

УДК 622.276.344

Н. В. Сенчук, инженер-технолог (ОАО «Завод горного воска»)

**ОГРАНИЧЕНИЕ ВОДОПРИТОКОВ В СКВАЖИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕАГЕНТА ОВП-1**

БелНИПИнефть совместно с ОАО «Завод горного воска» разработан и внедрен новый полимерный реагент «ОВП-1» (ограничитель водопритока первый) на основе химически модифицированных щелочных гидролизатов полиакрилонитрильных волокон. Композиции «ОВП-1» работают по принципу осадкогелеобразования при взаимодействии с катионами поливалентных металлов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) солей пластовых вод, что приводит к формированию в высокопроницаемых обводненных зонах порового пространства пластов тампонажных материалов. «ОВП-1» – селективен, он не реагирует с нефтью, поэтому при закачке его композиций в пласт нефтенасыщенные зоны не блокируются тампонажным осадком и легко включаются в разработку. Высокие технико-эксплуатационные характеристики водоизолирующих композиций «ОВП-1» обуславливают их конкурентоспособность не только на рынке Беларуси, но и других нефтедобывающих стран.

New polymeric reagent «OVP-1» for water shut off has been elaborated by Institute «BelNIPIneft» together with OAS «Rock Wax Plant». This reagent is based on chemical modified alkaline hydrolyzates of polyacrylonitrile fibres. Compositions of «OVP-1» can react with cations of polyvalent metals ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) of soluble salts saturating formation water. As a result, waterproof materials are formed in high-permeable zones of formation porous volume. «OVP-1» is selective, it doesn't react with oil. That's why oil zones aren't blocked by waterproof material and easily enter in development. High performances of waterproof compositions based on «OVP-1» cause their competitive ability not only in Belarus markets but in other countries developing oil.

**Введение.** Одна из острых проблем нефтедобывающей отрасли Беларуси связана с высокой обводненностью продукции и значительными объемами попутно добываемой воды. Это обусловлено тем, что большинство нефтяных месторождений вступили в четвертую, завершающую стадию разработки. Остаточные извлекаемые запасы залегают, в основном, в сложнопостроенных трещиновато-каверново-поровых карбонатных коллекторах, и их значительная часть относится к категории трудноизвлекаемых. При существующей системе добычи нефти методом заводнения из-за фильтрационной неоднородности пласта со временем происходит неблагоприятное перераспределение гидродинамических потоков нефтевытесняющего флюида, что приводит к прорывам воды по высокопроницаемым каналам и трещинам в продуктивные скважины. В результате повышается обводненность сырой нефти и появляются застойные участки, неохваченные вытеснением [1].

**Основная часть.** Геологическая специфика белорусских месторождений – глубокое залегание (3–4 тыс. м.) неоднородных по толщине и проницаемости карбонатных коллекторов, повышенные температура (50–100°C) и минерализация (50–300 г/л) хлор-натрий-кальций-магниевых пластовых вод – накладывает ряд ограничений на выбор водоизолирующих реагентов. Многие из них, предлагаемые к использованию зарубежными сервисными компаниями, будучи неадаптированными к местным промысловым условиям, оказываются малоэффективными.

Для решения вопросов, связанных с ограничением водопритоков и снижением объемов попутно добываемой воды, традиционно применяются различные осадко- и гелеобразующие тампонажные композиции. В частности, широкое распространение получили композиции (например, силикатно-щелочные, полимерные и др.), компоненты которых способны образовывать осадки при взаимодействии с минерализованными пластовыми водами объекта воздействия [2, 3].

Цель настоящей работы состояла в создании и внедрении на нефтепромыслах Беларуси недорогих отечественных реагентов и композиций указанного назначения, пригодных для обработки высокотемпературных засоленных нефтеносных пластов.

