

Рынок Российской Федерации останется основным для белорусских производителей. По рассмотренным выше группам товаров с 2007-по 2019 г. доля российского рынка в экспортных поставках достигает 76% и сократилась за 12 лет только на 7 п.п. В свою очередь российские производители нарастили объем импорта в РБ на 3 п.п.

Белорусские производители нуждаются в инвестициях на изменение структуры производимой продукции. Рост качества и кастомизация продукции будут основными драйверами развития рынков пластмассовой, резиновой и химической продукции.

### Литература

1. Промышленность Республики Беларусь: статист. сб. Минск: Нац. статист. ком. Респ. Беларусь. 2020. 272 с.

УДК 622.276.6

**К.С. Карсеко**

(РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,  
БелНИПИнефть)

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАВ-ПОЛИМЕРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

В настоящее время около 90% добычи нефти в мире осуществляется с использованием первичных и вторичных методов разработки. Количество нагнетаемой в пласт воды часто значительно превышает объем добываемой нефти. Тем не менее, средний коэффициент извлечения не превышает 50%, т.е. более 50% нефти остается в пласте. Это доказывает необходимость поиска технологий, повышающих коэффициент вытеснения и охват пласта воздействием.

Среди всех методов увеличения нефтеотдачи химические методы (закачка щелочей, ПАВ, полимеров – ASP flooding) являются наиболее эффективными. Вместе с тем, данные методы являются наиболее сложными и требуют детального изучения.

ASP представляет собой метод комплексного воздействия на пласт водными растворами щелочей, ПАВ и полимеров. Каждый из перечисленных химических агентов выполняет в этой технологии свои функции. В данной работе рассматривается оценка эффективности ПАВ-полимерного заводнения с помощью гидродинамического моделирования.

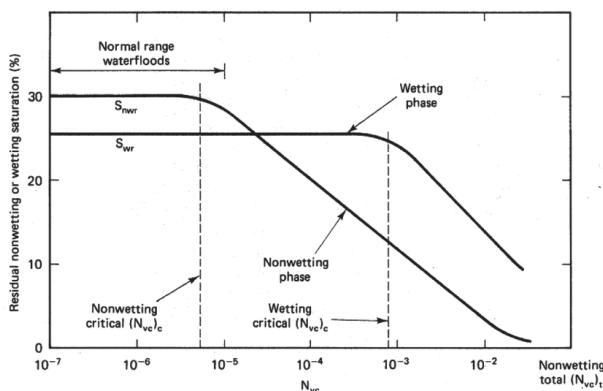
Произвести оценку эффективности внедрения ПАВ-полимерного заводнения можно только использовав большое количество надежных исходных данных. Оценка целесообразности внедрения метода является комплексной задачей и включает стадии лабораторных и фильтрационных испытаний, а также этап моделирования, на котором происходит верификация, уточнение параметров и непосредственно прогнозирование возможной дополнительной добычи нефти.

Остаточная нефтенасыщенность может быть снижена за счет увеличения капиллярного числа. Возможность вытеснения нефти растворами ПАВ в основном прогнозируется на основании их способности уменьшать капиллярные силы, повышая тем самым значения капиллярного числа  $N_c$ , характеризующего соотношение между вязкими и капиллярными силами

$$N_c = \frac{\mu \cdot v}{\sigma}, \quad (1)$$

где  $\mu$  – вязкость вытесняющей жидкости;  $v$  – линейная скорость фильтрации;  $\sigma$  – межфазное натяжение на границе нефть-вытесняющая жидкость.

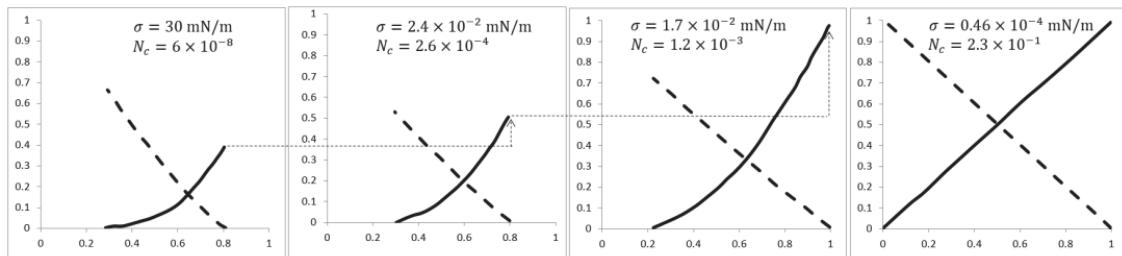
На рисунке 1 представлена кривая капиллярных чисел. При достижении критического значения капиллярного числа остаточная нефтенасыщенность начинает снижаться. Большие значения капиллярных чисел приводят к повышению коэффициента вытеснения.



