

5 — область голографирования размером $30 \times 30 \times 25$ мм³. Оптическая схема записи голограмм приведена на фиг. 2. Излучение ОКГ 1 расширялось коллиматором 2 с диаметром выходного зрачка 30 мм, делилось светоделителем 3 на предметный и опорный лучи. Предметный луч проходил через область голографирования двухфазного потока 4, объектив 5 и попадал на фотопленку 7 (ФПГВ-2), где регистрировалась картина интерференции между предметным и опорным пучками. В фокальной плоскости объектива располагался непрозрачный точечный экран 6; с помощью которого проводилась фильтрация низких пространственных частот, что увеличивало контраст изображения.

Наблюдение пленки, капель и их измерение по восстановленному изображению осуществлялись при помощи трехкоординатного горизонтального оптического микроскопа МГ. На фиг. 3 показана фотография пленки в нижней части сопла, полученная с восстановленного изображения при фокусировке микроскопа в вертикальной меридиональной плоскости. Четко видна внешняя граница пленки 1, волны на ее поверхности, одиночные капли жидкости 2. Внутренняя граница пленки 3 фиксируется хуже за счет фазовых искажений, вносимых движущейся пленкой жидкости. Однако во многих случаях удается определить поперечный размер пленки (ее толщину h) и длину волны возмущений l на ее поверхности.

На фиг. 4 показана пленка на некотором удалении от среза сопла (~ 10 мм). Здесь четко видна и внутренняя граница. Измерения показали, что толщина пленки вблизи сопла ~ 1130 – 700 мкм и далее уменьшается до ~ 350 мкм. Общая протяженность пленки до момента ее разрыва равна 15–17 мм, т. е. 10–20 калибров в долях начальной толщины.

Можно положить [3, 4], что размер капель d , получающихся при дроблении жидкой пленки, пропорционален длине волны возмущения и толщине пленки, т. е. $d \sim \sqrt{hl}$.

Измерения по голограммам показали, что длина волны возмущения ~ 280 – 1300 мкм. На фиг. 5 показана фотография капель, получающихся при дроблении жидкой пленки (крупные капли). Их размеры равны 210, 350, 420 мкм, что хорошо согласуется с вышеприведенной формулой.

В верхней части фотографии (фиг. 5) видны мелкодисперсные капли, принадлежащие ядру двухфазного потока. Нетрудно видеть, что все они примерно одного размера (порядка 30 мкм). Аналогичный результат был получен в работе [1], где был доказан монодисперсный характер капель ядра потока с размером, зависящим от перепада давления и составляющим величину порядка 10–30 мкм.

Таким образом, голографический метод позволяет определять размеры пленок, параметры возмущений на границе пленки, дисперсность и концентрацию образующихся капель, т. е. является методом комплексного исследования дисперсно-кольцевого течения в сопле.

Поступила 25 IV 1977

ЛИТЕРАТУРА

1. Лепешинский И. А., Барановский С. И., Тихонов Б. А., Эпштейн В. И. Исследование структуры двухфазного потока в плоском сопле. В сб. «Вопросы газотермодинамики энергоустановок», вып. 1. Харьков, 1974.
2. Голография. Методы и аппаратура. М., «Сов. радио», 1974.
3. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика. М., Физматгиз, 1959.
4. Бородин В. А., Дитякин Ю. Ф., Клячко Л. А., Ягодкин В. И. Распыливание жидкостей. М., «Машиностроение», 1967.

УДК 532.546

О ВЛИЯНИИ ПРОНИЦАЕМОСТИ И ФОРМЫ НЕОДНОРОДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА МАКСИМАЛЬНУЮ БЕЗВОДНУЮ НЕФТЕОТДАЧУ

В. Б. ТАРАНЧУК

(Минск)

Рассматривается изотермическое вытеснение нефти водой, когда капиллярные и гравитационные эффекты не учитываются, проницаемость пласта является кусочно-постоянной функцией, фильтрация подчиняется линейному закону Дарси.

