

## ЛИТЕРАТУРА

1. Campbell I. J., Pitcher A. S. Shock waves in a liquid containing gas bubbles. Proc. Roy. Soc., London, 1958, vol. A 243, No. 1235.
2. Нецименко Ю. П., Суворов Л. Я. Слабые ударные волны в кипящей воде и газожидкостных суспензиях. Атомная энергия, 1972, т. 33, № 6.
3. Нигматулин Р. И., Хабеев Н. С. Теплообмен газового пузырька с жидкостью. Изв. АН СССР, МЖГ, 1974, № 5.
4. Нигматулин Р. И., Шагапов В. Ш. Структура ударных волн в жидкости, содержащей пузырьки газа. Изв. АН СССР, МЖГ, 1974, № 6.
5. Гельфанд Б. Е., Губин С. А., Когарко С. М., Симаков С. М., Тимофеев Е. И. Разрушение воздушных пузырьков в жидкости ударной волной. Докл. АН СССР, 1975, т. 220, № 4.

УДК 532.546

**ОБ ОТСТАВАНИИ ФРОНТА ПОЛИМЕРА ОТ НЕСУЩЕЙ ЖИДКОСТИ  
ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ РАСТВОРА ПОЛИМЕРА ЧЕРЕЗ  
ПОРИСТУЮ СРЕДУ**

В. Г. ОГАНДЖАНЯНЦ, А. М. ПОЛИЩУК

(Москва)

Экспериментально установлен факт отставания фронта полимерного раствора от несущей воды. Исследована зависимость размера этой зоны от длины линейного однородного пористого образца, объема прокачанной через него жидкости и градиентов гидродинамического давления.

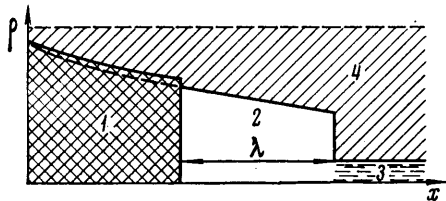
Для 0.01%-ного водного раствора полиоксиэтилена WSR-301 установлена линейная зависимость размера зоны отставания от пройденного пути и объема закачанной в пористую среду жидкости. Эксперименты, проведенные для широкого диапазона значений градиентов давлений, указывают на отсутствие влияния этого параметра на размер зоны отставания полимера от фронта несущей воды.

Одним из методов повышения эффективности разработки нефтяных месторождений является заводнение нефтяных пластов полимерными растворами [1]. Добавка полимера в закачиваемую воду значительно снижает ее подвижность, улучшая тем самым нефтевытесняющие свойства нагнетаемой жидкости. В работах [2-4] показано, что в результате взаимодействия полимерного вещества с поверхностью пористой среды фронт полимера отстает от фронта растворителя. В работах [4, 5] при рассмотрении задачи о вытеснении нефти из однородного пласта водными растворами сорбирующихся веществ предположена следующая приближенная схема распределения жидкостей в пласте (фиг. 1). В зоне 1 происходит фильтрация полимерного раствора в присутствии сорбированного полимера. Перед этой областью формируется зона 2 из несущей и связанной воды, зона 3 — участок пористой среды, занятый связанной водой; зона 4 — участок пористой среды, занятый углеводородной жидкостью.

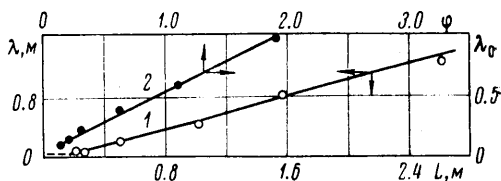
Из фиг. 1 следует, что вытеснение нефти из линейной однородной пористой среды происходит оторочкой из связанной и несущей воды. Следовательно, при оценке эффективности вытеснения нефти полимерным раствором важно знать зону опережения  $\lambda$  фронта вытеснения относительно фронта полимера, ее развитие во времени и по длине пласта.