Известно, что высокоэффективными селективными реагентами для ограничения водопритоков в нефтяных коллекторах, подобных белорусским, являются щелочные гидролизаты полиакрилонитрила (ПАН) [4]. Последние представляют собой водно-щелочные растворы гидролизованного ПАН – полиэлектролита карбоксилатного типа, полианионы которого могут взаимодействовать с катионами поливалентных металлов пластовых вод и образовывать не растворимые в воде тампонажные материалы. Селективность гидролизатов обусловлена тем, что они генерируют полимерную водоизолирующую массу только в обводненных каналах продуктивного коллектора и не реагируют с нефтью.

Беларусь обладает собственными сырьевой (технологические отходы ПАН волокна «Нитрон» – ОАО «Полимир», остриг искусст-

венного меха – ОАО «Белфа») и производственной (ОАО «Завод горного воска») базами для изготовления водоизолирующих реагентов на основе гидролизатов ПАН. Поэтому имелись серьезные предпосылки для организации производства и внедрения отечественной продукции рассматриваемого типа.

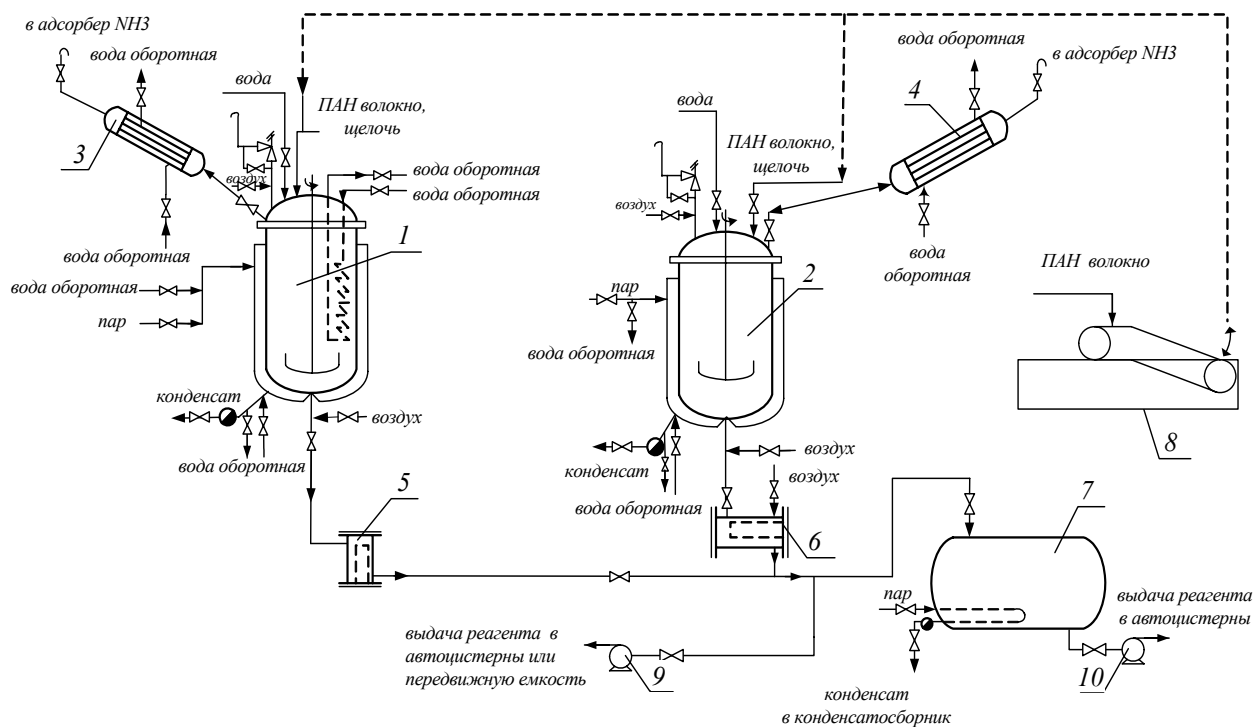
БелНИПинефть совместно с ОАО «Завод горного воска» был проведен широкий комплекс физико-химических лабораторных, а также заводских технологических экспериментов по отработке способа синтеза щелочных гидролизатов из технологических отходов волокна «Нитрон». В результате был разработан и внедрен в производство новый полимерный реагент «ОВП-1» (ограничитель водопритока первый). Он выпускается ОАО «Завод горного воска» из отходов волокна технического «Нитрон» (ТУ ВУ 300041455.011-2006, поставщик – ОАО «Полимир») в соответствии с ТУ ВУ 600125053.034-2006 по технологической схеме, представленной на рис. 1. Менее предпочтительное альтернативное сырье – отходы химических волокон «КНОП» (ТУ ВУ 400076540.043-2005, ОАО «Белфа»). Начиная с декабря 2005 г. по настоящее время изготовлено и поставлено в РУП «ПО «Белоруснефть» 1750 т реагента.

