

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ФИЛЬТРАЦИЕЙ ЖИДКОСТИ ИЗ ПЛАСТА В СКВАЖИНУ И ИНФИЛЬТРАЦИЕЙ В ПЛАСТ

И.И. Корганов, А.Х. Мирзаджанзаде

(впервые опубликована в журнале «Доклады Академии Наук Азерб. ССР», 1952, Том 8, № 2. С. 63-69)

The Relationship Between Filtration of Liquid from the Reservoir into the Well and Infiltration into the Reservoir

I.I. Korganov, A.Kh. Mirzajanzade

(originally published in «Transactions (Doklady) of the Azerb. SSR Academy of Sciences»
journal, 1952, Vol. 8, No. 2, P. 33-69)

ABSTRACT

The article is devoted to determining the laws that govern the movement of fluid from the well into the reservoir and back. To study this pattern, the authors conducted experiments on a circular model. Based on the analysis of the experimental results, the following pattern was revealed: when a certain amount of liquid is injected into the reservoir, significantly less depression is required than depression is required when the same amount of liquid is taken from the reservoir. From what has been said, it can be concluded that the pick-up coefficient in all cases is significantly higher than the productivity coefficient. In addition, a certain pattern has been revealed between reservoir pressure and pressure gradients in the bottom-hole zone of the formation. This pattern also lies in the fact that the lower the reservoir pressure, the greater part of the total depression falls on the bottom-hole zone of the formation. This suggests that outside the bottom-hole zone of the formation (critical zone) at low pressure, the value of pressure gradients is insignificant. Therefore, a significant part of the pressure gradients falls on the critical zone. Of course, the work done does not pretend to be a complete study, but it nevertheless shows that the influence of local resistances must also be taken into account in hydrodynamic calculations.

KEYWORDS:

Fluid movement;
Filtration from the formation
into the well;
Infiltration into the formation;
Bottom-hole zone of the formation;
Critical zone; Modeling.

e-mail: scientificpetroleum@gmail.com

<https://doi.org/10.53404/Sci.Petro.20210200013>

Закономерности, которым подчиняется движение жидкости из пласта в скважину, сравнительно хорошо изучены. Что касается закономерностей, которым подчиняется движение жидкости из скважины в пласт, то этот вопрос экспериментальными исследовательскими работами изучен недостаточно.

Следует отметить, что у многих специалистов существует представление, что при одном и том же перепаде расход фильтрации равен расходу инфильтрации. Так, например, в пособиях по исследованию скважин методом прослеживания уровня указывается, что нарушение статического состояния скважины можно производить откачкой или подливом.

Установление соотношения между фильтрацией из пласта и инфильтрацией в пласт имеет большое практическое значение. Знание этого соотношения во многих случаях исключает необходимость производства пробного нагнетания.

Кроме того, будет установлено, в какой степе-

ни при исследовании скважины будут равноценны откачка и подлив жидкости.

В этом, собственно, и заключается цель данной статьи.

Описание установки

Эксперименты производились на круглой модели, состоящей из двух концентрических цилиндров – наружного с внутренним диаметром 800 мм и внутреннего диаметром 600 мм. Внутренний цилиндр перфорирован (отверстия диаметром 8.4 мм и расстояния между центрами отверстий 25 мм). Высота цилиндров – 400 мм. Внутренний цилиндр приварен к днищу наружного цилиндра. Кольцевое пространство между цилиндрами представляет «область питания» и заполняется водой, подведенной к этому пространству с двух противоположных сторон в нижней части цилиндров. Давление «контурной воды» поддерживается баллоном, установленным на высокой подставке и снабжающим коль-

цевое пространство водой при заданном напоре. Крышка модели снабжена центральным отверстием для пропуска медной трубочки диаметром 20 мм, служащей «скважиной». Эта трубочка проходит через дно модели. По диаметру модели в одну линию со «скважиной» на крышке сделаны 8 отверстий, через которые проходят медные трубочки диаметром 6 мм, служащие пьезометрами. Кроме того, крышка имеет два люка для загрузки внутреннего цилиндра песком и отверстие для присоединения пьезометра к кольцевому пространству.