Для модельной задачи о фильтрации в пятиточечной системе с неоднородным по проницаемости включением приведены результаты численного решения, иллюстрирующие зависимость максимальной безводной нефтеотдачи от отношения вязкостей нефти и воды, проницаемости, формы и размеров неоднородных включений.

Система уравнений, описывающих нестационарную изотермическую фильтрацию двух несмешивающихся несжимаемых жидкостей в недеформируемом горизонталь-

ном пласте, если не учитывается капиллярный скачок давления между фазами, при линейном законе фильтрации может быть записана в виде [1]

$$(1) \quad \frac{\partial}{\partial x} \left[k \left(\frac{f_1}{\mu_1} + \frac{f_2}{\mu_2} \right) \frac{\partial p}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k \left(\frac{f_1}{\mu_1} + \frac{f_2}{\mu_2} \right) \frac{\partial p}{\partial y} \right] = 0$$

$$(2) \quad m \frac{\partial s}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{k f_2}{\mu_2} \frac{\partial p}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{k f_2}{\mu_2} \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 0$$

Здесь t — время ($0 \leq t \leq t_1$), x, y — декартовы координаты в плоскости фильтрации, m — пористость, $k(x, y)$ — абсолютная проницаемость среды, $f_i(s)$ — относительные фазовые проницаемости, μ_i — вязкости фаз, s — насыщенность парового пространства водой, p — давление (индексы $i=1, 2$ относятся соответственно к нефти и воде).

Практический интерес представляет изучение вытеснения нефти водой в неоднородном пласте, который вскрыт системой нагнетательных и эксплуатационных скважин. Так как истинное распределение абсолютной проницаемости пласта никогда не бывает известно с достаточной точностью, для качественного исследования характеристик течения рассмотрим некоторые модельные задачи, когда пласт кусочно-неоднороден.

Пусть в области фильтрации D имеются включения D_1 и абсолютная проницаемость пласта задается в виде

$$(3) \quad k(x, y) = \begin{cases} k_1, & (x, y) \in D \setminus D_1 \\ \alpha k_1, & (x, y) \in D_1 \end{cases}$$

где k_1 — проницаемость вне включения, α — положительная постоянная.

Для иллюстрации влияния формы, размеров и проницаемости включений на характер течения рассматривается задача о вытеснении нефти водой в элементе симметрии пятиточечной системы [2] (квадрат, в противоположных вершинах которого находятся нагнетательная и эксплуатационная скважины — окружности заданного радиуса).

В начальный момент в области D задается распределение водонасыщенности $s(0, x, y) = s_0$, на контуре нагнетательной скважины задаются водонасыщенность $s = s^0$ и суммарный расход жидкости q_0 , на контуре эксплуатационной скважины — давление p_0 , на сторонах квадрата — условия симметрии для давления. Заметим, что такая постановка идентична рассматриваемой в [2] «задаче о площадном заводнении», отличие состоит в том, что пласт предполагается кусочно-неоднородным.

Описанная краевая задача для определения давления p и водонасыщенности s решалась численно с применением метода разделения по физическим процессам [3], согласно которому из уравнения (1), используя известное на n -м шаге распределение s^n и граничные условия для давления, определяется распределение давления p^{n+1} на $(n+1)$ -м временном шаге; затем из (2) находится распределение насыщенности s^{n+1} . При расчете давления применялся метод установления с использованием схемы продольно-поперечной прогонки; уравнение (2), аппроксимировалось явной схемой типа «уголок»; для расчета решений в малых окрестностях скважин применялось «секторное приближение» и неявные разностные схемы [4].