Как видно из рисунка, основными этапами изготовления реагента «ОВП-1» являются:

- резка волокна на волоконизмельчительной машине ВИРМ 1;
- загрузка в реактор сырья (вода, щелочь, волокно);
- нагрев реакционной смеси;
- гидролиз;
- охлаждение реакционной смеси;
- отбор проб из реакторов для анализа на соответствие готового продукта требованиям ТУ ВУ 600125053.034-2006;
- выдача реагента из реакторов через систему фильтров в накопительную, передвижную емкость или автоцистерну;
- отбор проб из накопительной, передвижной емкости или автоцистерны для анализа на соответствие готового продукта требованиям технических условий;
- отгрузка продукта потребителю.

Согласно ТУ ВУ 600125053.034-2006, характеристики продукта должны соответствовать следующим нормам:

1. Внешний вид – вязкая однородная жидкость от светло-серого до черного цвета.
2. Массовая доля сухого вещества – 20–25%.
3. Плотность при 20°C – 1,11–1,17 г/см<sup>3</sup>.
4. Условная вязкость по ВЗ–246 (с диаметром сопла 4 мм) 50%-ного водного раствора реагента при температуре 20 ± 0,5°C – 60–100 с.



Технологическая схема получения реагента «ОВП-1»: 1, 2 – реакторы с мешалками; 3, 4 – теплообменники; 5, 6 – фильтры; 7 – накопительная емкость для реагента; 8 – волоконизмельчительная машина ВИРМ1; 9, 10 – насосы

5. Показатель концентрации водородных ионов 1%-ного раствора (рН) 12,0–13,2.

6. Показатели качества тампонажного материала:

– относительный объем – не менее 15%;

– структурно-механические и адгезионные характеристики – прочный при сдвиговых усилиях, эластичный, липкий, водонепроницаемый.

В технологиях изоляции водопритока и увеличения охвата пластов заводнением композиции «ОВП-1» работают по принципу осадкообразования при взаимодействии с катионами поливалентных металлов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) солей пластовых вод. В результате такого взаимодействия в наиболее проницаемых обводненных зонах порового пространства обрабатываемого пласта формируется тампонажный материал, характеризующийся значительным объемом, высокими деформационно-прочностными и адгезионными (по отношению к породе) показателями, стойкостью к воздействию повышенных пластовых температур и размыванию водой.

В то же время тампонажный материал разрушается в водных растворах щелочей, которые целесообразно использовать при необходимости удаления водоизолирующего экрана. Наиболее ценное качество «ОВП-1» – селективность. Он не реагирует с нефтью, поэтому при закачке водных растворов или композиций этого реагента в пласт нефтенасыщенные зоны не блокируются тампонажным осадком и впоследствии легко включаются в разработку.

