

УДК 622.243.24

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН

EXPERIMENTAL STUDIES OF HYDRODYNAMICS OF THE HORIZONTAL BORE HOLES

Петрушин Евгений Олегович

технолог по добыче нефти и газа
ЗАО «ННК» ОАО «Печоранефть»

Антониади Дмитрий Георгиевич

доктор технических наук, профессор,
академик РАЕН,
зав. кафедрой Нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
директор института Нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный
технологический университет

Савенок Ольга Вадимовна

доктор технических наук, доцент,
доцент кафедры Нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна
Кубанский государственный
технологический университет
Тел.: +7(861) 233-84-30, +7 (918) 326-61-00
olgasavenok@mail.ru

Аннотация. Анализ работ, выполненных в статье, показал, что для совершенствования и повышения эффективности горизонтальных скважин необходимо сосредоточить внимание на экспериментальных и теоретических исследованиях гидравлических сопротивлений пористых и перфорированных труб (каналов) с периферийным притоком (оттоком) жидкости, пропорциональным перепадам наружного и внутреннего давления.

Ключевые слова: гидравлические сопротивления, скважина, горизонтальный участок, приток, отток, модель, перфорированная труба.

Petrushin Evgeniy Olegovich

Technologist on mining the oils and gas
ZAO «NNK» ОАО «Pechoraneft»

Antoniadi Dmitriy Georgievich

Doctor of the Technical Sciences,
Professor, Academician,
Head of the pulp oil and gas deal of
the name of the professor G.T. Vartumyan,
Director of the institute to oils,
gas and energy,
Kuban State University of Technology

Savenok Olga Vadimovna

Doctor of the Technical Sciences,
Associate Professor, Associate Professor
of the pulp oil and gas deal of the name
of the professor G.T. Vartumyan,
Kuban State University of Technology
Ph.: +7(861) 233-84-30,
+7(918) 326-61-00
olgasavenok@mail.ru

Annotation. Analysis of the work, executed in article, has shown that for improvement and increasing to efficiency of the horizontal bore holes necessary turn attention on experimental and basic researches of the hydraulic resistances cavernous and perforated pipes (channel) with peripheral influx (withdrawal) to liquids, proportional swing of externally and internal pressure.

Keywords: hydraulic resistances, bore hole, horizontal area, influx, withdrawal, model, perforated pipe.

Бурение и эксплуатация горизонтальных скважин и боковых горизонтальных стволов (ГС и БГС) на месторождениях, находящихся на поздней стадии разработки или содержащих трудноизвлекаемые запасы, позволяет увеличить коэффициент нефтеизвлечения и снизить материальные затраты на буровые, монтажные и строительные работы. Для месторождений с развитой инфраструктурой применение ГС и БГС для включения в разработку слабовыработанных пропластков и застойных зон весьма эффективно. Для шельфовых месторождений с высокопроницаемыми коллекторами ГС с длиной горизонтального участка 700 и более метров не имеют альтернативы.

Однако увеличение длины горизонтального участка не всегда приводит к пропорциональному росту дебита ГС. Практика показывает, что в скважине с длиной горизонтального участка более 250 м проектные (расчётные) дебиты зачастую превышают

фактические. Здесь начинают проявляться гидродинамические особенности длинных пористых каналов с периферийным притоком жидкости, пропорциональным перепаду наружного и внутреннего давления по длине горизонтального участка.

Большое количество публикаций и постоянный интерес к проблеме повышения эффективности ГС и БГС показывает, что в настоящее время нет достаточно точных методов расчёта влияния гидродинамических и геометрических параметров скважин на характеристики фильтрационных течений в прискважинной зоне и в перфорированных пористых трубах.

А.Х. Мирзаджанзаде в работе [1] дал основы расчёта движения вязких и вязкопластичных жидкостей в бурении и нефтедобыче. Под его руководством в период с 1968 по 1970 гг. в АЗИНЕФТЕХИМ были выполнены теоретические и экспериментальные работы по движению глинистых растворов в трубе с проницаемой стенкой, в кольцевом пространстве с одной проницаемой стенкой и в трубе с одной проницаемой стенкой [2–5].

Подробный анализ этих работ выполнен А.С. Арутюняном. Отметим один очень важный факт, который не учтён в работе [6]: гидравлические потери для перфорированных труб, работающих на отток, всегда ниже, чем гидравлические потери в сплошных трубах. Об этом свидетельствуют все гидродинамические исследования, начиная с работ Л. Шиллера [7] и заканчивая работами [8–12]. В работах [3, 4] при течении жидкости изменялся профиль скорости. Для однородных маловязких жидкостей при оттоке профиль скорости принимает вытянутую форму, и средняя скорость снижается. В буровых растворах отток приводил к более плоскому профилю скорости и увеличению средней скорости, а, следовательно, к увеличению гидравлических потерь. Но основным фактором всё же является шероховатость поверхности, которая образуется при образовании глинистой корки.