Медные трубочки, служащие скважиной и пьезометрами, перфорированы на всю длину и защищены припаянными медными сетками от попадания песка вовнутрь. Так же защищено от попадания песка кольцевое пространство между цилиндрами, при помощи медной сетки, смонтированной во внутреннюю поверхность внутреннего цилиндра. Пьезометрические трубочки и нижний конец трубочки-«скважины» присо-

единены к U-образным стеклянным трубочкам, смонтированным на деревянном щите.

Подготовка к экспериментированию.

При экспериментировании использовался песок, взятый из обнажений среднего отдела продуктивной толщи в Кирмакинской долине. Песок промывался водой (с целью удаления глинистых частиц), просушивался, просеивался и прокаливался при температуре 400° с целью удаления органических веществ и влаги.

Опыты производились на щелочной воде из скважины № 1648, проведенной на КС в Лениннефти.

Методика экспериментирования

Первая часть экспериментов представляла процесс эксплуатации скважины и проводилась при превышении уровня воды в напорном баллоне над средней линией модели на 100 см, 147.5 см и 195.3 см. Из «скважины» производился

Отбор воды из скважины

Таблица 1

Количество воды, см ³ /мин Q ₁	Разность показаний пьезометров в состоянии покоя и при отборе воды, в см водяного столба									
	пьезометры									
	№1	№2	№3	№4	№5	Пласт (кольцевое пространство)	Разность давлений между пластом и скважиной (ΔP ₁ в см вод. столба)			
Напор = 195.3 см водяного столба										
166.4	1.6	1.7	3.1	3.6	4.0	4.5	6.2	11.2	1.5	9.7
363.0	1.6	2.0	3.4	4.9	6.1	6.9	10.4	22.1	1.5	20.6
537.5	2.2	3.3	5.4	6.5	7.7	8.1	13.3	29.7	2.5	27.2
1160	13.3	14.8	17.9	18.5	20.9	25.0	33.7	64.2	12.0	52.2
2240	39.8	41.5	46	48.5	48.3	56	73.5	133	35.3	97.7
2823	54.8	56.0	61.5	62.5	65.3	74.5	94.5	166	49.3	116.7
Напор = 147.5 см водяного столба										
165	0.7	1.4	0.7	0.7	0.7	1	2	6.5	0	6.5
530	3.2	3.7	3.4	3.9	4.1	4.7	7.8	23.6	2.4	21.2
1126.6	9.7	9.7	10.1	10.4	11.0	11	17	47.3	8.2	39.1
2015.4	27.7	27.9	28.3	19.6	28.9	30	44.7	91.6	26.1	65.5
Напор = 100 см водяного столба										
168	0.4	0.6	0.5	0.7	0.6	0.5	1.0	6	0.3	5.7
530	3.0	2.2	3.2	3.2	3.3	3.0	3.6	21.1	2.5	18.6
720	4.7	5.0	4.8	5.2	5.3	5.2	5.1	28.4	4.0	24.4
1130	9.8	10.0	10.1	10.3	10.4	10.7	11.2	45.9	9.0	36.9
1508	15.8	16.2	16.2	15.5	16.4	18.4	17.8	62.3	15.0	47.3

отбор воды: при напоре 100 см в количестве от 18 до 1508 см³/мин при 20 режимах; при напоре 147.5 см в количестве от 15 до 2015 см³/мин при 14 режимах и при напоре 195.3 см в количестве от 22 до 2823 см³/мин при 15 режимах.

В таблице 1 приводятся выборочные данные, полученные при экспериментировании.

Вторая часть экспериментов представляет процесс нагнетания воды в пласт. В этом случае напорный баллон соединялся со скважиной, а отбор воды производился из «пласта» (кольцевого пространства).

Как и при отборе воды из скважины, эксперименты производились в трех сериях при превышении уровня воды в баллоне над средней линией модели в 100 см, 147.5 см и 195.3 см. При установлении количества нагнетаемой в скважину воды исходили из тех количеств, которые отбирались при проведении первой части экспериментов. Это дает возможность сопоставлять перепады давлений и пьезометрические воронки для одного и того же расхода при отборе из сква-

жины и нагнетании в скважину.