С учетом того, что промысловые работы с «ОВП-1» могут проводиться в зимнее время, по ГОСТ 20287-91 (метод Б) был определен температурный предел застывания его товарной формы. Он составил  $-11 \div -15$  °С, что свидетельствует о достаточно высокой морозостойкости реагента. Наряду с этим были исследованы объем и структурно-механические характеристики тампонажного материала, полученного по стандартной методике из образца, который был предварительно выдержан при температуре  $-15$  °С в течение 22 ч. Установлено, что длительная выдержка «ОВП-1» при температуре его застывания в последующем не оказала отрицательного влияния на качество тампонажного материала.

То, что тампонажные материалы на основе осадков «ОВП-1» и высокоминерализованной пластовой воды обладают высокой водоизолирующей способностью, было подтверждено данными фильтрационных исследований, имитирующих обработку обводненного пласта рабочим раствором реагента.

В качестве модели пласта использовали металлическую трубку с терморубашкой длиной

30 см и площадью поперечного сечения 5,1 см, оборудованную входным и выходным штуцерами и запорным вентилем на входе. Модель заполняли молотой карбонатной породой фракции  $0,25 \div 0,5$  мм. Поровый объем ( $V_{\text{пор}} = 75 \text{ см}^3$ ) был оценен по объему пластовой воды плотностью  $1,15 \text{ г/см}^3$ , вошедшей в модель после вакуумирования. Температуру исследований выбрали  $70$  °С, соответствующую наиболее часто встречающейся температуре пластовой воды.

Затем через модель прокачали пластовую воду (коагулянт) указанной плотности (относительный объем прокачки –  $0,48 V_{\text{пор}}$ , давление стабилизировалось на уровне  $0,003 \text{ МПа}$ ) и определили водопроницаемость –  $0,427 \text{ мкм}^2$ . Далее в модель в обратном направлении закачали последовательно: буфер  $1 \text{ см}^3$  пресной воды;  $73 \text{ см}^3$  рабочего раствора реагента;  $1 \text{ см}^3$  пресной воды. Модель термостатировали при температуре  $70$  °С в течение 24 ч.

После термостатирования возобновили прямую прокачку пластовой воды. Начальное давление изменялось в пределах  $0,004$ – $0,005 \text{ МПа}$ , конечное достигло  $0,013 \text{ МПа}$  при проницаемости  $0,085 \text{ мкм}^2$ . Эксперимент был закончен при относительном объеме прокачки  $3,7 V_{\text{пор}}$ .

Как видно из сопоставления начального и конечного значений водопроницаемости, после обработки модели раствором реагента произошло снижение этого параметра на 80%. Полученный результат указывает на высокую водоизолирующую способность тампонажного материала, образовавшегося в поровом объеме модели пласта.

Технико-экономические показатели «ОВП-1» в сравнении с реагентами аналогичного назначения российского производства торговых марок «ВПРГ» (ТУ 2458-005-58949915-2004; производитель и поставщик – ЗАО «Завод оргсинтез ОКА») и «Гивпан» (ТУ 2216-001-04698227-99; поставщик – ОАО «Азимут») обобщены в табл. 1. Их сопоставление свидетельствует, что «ОВП-1» не уступает, а по некоторым техническим характеристикам превосходит зарубежные аналоги (пониженная вязкость рабочего раствора, возросший объем тампонажного материала в сравнении с «ВПРГ», лучшее качество тампонажного материала в сравнении с «Гивпан»). К преимуществам «ОВП-1» относится также его более низкая цена, поскольку он изготавливается на отечественном заводе из вторичного полимерного сырья. Сравнение экономических показателей – цены и расхода реагентов – приводит к выводу, что замена «ВПРГ» или «Гивпан» на «ОВП-1» позволяет экономить от 1,5 тыс. дол. до 5,5 тыс. дол. на каждой скважино-операции по ограничению водопритока.