В работе [13] при рассмотрении зависимости коэффициента гидравлических сопротивлений при оттоке для случая турбулентного режима течения получено незначительное снижение гидравлических сопротивлений. Ошибка заключается в том, что при оттоке жидкости происходит снижение степени турбулентности, а, следовательно, должны увеличиваться гидравлические сопротивления. Здесь дана упрощённая схема расчёта коэффициента гидравлических сопротивлений только для одного сечения. В этом случае возможны результаты, полученные в [13]. Увеличение числа Рейнольдса для оттока может привести и к увеличению гидравлических сопротивлений.

В более ранних работах Р.М. Террилла [14], И.С. Коченова [15], Р.М. Олсона и Эккерта [16], В.М. Ерошенко и Л.И. Зайчика [17] приведены многочисленные данные и теоретические подходы к решению задач течения жидкости (газов) в пористых каналах (трубах).

В указанных работах показано, что течение жидкости в пористых каналах для притока и оттока полностью определяются двумя критериями подобия:

- критерием Рейнольдса для основного потока

$$Re = \frac{U \cdot d}{\nu}; \quad (1)$$

- критерием Рейнольдса для периферийного притока (оттока)

$$Re_{\text{п}} = \frac{V \cdot d}{\nu}, \quad (2)$$

где U и V — продольная и поперечная скорости жидкости, м/с; d — диаметр трубы, м; ν — кинематическая вязкость, м²/с.

Критерий Рейнольдса (2) отнесён к диаметру трубы.

Для создания экспериментальной установки, описанной в работе [18], были использованы перфорированные полиэтиленовые трубки диаметром $d = 10$ см с рабо-

чим участком $L = 260 \text{ см}$ $\left(\frac{L}{d} = 2500\right)$. Для расширения диапазона изменения продольной скорости U и поперечной скорости V , а также отношения L/d при выполнении второй серии экспериментов применялись сорокаметровые трубки с диаметром 4 см, т.е. $\frac{L}{d} = 1000$.

В рамках динамического подобия были значительно расширены диапазоны изменения геометрических и динамических критериев Re и Re_n . В работе [19] дан расчёт этих критериев.

Диапазоны изменения показателей горизонтальных скважин приняты в следующих пределах:

- длина горизонтального участка $L = 50 \div 1000 \text{ м}$;
- диаметр горизонтального участка принимался равным $d = 0,144 \text{ м}$ и $d = 0,168 \text{ м}$;
- дебит скважины $Q = 50 \div 1000 \text{ м}^3/\text{с}$;
- кинематическая вязкость нефти $\nu = 10^{-5} \div 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Тогда максимальная продольная скорость будет равна

$$U_{\max} = \frac{4 \cdot Q_{\max}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 1000}{86400 \cdot 3,14 \cdot 0,144^2} = 0,71 \text{ м/с},$$

где 86400 — коэффициент перевода суток в секунды.

Аналогично были рассчитаны остальные параметры:

$$U_{\min} = \frac{4 \cdot Q_{\min}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 50}{86400 \cdot 3,14 \cdot 0,168^2} = 0,026 \text{ м/с}.$$

При расчёте поперечной скорости притока максимальный или минимальный дебит скважины распределялся равномерно (равномерный приток) по всей длине горизонтального ствола.

Числа Рейнольдса соответственно равны

$$Re_{\min} = \frac{U_{\min} \cdot d_{\min}}{\nu} = \frac{0,026 \cdot 0,144}{10^{-5}} = 374 ;$$

$$Re_{\max} = \frac{U_{\max} \cdot d_{\max}}{\nu} = \frac{0,710 \cdot 0,168}{10^{-6}} = 11928 .$$

Округляя, получаем $Re = 370 \div 12000$.

Число Эйлера определялось по формуле:

$$E = \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot U}, \quad (3)$$

где Δp — перепад давления по длине горизонтального участка, МПа; ρ — плотность нефти, кг/м^3 ; U — скорость продольного потока, м/с.

При расчётах принималось $\Delta p = 0,5 \div 5,0 \text{ МПа}$. В этом случае диапазон изменения числа Эйлера получается равным $E = 0,025 \div 18,5$.