Замер расхода нагнетаемой воды и снятие показаний пьезометров производились после того, как движение при новом режиме считалось установившимся на основании контрольных замеров расхода воды. В первой серии (превышение уровня воды в баллоне над средней линией модели в 100 см) расход менялся от 15 до 2480 см³/мин при числе режимов 16. Во второй серии при напоре 147.5 см расход менялся от 15 до 2926 см³/мин при числе режимов 15 и, наконец, в третьей серии при напоре 195.3 см расход менялся от 13.5 до 2830 см³/мин при числе режимов 16. Выборочные данные экспериментирования приводятся в таблице 2.

Путем сопоставления данных таблиц 1 и 2 выявляется вполне определенная закономерность, которая имеет важное значение с точки зрения оценки условий фильтрации жидкости из пласта в скважину и инфильтрации ее из скважины в пласт. Эта закономерность, наблюдавшаяся при всех режимах, при которых производились

Таблица 2

Нагнетание воды в скважину

Количество воды, см ³ /мин Q ₂	Разность показаний пьезометров в состоянии покоя и при отборе воды, в см водяного столба									
	пьезометры									
	№1	№2	№3	№4	№5	Пласт (кольцевое пространство)	Разность давлений между пластом и скважиной (ΔP ₂ в см вод. столба)			
Напор = 195.3 см водяного столба										
165	1.8	1.4	1.7	1.3	1.7	1.8	1.8	0.4	1.8	1.4
360	2.6	2.3	2.7	3.2	1.7	2.6	2.9	0.4	2.9	2.5
540	6.7	6.4	6.8	8.5	7.0	6.6	6.9	0.8	7.2	6.4
1160	9.7	9.5	9.7	9.7	9.8	10.0	9.7	2.0	10.5	8.5
2240	19.6	19.5	19.5	19.5	19.0	19.3	9.5	5.5	21.5	15.9
2830	26.5	26.3	26.4	26.3	25.8	26.2	25.9	7.0	29.1	22.1
Напор = 147.5 см водяного столба										
165	1.8	2.0	1.7	1.8	1.8	1.7	2.0	0.3	2.1	1.8
530	6.4	6.5	6.4	6.5	6.3	6.4	6.5	1.0	6.8	5.8
1130	17.0	17.0	17.1	16.9	16.5	16.7	16.5	2.0	17.8	15.8
2013	28.6	28.9	27.9	29.0	28.5	24.5	28.3	4.5	31.2	26.7
Напор = 100 см водяного столба										
168.5	3.9	3.6	3.6	3.7	3.5	3.7	3.7	0.2	3.6	3.4
530	6.0	5.8	5.8	5.7	6.3	6.5	5.7	0.7	6.2	5.5
720	8.3	7.9	8.6	8.0	7.7	7.5	7.6	0.9	7.7	6.8
1130	11.3	10.3	10.8	10.0	10.2	9.8	9.8	1.7	12.2	10.5
1510.5	15.5	16.2	16.2	16.0	15.7	15.6	15.6	3.3	18.1	14.8

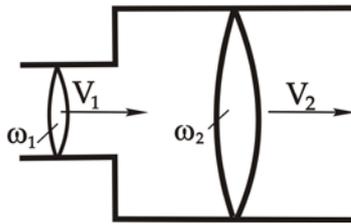


Рис. 1

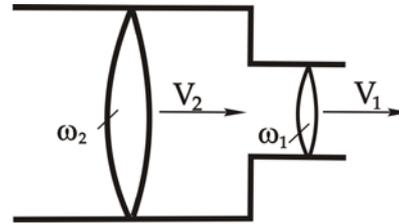


Рис. 2

эксперименты, заключается в следующем: при нагнетании в пласт определенного количества жидкости требуется значительно меньше репрессии, чем требуется депрессии при отборе из пласта такого же количества жидкости.

Следовательно, коэффициент приемистости во всех случаях значительно выше коэффициента продуктивности.

Как было указано, при экспериментировании сначала производился отбор воды из скважины, а затем нагнетание воды в скважину, т. е. в первой части эксперимента движение воды происходило в одном направлении, а во второй части – обратном направлении. Поэтому могло возникнуть предположение, что при движении воды в одном направлении могли произойти перемещение песчинок и изменение структуры порового пространства, вследствие чего коэффициент приемистости должен был отличаться от коэффициента продуктивности.