Таблица 1

**Технико-экономические показатели реагентов для ограничения водопритока  
на основе щелочных гидролизатов ПАН**

Наименование показателей	Значения показателей для реагентов		
	ОВП-1	ВПРГ	Гивпан
Агрегатное состояние товарного продукта	Жидкое	Твердое	Жидкое
Массовая доля сухого вещества в товарном продукте, %	25–27	85–90	14–15
Рабочая форма	50%-ный водный раствор	10%-ный водный раствор	50%-ный водный раствор
Условная вязкость рабочего раствора по ВЗ-246 (диаметр сопла 4 мм) при 20°C, с	60–100	100–130	35–40
Относительный объем тампонажного материала, образующегося при смешении (1 : 1 по объему) рабочего раствора реагента и пластовой воды ( $\rho = 1,15 \text{ г/см}^3$ ) при среднепластовой температуре (70°C), %	15–25	10–15	15–18
Структурно-механические и адгезионные характеристики тампонажного материала при среднепластовой температуре (70°C)	Прочный при сдвиговых усилиях, упругий, липкий, водонепроницаемый	Прочный при сдвиговых усилиях, упругий, липкий, высокоэластичный, водонепроницаемый	Умеренно прочный, хрупкий, липкий, водонепроницаемый
Цена товарного продукта, дол./т	380	3400	1400
Расход товарного продукта на одну скважино-операцию по изоляции водопритока, т	5–10	1,5–2,0	5–15
Стоимость 10 м <sup>3</sup> рабочего раствора, дол.	2170	3600	7700

Разработаны тампонажные композиции на основе «ОВП-1» и твердых наполнителей (резиновой крошки, отходов кордных волокон), предназначенные для водоизоляционных работ в скважинах, осложненных проявлениями поглощений технологических жидкостей. Введение наполнителей способствует увеличению объема и прочности тампонажных материалов, формирующихся при взаимодействии композиций с высокоминерализованной пластовой водой. Закрепленные в полимерном связующем частицы наполнителей создают дополнительный кольматирующий эффект. Такие комбинированные тампонажные материалы способны закупоривать крупные каверны и трещины в прискважинной зоне пластов и предотвращать поглощения.

Для повышения нефтеотдачи пластов предназначены полимер-минеральные потокоотклоняющие композиции на основе разбавленных водных растворов «ОВП-1» и натриевого жидкого стекла, а также «ОВП-1» и кальцинированной соды, которые по технологическим показателям удовлетворяют требованиям, предъявляемым к реагентам указанного типа [5, 6].

Опытно-промышленные испытания подтвердили высокую эффективность реагента «ОВП-1» и его композиций в технологиях как изоляции водопритока (табл. 2), так и увеличения охвата пластов воздействием.

В частности, работы по повышению нефтеотдачи пластов с применением потокоотклоняющих композиций на основе «ОВП-1» и жидкого стекла или кальцинированной соды, осуществленные в 2006 г. на задонской залежи (IV пачка) Речицкого месторождения, имели 100%-ную успешность. Их результатом явились выравнивание профиля приемистости подвергнутых обработке нагнетательных скважин, а также интенсификация процессов вытеснения, за счет чего было дополнительно добыто около 3 тыс. т нефти [7].

Продолжаются исследования в направлении расширения номенклатуры высокоэффективных реагентов для ограничения водопритока посредством создания модификаций гидролизатов полиакрилонитрильных волокон. В частности, разработан водоизолирующий реагент «ОВП-2» на основе гидролизатов полиакрилонитрила, модифицированных лигносульфонатами.

Таблица 2

**Показатели эффективности ремонтно-изоляционных работ с использованием реагента «ОВП-1» в период 2006–2009 гг.**

Виды работ	Количество скважино-операций		Успешность, %	Q <sub>н. доп.</sub> , Т	Q <sub>н. доп.</sub> , т/скважино-операция
	всего	успешных			
Отсечение обводненных интервалов	38	23	61	82 853	2 180
Ликвидация заколонных перетоков	7	4	57	9 653	1 379
Селективная изоляция	7	4	57	7 366	1 052
Перевод на вышележащий интервал	25	19	76	88 938	3 558
<i>Всего</i>	77	50	65	188 810	2 452

*Примечание.* Q<sub>н. доп.</sub> – дополнительная добыча нефти.

