пластик в материал с заданными свойствами [1], а также изготовление изделий из разработанных материалов