В связи с этим было исследовано влияние некоторых факторов на размер зоны отставания  $\lambda$ . Эксперименты проводились на линейных образцах однородных пористых сред длиной 0.25, 0.5, 1.0, 1.6 и 2.6 м. Пористой средой служил молотый кварцевый песок. Проницаемость образцов  $\sim 1$  дарси, пористость 35%. Градиент давления поддерживался равным 0.2 атм/м. Перед закачкой 0.01%-ного раствора полиоксиэтилена WSR-301 пористые среды под вакуумом насыщались дегазированной дистиллированной водой. Концентрация полимера определялась по вязкости выходящего раствора с помощью капиллярного вискозиметра. Отставание фронта полимера от несущей воды определялось по точке с концентрацией, равной 50% от исходной.

Результаты этих экспериментов представлены на фиг. 2. Кривая 1 характеризует изменение размера зоны отставания полимера  $\lambda$  в зависимости от пройденного пути  $l$ .



Фиг. 1



Фиг. 2

Отклонение этой зависимости от линейной на начальном участке, видимо, связано с тем, что на образцах небольшой длины особенности исследуемого процесса не успевают полностью проявиться. Это обстоятельство необходимо учитывать при интерпретации опытных данных, полученных на образцах небольшой длины. Экспериментальные результаты показывают также, что профиль кривой концентрации полимерного раствора стабилизируется на образцах длиной не менее 1 м. Кроме того, установлено, что размеры зоны переменной концентрации полимера после их стабилизации ~60—70 см, что пренебрежимо мало по сравнению с протяженностью нефтяного пласта. Однако при постановке экспериментальных работ в лабораторных условиях, при выборе длины пористого образца и обсуждении полученных экспериментальных данных влиянием этой зоны пренебрегать, по-видимому, уже нельзя.

Для характеристики процесса формирования зоны отставания полимера во времени построена зависимость  $\lambda_0(\varphi)$  (кривая 2, фиг. 2), где  $\lambda_0$  — отношение текущего размера зоны, занятой полимерным раствором, к длине пористого образца и  $\varphi$  — объем прокачанной через образец жидкости, выраженный в долях парового объема.

Представленная зависимость указывает, что между размером зоны пласта, охваченной полимерным раствором, и объемом прокачанной жидкости существует линейная зависимость. Отношение размера зоны, занятой полимерным раствором, к длине пористого образца по мере увеличения объема закачки жидкости сохраняется постоянным.

Чтобы выяснить влияние градиента гидродинамического давления на размер зоны отставания на пористом образце длиной 50 см была проведена серия опытов, в которых значение градиента давления изменялось в широком диапазоне, практически охватывающем все значения, которые могут встретиться при заводнении нефтяных пластов.

Результаты этих экспериментов показали, что изменение градиента давления от 0.06 до 0.45 ат/м для исследуемых концентраций полиоксизтилена WSR-301 и проницаемости пористых образцов на размер зоны отставания фронта полимера от несущей воды практически не влияет. Следовательно, размеры зоны отставания, показанные на фиг. 2, не изменятся и при других значениях градиента гидродинамического давления.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования показали, что при закачке в пористую среду полимерных растворов в результате сорбционных явлений формируется зона отставания полимера от фронта несущей воды. Это отставание весьма существенно и в частном случае составляет половину протяженности пласта. Следовательно, при составлении расчетных методов, определяющих эффективность заводнения нефтяных пластов полимерными растворами, необходимо это обстоятельство учитывать, поскольку оно может существенно повлиять на текущие показатели заводнения.

Проведенными исследованиями установлено также, что размер зоны отставания полимера от несущей воды линейно зависит от объема закачанного раствора и протяженности пласта. Иначе говоря, отношение размера зоны отставания к длине пласта при прокачке одного порового объема раствора практически во времени и по длине пористого образца не изменяется. При небольших длинах пористого образца особенности фильтрации полимерных растворов полностью не проявляются, что может отразиться на истинных характеристиках движения полимера в пористых средах.