**Рисунок 1 – Кривая капиллярных чисел [1]**

Ось X – значения капиллярных чисел, д.е.;  
ось Y – остаточная нефтенасыщенность, %.

При гидродинамическом моделировании ПАВ- заводнения данный механизм моделируется путем задания зависимости формы относительных фазовых проницаемостей от капиллярного числа (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Формы относительных фазовых проницаемостей при различных значениях капиллярных чисел и межфазных натяжений на границе нефть-вытесняющая жидкость [2]**

Ось X – водонасыщенность, д.е.; ось Y – значение относительной проницаемости, д.е.; пунктирная линия – нефть; сплошная линия – вода.

На эффективность нефтеотдачи, особенно для обводненного пласта, влияет отношение подвижности вытесняющего раствора ( $\lambda_w$ ) к подвижности вытесняемой нефти ( $\lambda_o$ ):

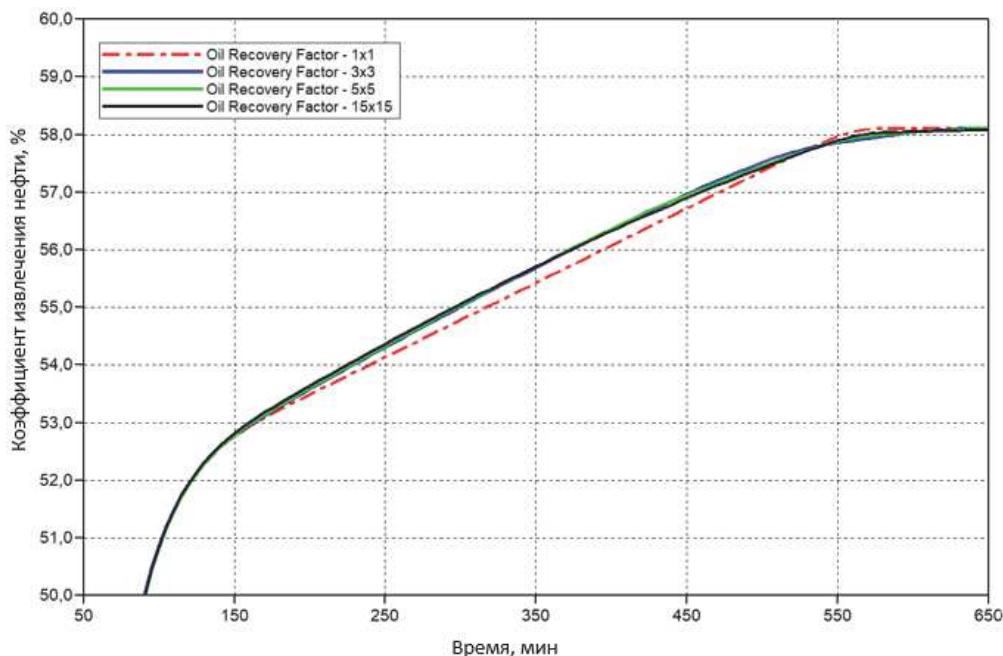
$$M = \frac{\lambda_w}{\lambda_o} \quad (2)$$

Нефтеотдача продуктивных пластов определяется совокупностью целого ряда факторов, из которых отношение подвижностей воды и нефти является одним из наиболее важных. Для большинства залежей нефти отношение подвижностей оказывается неблагоприятным. Относительная подвижность больше 1 может способствовать образованию так называемых «языков вытеснения» и привести к прорыву воды к добывающим скважинам, поэтому оптимальной считается величина относительной подвижности равной или же меньше 1.

Водорастворимый полимер увеличивает вязкость нефте вытесняющей жидкости, приближая ее к вязкости вытесняемой нефти. В результате повышаются эффективность вытеснения и охват пласта воздействием.

