

## ИЗМЕНЕНИЕ ЗОНЫ СМЕСИ ДВУХ ГАЗОВ ПРИ ДВИЖЕНИИ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

С. Н. БУЗИНОВ, М. А. ПЕШКИН

(Москва)

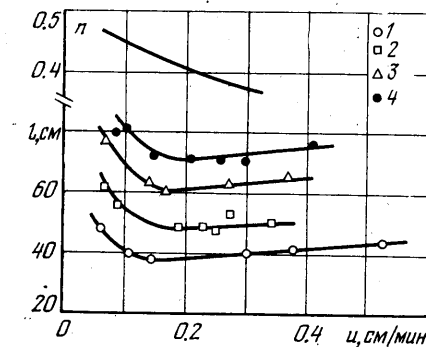
Приводятся результаты экспериментального исследования изменения зоны смеси двух газов в насыпной однородной пористой среде при различной длине пути и скорости фильтрации.

Ранее были выявлены некоторые особенности зависимости размеров зоны смеси двух газов в пористой среде от скорости фильтрации, характеристик пористой среды и физических свойств газов по сравнению с аналогичными зависимостями для зоны смеси двух жидкостей [1, 2]. Эти особенности определяются в основном тем, что коэффициент молекулярной диффузии смешивающихся газов на 2–3 порядка больше, чем у жидкостей. Из-за резкого различия в физических свойствах могут отличаться и закономерности изменения размеров зоны смеси при движении в пористой среде для жидкостей и газов.

Размер зоны смеси одинаковых по своим физическим свойствам фильтрующихся газов или взаиморастворимых жидкостей вследствие фильтрационно-конвективной диффузии должен увеличиваться пропорционально корню квадратному из пройденного расстояния [3] ( $l \sim L^{0.5}$ ). Экспериментально исследовались только закономерности изменения зоны смеси жидкостей. Результаты экспериментов с однородными углеводородными жидкостями соответствуют указанному закону [4, 5]. Варьирование свойств жидкостей показывает, что основное влияние на размеры зоны смеси и закономерности ее изменения при движении оказывают как отношение вязкостей, так и их абсолютные значения, хотя в целом результаты опытов весьма разноречивы.

Так, при смешивающемся вытеснении жидкостей, отношение вязкостей которых варьировалось в диапазоне  $\mu_0 = \mu_2/\mu_1 = 1 \div 16$ , отмечено, что зона смеси растет на начальном участке ( $10 \div 12$  м), а затем стабилизируется [6].

Анализ экспериментальных данных аналогичных опытов [7] на моделях длиной до 30,5 м при  $\mu_0 = 0.094 \div 10.64$  и скорости вытеснения 2,8 см/мин показывает, что изменение



длины зоны смеси следует зависимости  $l \sim L^n$ , где  $n = 0.35$  при  $\mu_0 > 1$ , но при  $\mu_0 < 1$  отмечается отклонение от этой закономерности.

Обстоятельное исследование динамики зоны смеси на модели пласта длиной 50 м в диапазоне отношения вязкостей жидкостей  $\mu_0 = 5 \div 15$  [5] показало, что формирование зоны происходит на начальном участке длиной  $L \approx 10$  м, а затем изменение ее размеров может быть выражено закономерностью  $l \sim L^n$ . В этих опытах показатель степени  $n$  изменялся в зависимости от вязкости в диапазоне от 0,11 до 0,25, причем в противоположность опытам [5] отмечается увеличение  $n$  с ростом  $\mu_0$ . Для изучения закономерностей изменения размеров зоны смеси двух газов при движении в пористой среде были поставлены эксперименты.

Эксперименты проводились на трубной модели пористого пласта, которая состояла из различного числа труб диаметром 25 мм, соединенных между собой на фланцах коленами. Длина моделей составляла  $L_1 = 211$  см,  $L_2 = 478$  см,  $L_3 = 744$  см и  $L_4 = 1011$  см, проницаемость пористой среды  $k = 90$  мД, а поровый объем модели максимальной длины  $V_M = 1,25$  л. В опытах азот вытеснялся углекислым газом при комнатной температуре и давлении  $p = 35$  кг/см<sup>2</sup>. При этих условиях отношение вязкостей  $\mu_0 = 1.1$ . Газ в модель поступал из баллона через поддерживающий постоянное давление редуктор и систему запорных кранов. На выходе из модели кроме запорного имелся игольчатый регулировочный кран для выбора заданного расхода газа. Из модели газ поступал в хроматограф, где периодически анализировался, и затем через барботер в газовый счетчик.

При установившемся режиме фильтрации одного газа одновременно закрывался кран на подводящей магистрали и открывался кран на магистрали подачи газа-вытеснителя, давление которого предварительно устанавливалось равным давлению вытесняемого газа. Момент переключения подачи газа был начальным моментом опыта по вытеснению. Давление газа на входе и выходе из модели измерялось образцовыми манометрами. Перепад давления на модели не превышал 0,5 кг/см<sup>2</sup>.