Описание экспериментальной установки приводится в работе [19]. Установка принципиально не отличается от установки Ф.А. Шевелева [20] по исследованию гидравлики трубного течения. Вертикально установленный спаренный бачок обеспечивал постоянный напор и расход жидкости в начальном сечении горизонтальной трубки. На рисунке 1 приведена принципиальная схема установки.

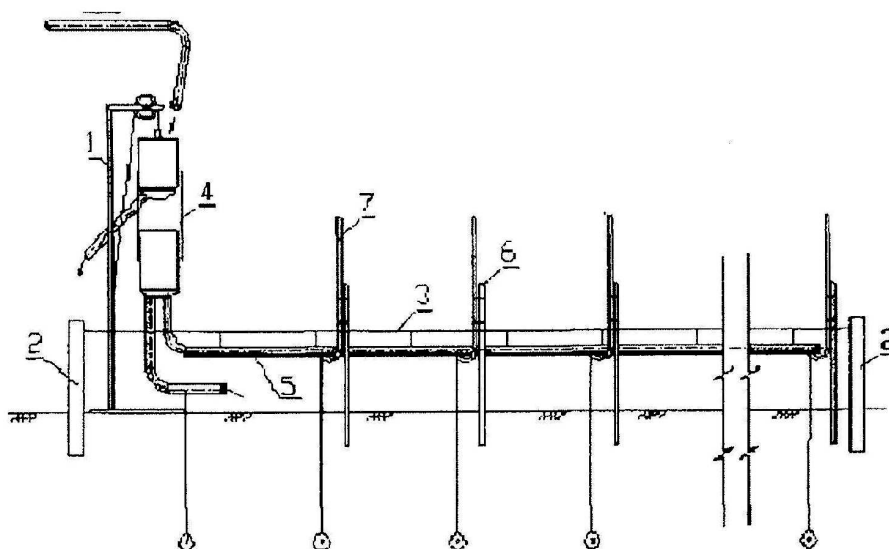


Рисунок 1 — Схема установки

На рисунке 1 введены обозначения: 1 — вертикальная стойка; 2 — деревянные стойки (по две с каждой стороны) для натягивания горизонтальной проволоки 3, на которую закреплялась полиэтиленовая трубка 5 (трубка закреплялась строго горизонтально). Для обеспечения уклона на задней стойке 2 имелся кронштейн, который обеспечивал подъём на заданную величину.

Трубка 5 подпиралась пирамидальными опорами 6 через каждые 5 м, где устанавливались микроманометры 7 для измерения давления по длине трубки. Спаренный бачок 4 соединялся с горизонтальной трубкой 5 и имел сливы 1 для удаления излишков жидкости из верхнего и нижнего бачка. Перфорационные отверстия и крепления микроманометров осуществлялось медицинскими шприцами, стандартный набор которых включал диаметры 0,9 мм; 1 мм; 1,65 мм и 2 мм.

Тарировка дифференциальных манометров, методика проведения экспериментов и обработки измерений ничем не отличалась от работы [19]. Отличие заключалось в длине трубки и шаге перфорации. В работе [19] все измерения проводились на трубках длиной 250 см с шагом перфорации 10 см. Наши эксперименты проводились на трубках длиной 40 м и шагом перфорации 1 м.

При выполнении экспериментальных работ определялись начальный $Q_{\text{нач}}$ и конечный $Q_{\text{кон}}$ расход с открытого конца трубки. Разность расходов Q_0 составлял расход через 40 отверстий, расположенных через 1 м. В случае необходимости определялись напоры по дифференциальным манометрам и расходы на всех 40 отверстиях.

Потери напора для перфорированной трубки определялись по формуле:

$$\Delta H_1 = A_1 \cdot l \cdot \left(Q_{\text{нач}} - Q_{\text{нач}} \cdot Q_0 + \frac{Q_0^2}{3} \right),$$

а для неперфорированной трубки

$$\Delta H_2 = A_2 \cdot l \cdot Q_{\text{нач}}^2,$$

где A_1 и A_2 — удельное сопротивление трубок; l — длина трубки; $Q_{\text{нач}}$ и Q_0 — соответствующие расходы.

Отношение $\frac{\Delta H_1}{\Delta H_2} = \frac{\lambda_{\text{п}}}{\lambda_0}$, т.е. равно отношению коэффициентов гидравлических сопротивлений. В таблице 1 приведены значения начального и конечного расхода ($\text{см}^3/\text{с}$) и отношение $\frac{\lambda_{\text{п}}}{\lambda_0}$.