После этапа подбора оптимального состава ПАВ-полимерной композиции, наиболее эффективно работающего в условиях месторождения, следующим этапом является воспроизведение результатов фильтрационного эксперимента в гидродинамическом симуляторе с целью уточнения или определения отдельных параметров (адсорбция, эффективная вязкость, недоступный поровый объем). Чтобы произвести адаптацию фильтрационных экспериментов, были созданы 4 одномерные (1D) модели, отличающиеся количеством ячеек по оси Z. Это было сделано для того, чтобы оценить, как количество ячеек влияет на качество получаемых результатов. Результаты расчетов на моделях показали, что увеличение ячеек больше 9 в сечении не приводит

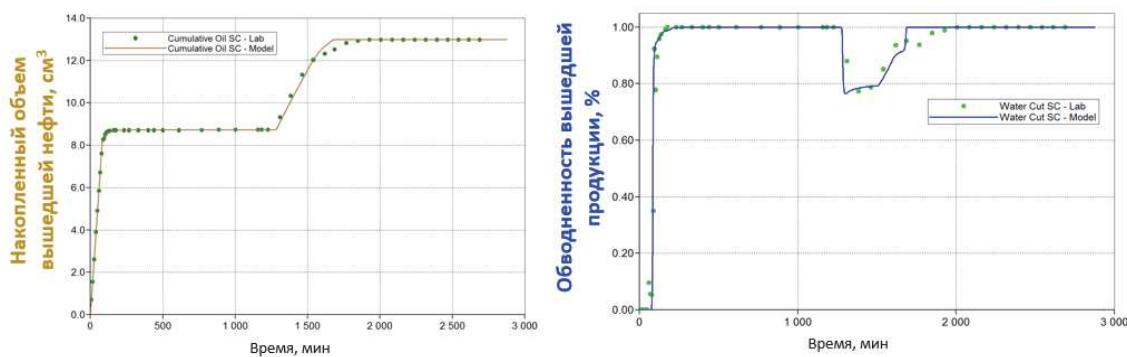
к значительному повышению точности расчетов (рисунок 3). При этом время расчета модели с 225 ячейками в сечении составляло больше 2 часов, а модели с 9 ячейками – 5 минут.



**Рисунок 3 – Коэффициент извлечения нефти при использовании моделей с различным количеством ячеек в сечении**

Количество ячеек в сечении: красный цвет – 1, синий цвет – 9, зеленый – 25, черный – 225

Процесс адаптации носил итерационный характер. Основными параметрами для сравнения были выход реагентов (ПАВ и полимера), коэффициент вытеснения, перепад давления. Как видно из рисунка 4, удалось достичь приемлемого уровня сходимости.



**Рисунок 4 – Результаты настройки модели фильтрационного эксперимента на фактические результаты**  
Точки – экспериментальные данные (фактические),  
линии – результаты адаптации модели.

После адаптации результатов фильтрационных исследований уточненные параметры (адсорбция, эффективная вязкость, остаточный фактор сопротивления, недоступный поровый объем) были использованы для моделирования опытного участка на полномасштабной модели с целью выбора оптимального варианта применения технологии и оценки эффективности.

### Литература

1. Lake, L.W. 1989. Enhanced Oil Recovery, 43-77 Englewood Cliffs: New Jersey Prentice-Hall.
2. Van Quy, N., Labrid, J., A Numerical Study of Chemical Flooding-Comparison with Experiments, Paper SPE 10202. Presented at the 1981 SPE Annual Technical conference and Exhibition, San Antonio, Soc. Pet. Eng. J., 1983.

УДК 622.276

**Н.И. Будник**

(РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,  
БелНИПИнефть)

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ЗАСОЛОНЕННЫХ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ НА БЕРЕЗИНСКОМ НЕФТЬЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ (ПРИПЯТСКИЙ ПРОГИБ)**

В настоящее время на разрабатываемых месторождениях Припятского прогиба около 65 % всех остаточных извлекаемых запасов Припятской нефтегазоносной области относятся к трудноизвлекаемым. Более 50 % из которых приурочены к низкопроницаемым породам-коллекторам. Низкая проницаемость пород-коллекторов обусловлена литолого-фациальными условиями осадконакопления, тектонической активностью бассейна седиментации, а также вторичными процессами катагенетической минерализации.

Засолонённость низкопроницаемых пластов (катагенетическая кольматация пустотного пространства пород-коллекторов галитом и другими минералами) характерна для подсолевых и межсолевых залежей нефти многих нефтесоленоносных районов мира (Триасовая провинция в Алжире, бассейн Мичиган в США, Иркутский амфитеатр и Тунгусский бассейн в России) в том числе и для Припятского прогиба в Беларуси [4]. Как правило, наряду с галитом, в порах, трещинах