Для проверки этого предположения было дополнительно проведено 12 серий экспериментов, из которых в 6 случаях производилось нагнетание воды в пласт, а в остальных 6 – отбор воды из скважины. Нагнетание и отбор воды чередовались, а расход в каждой серии менялся от минимального к максимальному и, обратно, от максимального к минимальному. Результаты дополнительных опытов полностью подтвердили закономерности, выявленные при ранее проведенных экспериментах.

Прежде чем перейти к объяснению этого явления, рассмотрим изменения местных потерь напора в зависимости от причин, их вызывающих: внезапного расширения и внезапного сужения струи.

При внезапном расширении струи (рис.1) местные сопротивления могут быть определены из следующего общеизвестного выражения:

$$h_{e.p.} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2 \frac{v_2^2}{2g} \quad (1)$$

При внезапном сужении струи (рис.2) местные сопротивления могут быть определены по

формуле:

$$h_{e.c.} = \xi \frac{v_1^2}{2g} \quad (1)$$

где ξ – коэффициент местных сопротивлений, зависящий от соотношения $\frac{\omega_2}{\omega_1}$

Коэффициент ξ имеет, в зависимости от соотношения площадей сечений, следующие значения:

$\frac{\omega_2}{\omega_1}$	1.25	1.67	2.50	5.00	10.00	100.00
φ	0.15	0.25	0.33	0.42	0.50	0.50

Разделив выражение (1) на (2) определим при идентичных условиях соотношение местных сопротивлений при внезапном расширении и внезапном сужении:

$$\beta = \frac{h_{e.p.}}{h_{e.c.}} = \frac{\left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2 \frac{v_2^2}{2g}}{\xi \frac{v_1^2}{2g}} = \frac{\left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2 v_2^2}{\xi v_1^2} \quad (3')$$

Из условия постоянства расходов:

$$\left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2 \quad (3'')$$

Подставив (3'') в (3') и обозначив $\frac{\omega_2}{\omega_1}$ через α получим:

$$\beta = \frac{(1-\alpha)^2}{\alpha^3 \xi} \quad (3)$$

Произведем подсчет значения β по уравнению (3) для различных значений α , приведенных выше. Результаты этих подсчетов таковы

α	1.25	1.67	2.50	5.00	10.00	100.00
$\beta \approx$	0.27	0.64	1.09	1.52	1.62	1.96

Отсюда следует, что после определенного значения α , $\beta > 1$. Необходимо отметить, что при ламинарном движении и, вместе с тем, отсутствии вихрей и связанных с ними возмущений потока и потерь, ударные потери будут также отсутствовать. Кроме того, потери напора на

местные сопротивления в диффузоре (расширяющейся трубе) также превосходят при идентичных условиях потери напора в конфузоре (сужающейся трубе). Рассматривая данные, полученные при установлении зависимости характера изменения градиента давления от темпа отбора или нагнетания жидкости в пласт в этом аспекте (в первом приближении), можно прийти к следующим выводам: наличие местных сопротивлений, возникающих при нагнетании и отборе, обуславливает различную величину давления при нагнетании и отборе. При движении жидкости из скважины в пласт происходит сужение струи при прохождении ее через фильтр.

Рассматривая таблицы 1 и 2, представляется возможным установить, что значительная разница между давлением при отборе и нагнетании наблюдается при турбулентном режиме движения в скважине и призабойной зоне пласта. При ламинарном же режиме движения эта разница приобретает минимальное значение.

Кроме того, необходимо отметить, что при другом соотношении размеров пласта и скважины может получиться иная картина.

Наряду с этим анализ экспериментальных данных показывает, что и градиенты давления в

самом пласте при нагнетании и отборе получаются различными (при $Q = \text{const}$), что, по нашему мнению, обязано изменению скоростей от одного сечения пласта к другому, что в первом приближении при нагнетании можно рассматривать как постепенное расширение струи, а при отборе – как постепенное сужение ее.

Характер потока, а именно: в одном случае расширяющийся, в другом же сужающийся, обуславливает различные глубины потока, а следовательно и градиенты давления¹.

Безусловно, проделанная работа не претендует на полноту исследований, но она тем не менее показывает, что влияние местных сопротивлений и характера потока на общее давление при отборе и нагнетании – значительно и требует изучения.

Кроме того, на основании проделанной работы можно прийти к выводу, что при гидродинамических расчетах необходимо принимать во внимание влияние местных сопротивлений, возникающих при изменении направления, расширении и сужении струи.