По результатам анализа проб газа на выходе из модели строилась зависимость изменения концентрации углекислого газа в смеси от объема вышедшего газа и по ней определялась длина зоны смеси газов  $l$ , как длина части модели, в которой при пластовых условиях содержание газа-вытеснителя изменялось от 10 до 90%

$$l = \Delta Q \rho_0 / m F \rho_1$$

где  $\Delta Q$  — количество газа, вытесненное из модели при изменении содержания газа-вытеснителя на выходе от 10 до 90%,  $m$  — пористость,  $F$  — площадь сечения трубной модели,  $\rho_0$  и  $\rho_1$  — плотности смеси газов, состоящей из равных объемных долей, при атмосферных условиях и пластовых условиях.

Средняя скорость фильтрации газа за процесс вытеснения  $u$  определялась по среднему расходу  $q$  от момента начала опыта до появления в смеси на выходе 10% газа-вытеснителя

$$u = q \rho_0' / m F \rho_1$$

где  $\rho_0'$  — плотность вытесняемого газа при атмосферных условиях.

Результаты основных опытов по измерению длины зоны смеси газов на трубных моделях разной длины при различной скорости фильтрации представлены на фигуре. Абсолютные значения длины зоны смеси находятся в пределах 0.1 длины моделей, что позволяет считать их достаточными для проведенных исследований.

При всех длинах моделей уменьшение скорости фильтрации приводит в области фильтрационно-конвективной диффузии к некоторому уменьшению длины зоны смеси, а затем при переходе в область преобладающего влияния молекулярной диффузии происходит резкое увеличение зоны смеси. Для трех произвольно выбранных значений скорости фильтрации  $u = 0.1, 0.2$  и  $0.3$  см/мин по зависимости на фигуре были определены величины зон смеси при различных длинах модели и построены в логарифмических координатах зависимости длины зоны от пройденного ею расстояния. Проведенные прямые позволили определить среднее значение показателя степени в зависимости  $l \sim L^n$ , принимаемой обычно для описания закономерности изменения размеров зоны. Показатель степени  $n$  с уменьшением скорости фильтрации несколько возрастает, стремясь к теоретической величине  $n = 0.5$ , а при увеличении скорости приближается к значению  $n = 0.35$ , полученному для жидкостей [7]. Аналогичные результаты были получены в предварительных опытах, проведенных на моделях  $L_1 = 211$  см и  $L_2 = 1011$  см при давлении  $p = 30$  кг/см<sup>2</sup>. Некоторое различие темпа роста размеров зоны с увеличением пройденного ею расстояния в зависимости от скорости фильтрации (уменьшение  $n$  с увеличением  $u$  на фигуре) может быть отнесено за счет различия в зависимостях продольного и поперечного коэффициентов дисперсии от числа Пекле. Влияние скорости на поперечный коэффициент дисперсии начинает проявляться при значительно больших числах Пекле, чем на продольный коэффициент дисперсии [8]. Поэтому только при сравнительно больших скоростях фильтрации отмечается увеличение поперечного коэффициента дисперсии и ее выравнивающее влияние на распределение концентраций в зоне смеси, приводящее к сокращению зоны. Поперечная неоднородность концентраций является следствием неоднородности пористой среды, которая всегда возможна.

Проведенные эксперименты показали, что зона смеси двух газов по мере продвижения в пористой среде растет, закономерность ее увеличения может быть выражена зависимостью  $l \sim L^n$ , где величина показателя  $n$  в зависимости от скорости фильтрации изменяется в диапазоне  $n = 0.35 \div 0.5$ .

Поступила 13 III 1978

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бузинов С. Н., Пешкин М. А. Некоторые экспериментальные данные о вытеснении газа газом из пористой среды. Изв. АН СССР. МЖГ, 1974, № 4.
2. Бузинов С. Н., Пешкин М. А. Зона смеси фильтрующихся газов в различных пористых средах. Изв. АН СССР, МЖГ, 1977, № 1.
3. Николаевский В. Н. Конвективная диффузия в пористых средах. ПММ, 1959, т. 23, вып. 6.
4. Koch H. A., Slobod R. L. Miscible slug process. J. Petrol. Technology, 1957, vol. 9, No. 2.
5. Забродин П. И., Раковский Н. Л., Розенберг М. Д. Вытеснение нефти из пласта растворителями. М., «Недра», 1968.
6. Hall H. N., Geffen T. M. A laboratory study of solvent flooding. J. Petrol. Technology, 1957, vol. 9, No. 2.
7. Slobod R. L., Burcik E. I., Cashdollar B. H. The effect of viscosity ratio and path length in miscible displacement in porous media. Producers monthly, 1959, vol. 23, No. 8.
8. Marle C., Pottier J. Aspects theoriques du desplacement miscible en milieux poreux pour la recuperation du petrole. Rev. Inst. France petrole, 1965, No. 2, vol. 20.