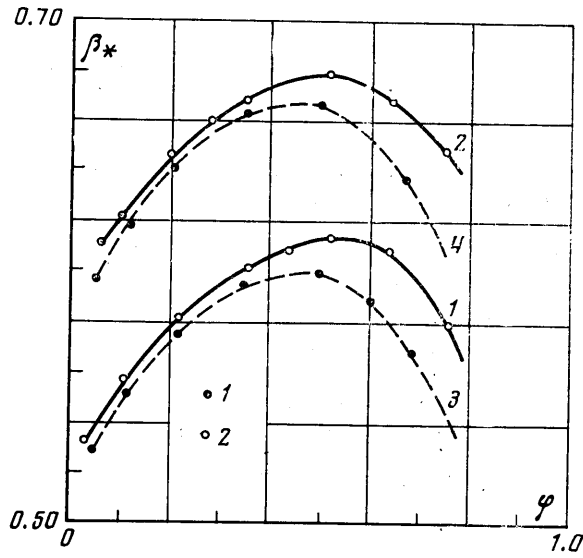
Некоторые результаты расчетов представлены на фиг. 1, 2. Пусть β_* — значение максимальной безводной нефтеотдачи пласта, равное отношению объема нефти, извлеченной к моменту прорыва воды в эксплуатационную скважину, к начальным запасам нефти в рассматриваемой области; φ — параметр, равный отношению площади неоднородного включения D_1 к площади элемента симметрии D

$$(4) \quad f_1(s) = (1-s)^2, \quad f_2(s) = s^2, \quad s_0 = 0, \quad s^0 = 1, \quad \mu_0 = \mu_1/\mu_2$$

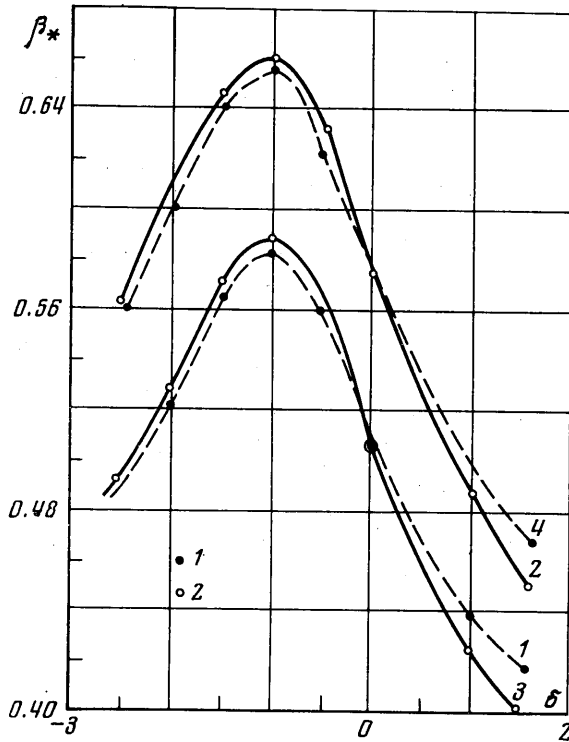
На фигурах представлены результаты расчетов при различных значениях α, φ, μ_0 , когда рассматривались включения двух типов: включение, ограниченное окружностью (соответствующие значения β_* отмечены на фигурах точками 1) и сторонами квадрата, параллельными границам области D (значения β_* отмечены точками 2); центры включений совпадают с центром элемента симметрии.

На фиг. 1 показаны кривые, иллюстрирующие зависимость β_* от площади неоднородного включения, когда $\alpha = 0.5$; $\mu_0 = 3$ (кривые 1, 3) и $\mu_0 = 2$ (кривые 2, 4). Из графиков следует, что максимальное значение β_* в обоих случаях достигается при одном значении α_* независимо от отношения вязкостей μ_0 .

На фиг. 2 показаны кривые, иллюстрирующие зависимость β_* от $\delta = \log_2 \alpha$ для случаев $\mu_0 = 3$ (кривые 1, 3), $\mu_0 = 2$ (кривые 2, 4), когда $\varphi = 0.28$. Как следует из дан-



Фиг. 1



Фиг. 2

ных расчетов, нефтеотдача β_* достигает максимального значения при $\alpha_*=0.5$, критическое значение α_* не меняется с изменением отношения μ_0 и формы включения; нефтеотдача β_* при $\alpha_*=0.5$ превышает нефтеотдачу однородного пласта ($\alpha=1$) более чем на 10%.