*Нефтяная экспедиция АН Азербайджанской ССР
Поступило 23. X. 1951*

¹ Такое объяснение данного явления было любезно указано нам вице-президентом АН Азербайджанской ССР проф. К. А. Михайловым.

**Соотношение между фильтрацией жидкости
из пласта в скважину и инфильтрацией в пласт***И.И. Корганов, А.Х. Мирзаджанзаде*(впервые опубликована в журнале
«Доклады Академии Наук Азерб. ССР», 1952, Том 8, № 2, С. 63-69)**Реферат**

Статья посвящена определению закономерностей, которым подчиняется движение жидкости из скважины в пласт и обратно. Для изучения этой закономерности авторами были проведены эксперименты на круглой модели. На основе анализа полученных результатов эксперимента была выявлена следующая закономерность: при нагнетании в пласт определенного количества жидкости требуется значительно меньше репрессии, чем требуется депрессии при отборе из пласта такого же количества жидкости. Из сказанного можно сделать вывод, что коэффициент приемистости во всех случаях значительно выше коэффициента продуктивности. Кроме того, выявлена определенная закономерность между пластовым давлением и градиентами давления в призабойной зоне пласта. Эта закономерность заключается еще и в том, что чем меньше давление пласта, тем большая часть общей депрессии приходится на призабойную зону пласта. Это говорит о том, что вне призабойной зоны пласта (критическая зона) при низком давлении значение градиентов давления незначительно. Поэтому значительная часть градиентов давления приходится на критическую зону. Безусловно, проделанная работа не претендует на полноту исследований, но она тем не менее показывает, что при гидродинамических расчетах также необходимо принимать во внимание влияние местных сопротивлений.

Ключевые слова: движение жидкости; фильтрация из пласта в скважину; инфильтрация в пласт; призабойная зона пласта; критическая зона; моделирование.

**Laydan quyuya sızıb gələn mayenin miqdarı ilə
quyudan laya sızıb gedən mayenin miqdarı arasındakı nisbət***İ.İ. Korqanov, A.X. Mirzəcənzadə*(ilk dəfə dərc olunub «Azərbaycan SSR-nin Elmlər Akademiyasının
Məruzələri» jurnalında, 1952, Cild 8, № 2, S. 63-69)**Xülasə**

Bu məqalə, mayenin quyudan laya və laydan quyuya hərəkətinin tabe olduğu qanuniyyətlərinin müəyyən edilməsinə həsr edilmişdir. Bu qanuniyyəti öyrənmək üçün müəlliflər tərəfindən dəyirmi model üzərində təcrübə aparılmışdır. Əldə edilən təcrübə nəticələrinin analizi əsasında belə bir qanuniyyət olduğu müəyyən edilmişdir: laya müəyyən miqdarda maye vurulduqda laydan eyni miqdarda mayenin çıxarılması üçün tələb edilən depressiyadan xeyli az repressiya lazım gəlir. Bu deyildə belə nəticəyə gəlmək olar ki, qəbul etmə əmsalı bu halların hamısında məhsuldarlıq əmsalından xeyli artıqdır. Bundan başqa lay təzyiqlə quyuya dibinə yaxın zonada təzyiqlər fərqi arasında da müəyyən qanuniyyət olduğu üzə çıxarılmışdır. Bu qanuniyyət də ondan ibarətdir ki, lay təzyiqi az olduqca, ümumi depressiyanın daha böyük bir hissəsi quyuya dibinə yaxın zonaya düşür. Bu göstərir ki, təzyiq az olduqda, quyuya dibinə yaxın zonanın (kritik zonanın) xaricində təzyiqlər fərqi qiyəti cüzi olur. Buna görə də, təzyiqlər fərqi əsas hissəsi kritik zonaya düşür. Söz yox ki, apardığımız bu tədqiqat işi tam deyildir, bununla belə bu tədqiqat göstərir ki, hidrodinamik hesablamalarda müxtəlif yerli müqavimətlər hökmən nəzərə alınmalıdır.

Açar sözlər: mayenin hərəkəti; laydan quyuya süzülmə; laya sızıb gələn; layın quyudibi zonası; kritik sahə; modelləşdirmə.