Технологическими преимуществами нового реагента «ОВП-2» перед «ОВП-1» являются пониженная вязкость товарной формы и рабочих растворов реагента, предназначенных для водоизоляционных работ, а также увеличенный выход по объему тампонажных материалов, формирующихся при смешении растворов реагента с высокоминерализованной пластовой водой [8].

**Заключение.** Таким образом, разработан новый отечественный реагент для ограничения водопритока в нефтяные скважины и повышения нефтеотдачи пластов «ОВП-1» и композиций на его основе, которые успешно прошли опытно-промышленные испытания и внедрены в РУП «ПО «Белоруснефть». Производство «ОВП-1» способом щелочного гидролиза отходов полиакрилонитрильных волокон налажено в ОАО «Завод горного воска» (г. п. Свислочь Минской обл.).

Синтезируемый из полимерных отходов «ОВП-1» характеризуется улучшенными техническими характеристиками в сочетании с более низкими ценой и расходом по сравнению с аналогичными реагентами российского производства («Гивпан», «ВПРГ»).

Высокие технико-эксплуатационные показатели водоизолирующих композиций на основе «ОВП-1» обосновывают их конкурентоспособность не только на рынке Беларуси, но и нефтедобывающих стран СНГ и дальнего зарубежья.

### Литература

1. Проблемы разработки месторождений нефти и пути их решения в Беларуси / В. Н. Бескопильный [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2004. – № 11. – С. 20–21.

2. Хисамов, Р. С. Увеличение охвата продуктивных пластов воздействием / Р. С. Хисамов, А. А. Газизов, А. Ш. Газизов. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2003. – 568 с.

3. Демяненко, Н. А. Физико-химические методы увеличения нефтеотдачи пластов / Н. А. Демяненко // Нефтяное хозяйство. – 2004. – № 11. – С. 22–23.

4. Кадыров, Р. Р. Ремонтно-изоляционные работы в скважинах с использованием полимерных материалов / Р. Р. Кадыров. – Казань: Изд-во «Фэн» Академии наук РТ, 2007. – 424 с.

5. Реагент «ОВП-1» – применение в технологиях ограничения водопритока и повышения нефтеотдачи пластов / А. В. Макаревич [и др.] // Нефтепромысловое дело. – 2008. – № 2. – С. 26–29.

6. Полимерный реагент «ОВП-1» для ограничения водопритока в нефтяные скважины и повышения нефтеотдачи пластов / А. В. Макаревич [и др.] // Полимерные композиты и трибология-2007: тезисы докладов Междунар. науч.-технич. конф., Гомель, 16–19 июня 2007 г. / ИММС НАНБ; редкол.: В. Н. Адери́ха [и др.]. – Гомель, 2007. – С. 159–160.

7. Способы переработки технологических отходов волокна «нитрон» в реагенты для ограничения водопритока в нефтяные скважины / А. В. Макаревич [и др.] // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: материалы 8-й Междунар. науч.-техн. конф., Гродно, 29–30 октября 2009 г. / НАНБ; редкол.: А. И. Сви́риденко [и др.]. – Гродно, 2009. – С. 150–151.

8. Композиции на основе химически модифицированных щелочных гидролизатов полиакрилонитрила для ремонтно-изоляционных работ в нефтяных скважинах / А. В. Макаревич [и др.] // Полимерные композиты и трибология-2009: тезисы докладов Междунар. науч.-технич. конф., Гомель, 22–25 июня 2009 г. / ИММС НАНБ; редкол.: В. Н. Адери́ха [и др.]. – Гомель, 2009. – С. 141–142.

*Поступила 26.03.2010*