Таблица 1 — Значения расхода и отношения коэффициентов гидравлических сопротивлений (перфорация Ø 2 мм)

№ п/п	$Q_{\text{нач}}$	Q_0	$Q_{\text{кон}}$	$\frac{\lambda_{\text{п}}}{\lambda_0}$
1	10	8	2	0,358
2	17	14	3	0,401
3	22	17	5	0,436
4	37	25	12	0,476
5	48	35	13	0,448
6	53	40	13	0,435
7	63	48	15	0,431
8	74	58	16	0,421
9	73	57	16	0,422
10	76	57	19	0,437
11	78	56	22	0,454
12	84	57	27	0,475
13	89	58	31	0,499
14	96	63	33	0,487
15	98	64	34	0,489
16	108	71	37	0,487

Рассчитанное среднее значение отношения $\frac{\lambda_{\text{п}}}{\lambda_0} = 0,450$, среднеквадратичное отклонение $\sigma = 0,036$. Аналогичные эксперименты для трубок с перфорацией диаметром 1 мм дали среднее значения $\frac{\lambda_{\text{п}}}{\lambda_0} = 0,683$, а $\sigma = 0,073$.

Интерес представляют зависимости расхода через отверстия по длине трубки от давления в сечении. В таблице 2 приведены значения давления p (г/см²) через каждые 5 м и расходы q (см³/с) через отверстия диаметром 2 мм при различных начальных расходах $Q_{\text{нач}}$.

Таблица 2 – Изменение давления по длине трубки и расхода через перфорационные отверстия

№ п/п	l	$Q_{\text{нач}} = 400 \text{ см}^3/\text{с}$		$Q_{\text{нач}} = 410 \text{ см}^3/\text{с}$		$Q_{\text{нач}} = 406 \text{ см}^3/\text{с}$		$Q_{\text{нач}} = 406 \text{ см}^3/\text{с}$	
		p	q	p	q	p	q	p	q
1	0	30,0	2,2	39,0	3,7	61,5	4,2	70,6	5,1
2	5	31,2	2,2	40,0	3,9	61,5	5,2	70,2	5,2
3	10	30,3	3,5	39,0	4,0	60,7	4,7	70,0	5,0
4	15	29,8	3,5	38,5	4,0	60,0	5,6	69,0	5,9
5	20	28,5	3,7	37,2	5,0	58,7	6,0	68,0	6,4
6	25	31,0	4,0	39,5	4,6	61,0	6,0	70,0	5,5
7	30	30,5	3,4	39,0	4,0	60,5	4,4	69,2	3,0
8	35	31,8	3,9	40,5	4,4	62,0	5,8	70,6	6,4
9	40	32,4	2,9	40,7	4,8	62,0	4,0	71,2	4,4
\bar{p} , г/см ²		30,6		39,1		60,9		70,0	
σ_p , г/см ²		1,09		0,98		1,03		0,92	
\bar{q} , см ³ /с			3,3		4,3		5,1		5,3
σ_q , см ³ /с			0,64		0,42		0,75		1,0

Проведённые дополнительные эксперименты при малых начальных давлениях показали, что расход через перфорационные отверстия линейно зависит от давления, а с увеличением давления свыше 30 см ($p/\gamma = 30$ см), зависит от квадратного корня $\sqrt{p/\gamma}$. На рисунке 2 показано изменение расхода через отверстия в зависимости от напора в сечении. Пунктирными линиями обведены двухсигмовые интервалы рассеивания q .

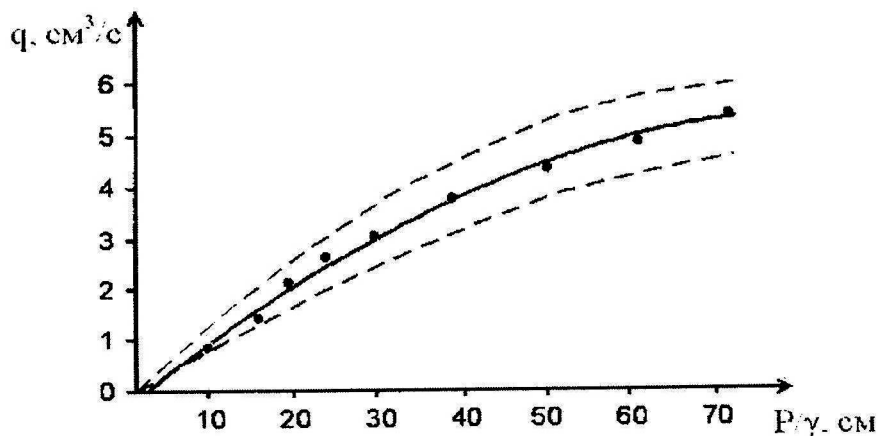


Рисунок 2 — Изменение расхода через отверстие диаметром 2 мм в зависимости от давления

На рисунке видно, что расход через отверстие в начале растёт линейно, а далее по кривой вида $q = f(\sqrt{p/\gamma})$.