Поступила 28 II 1977

ЛИТЕРАТУРА

1. Баренблатт Г. И., Ентов В. М., Рыжик В. М. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газа. М., «Недра», 1972.
2. Данилов В. Л., Кац Р. М. Метод зональной линеаризации в нелинейных многомерных задачах массопереноса в пористых средах. Изв. АН СССР, МЖГ, 1973, № 4.
3. Данилов В. Л., Коновалов А. Н., Якуба С. И. Об уравнениях и краевых задачах теории двухфазных фильтрационных течений в пористой среде. Докл. АН СССР, 1968, т. 183, № 2.
4. Таранчук В. Б., Чудов Л. А. Численный метод для решения некоторых задач плоской двухфазной фильтрации в области со скважинами. В сб. «Численные методы механики сплошной среды», т. 5, № 4. Новосибирск, 1974.

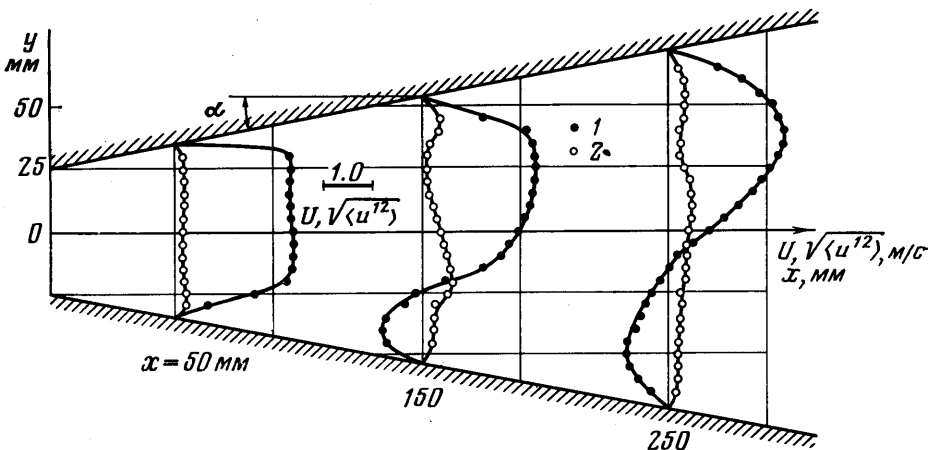
УДК 532.574

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В ПЛОСКОМ ДИФFUЗОРЕ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ДОПЛЕРОВСКОГО АНЕМОМЕТРА

А. Я. ШКВАР

(Николаев)

Большинство экспериментальных исследований течений в диффузорах было проведено с использованием пневмометрических приборов [1] или термоанемометров, между тем сложная структура потока в этих каналах не может быть обнаружена с помощью подобных приборов ввиду ненадежности их показаний при изменении знака скорости и поэтому представляет интерес использование для этих целей лазерных анемометров, основанных на эффекте Доплера [2]. Ниже излагаются результаты исследования структуры потока в плоском диффузоре с углом раскрытия $2\alpha = 21.5^\circ$,



Фиг. 1

полученные при помощи лазерного анемометра типа 55L, выпускаемого датской фирмой DISA. Общая схема диффузора представлена на фиг. 1; испытываемый участок был изготовлен из органического стекла с хорошими оптическими свойствами и был подключен к аэродинамической трубе закрытого типа, обеспечивающей с помощью сеток и хонейкомбов турбулентность набегающего свободного потока на уровне 0.4%. Диффузор имел квадратное входное сечение размером 50×50 мм, плавный лемнискатный вход и небольшой входной участок $l_0 = 85$ мм постоянного сечения.

Для визуализации воздушного потока использовались мелкодисперсные частички глицерина размером $0.5 \div 1.0$ м, которые вырабатывались в специальном глицериновом генераторе и имели полидисперсность на уровне табачного дыма [3]. Для устранения налипания этих частиц на стенках исследуемого канала использовалась специальная жидкость — антистатик.