В заключение заметим, что полученный экспериментальный материал раскрывает в основном общие качественные особенности течения полимерных растворов в пористых средах. В каждом конкретном случае в зависимости от типа используемого полимера, концентрации раствора, микростроения пористого материала, физико-химических свойств его поверхности, насыщенности порового пространства углеводородными жидкостями и связанной водой, а также других факторов, количественные показатели движения полимерного раствора в пористых средах могут быть различными.

Поступила 13 VI 1975

## ЛИТЕРАТУРА

1. Sandiford B. B., Keller H. F. Secondary recovery of petroleum. Пат. США. Cl. 166-9, No. 2827964. Patented March 25, 1958.
2. Mungan N., Smith F. W., Thompson J. L. Some aspects of polymer floods. J. Petrol. Technol., 1966, vol. 18, No. 9.
3. Кукин В. В., Горбатова А. Н., Швецов И. А., Меркулов В. П., Перышкина Т. Н. Фильтрационные характеристики растворов полиакриламида. Тр. Куйбышев. н.-и. ин-та нефт. пром-сти, 1968, вып. 38.
4. Енгов В. М., Полищук А. М. О роли сорбционных процессов при движении полимерных растворов в пористой среде. Изв. АН СССР, МЖГ, 1975, № 3.
5. Claridge E. L., Bondor P. L. A graphical method for calculating linear displacement with mass transfer and continuously changing mobilities. Soc. Petrol. Engng J., 1974, vol. 14, No. 6.

УДК 532.516

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ «БЛОКИРОВКИ»  
ПРИ ОБТЕКАНИИ ПРЕПЯТСТВИЯ СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ  
ЖИДКОСТЬЮ**

Л. М. СИМУНИ

(Ленинград)

Исследуется явление «блокировки» при ламинарном обтекании вязкой несжимаемой жидкостью периодически расположенных препятствий. Прослеживается характер движения в условиях устойчивой температурной стратификации.

1. Постановка задачи и метод решения. При исследовании вопроса о движении устойчиво стратифицированной несжимаемой жидкости высказывались соображения о возможности блокировки потока препятствием [1]. Явление это заключается в том, что при обтекании препятствия стратифицированной жидкостью может образоваться зона, в которой скорость жидкости равна скорости препятствия, в то время как основное движение происходит над ним. Работа посвящена исследованию характера проявления этой особенности движения стратифицированной жидкости при наличии вязкости.

Рассматривается плоская неизотермическая задача обтекания препятствия вязкой несжимаемой жидкостью. Примем, что препятствия расположены периодически и имеют прямоугольную форму. Предполагаем, что задан расход жидкости через любое вертикальное сечение, а верхняя поверхность представляет собой или плоскость, движущуюся с заданной скоростью, или свободную поверхность, фиксированную в пространстве.

Уравнения тепловой конвекции в приближении Бусинеска имеют в обычных обозначениях вид [2]

$$(1.1) \quad \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \cdot \mathbf{v} = - \frac{1}{\rho_0} \nabla p + \nu \Delta \mathbf{v} + g\beta T \boldsymbol{\gamma}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla T = \chi \Delta T, \quad \operatorname{div} \mathbf{v} = 0$$

В качестве граничных условий, на боковых границах области примем условие периодичности, а на твердых границах — условие прилипания. Если рассматривается задача со свободной поверхностью, на ней предполагается заданным касательное напряжение. Температуру дна и верхней границы считаем постоянной и равной соответственно значениям  $T_1$  и  $T_2$ . В работе исследуется случай устойчивой стратификации ( $T_2 > T_1$ ) для различных законов изменения температуры выступа с высотой. Приводятся стационарные решения, полученные методом установления.

Кроме обычных для задачи о свободной конвекции параметров, числа Грасгофа  $G = g\beta(T_2 - T_1)L^3/\nu^2$  и числа Прандтля  $\operatorname{Pr} = \nu/\chi$ , в данной задаче определяющим параметром будет число Рейнольдса  $\operatorname{Re} = \nu L/\nu$ , где  $\nu$  — характерная скорость, определяемая заданным расходом. За характерный размер  $L$  принимаем высоту выступа.