Были выполнены эксперименты по определению изменения расхода $Q_{\text{нач}}$ (начальный расход) в зависимости от перепада давления на концах трубки, конечного расхода $Q_{\text{кон}}$ (транзитный расход) от перепада давления. С увеличением перепада давления начальный и конечный расходы изменялись нелинейно. С увеличением диаметра перфорации при одном и том же перепаде $Q_{\text{кон}}$ и $Q_{\text{нач}}$ возрастали.

Интерес представляют экспериментальные данные по исследованию суммарного оттока по всей длине перфорированной трубы от перепада давления на концах трубки. Результаты экспериментов приведены в таблице 3.

Таблица 3 — Изменение суммарного расхода через перфорационные отверстия в зависимости от перепада давления

Перепад давления, г/см ²	5	10	15	20	25	30
Расход Q , см ³ /с, \varnothing 1 мм	6	18	22	28	30	32
Расход Q , см ³ /с, \varnothing 2 мм	25	50	55	60	71	72

Видно, что расход растёт с увеличением диаметра при одном и том же перепаде в 2,5–3,0 раза. Зависимость Q от Δp имеет также параболический вид, что не противоречит результатам, представленным ранее (рис. 2).

Таким образом, полученные результаты подтвердили предлагаемые в работах В.С. Генкина, В.В. Дильмана, А.А. Воловика, А.Д. Ренкина и др. [8–12, 16, 17] расчётные модели по принудительному вдуву и оттоку в пористых трубах при высоких давлениях. Однако при малых скоростях (при малых перепадах давления) между расходом и давлением существует линейная зависимость $q = \alpha \cdot \Delta p$.

Литература:

1. Мирзаджанзаде А.Х. Вопросы гидродинамики вязких и вязкопластичных жидкостей в нефтедобыче. – Баку : Азернефтнешр, 1959. – 409 с.
2. Мирзаджанзаде А.Х., Караев А.К., Мовсумов А.А. К определению гидравлических сопротивлений при движении глинистых растворов в трубе с проницаемой стенкой / Доклады АН СССР. – 1968. – Т. 178. – № 1. – С. 63–64.
3. Алиев Р.Т. К определению гидравлических сопротивлений при движении глинистых растворов в трубе с проницаемыми стенками // Сборник научных трудов ВНИИБТ. – 1969. – С. 42–48.
4. Мовсумов А.А., Мамаджанов У.Д., Гасанов Г.Т., Алиев Р.Т. Экспериментальное исследование гидравлических сопротивлений при движении утяжелённого глинистого раствора в кольцевом пространстве с проницаемой стенкой // Известия АН Узб. ССР. – 1970. – № 2. – С. 60–63.
5. Мовсумов А.А. Гидродинамические основы совершенствования проводки глубоких скважин. – М. : Недра, 1976. – 192 с.
6. Арутюнян А.С. Исследование и разработка технологических решений по управлению фильтрационными потоками в прискважинной зоне горизонтальных скважин : дисс. ... канд. техн. наук. – Краснодар, 2004. – 102 с.
7. Шиллер Л. Движение жидкостей в трубах. – М.-Л. : Объединённое научно-техническое издательство НКТП СССР, 1936. – 232 с.
8. Назаров А.С., Дильман В.В., Сергеев С.П. Распределение потоков в перфорированных каналах с проницаемым торцом // Инженерно-физический журнал. – 1981. – Т. 41. – № 6. – С. 1009–1015.
9. Генкин В.С., Дильман В.В., Сергеев С.П. Распределение газового потока в канале с проницаемыми стенками. – М. : ВНИИОЭНГ, серия «Газовое дело», 1972. – № 7. – С. 10–13.
10. Воловик А.А., Крапивин А.М., Михайлов В.С., Покаднюк Г.И., Чибашов Ю.П. Экспериментально-теоретическое исследование распределения потока в пористом канале // Инженерно-физический журнал. – 1979. – Т. 36. – № 4. – С. 80–85.
11. Ренкин А.Д. Экспериментальное определение коэффициента истечения из канала через перфорированные стенки // Инженерно-физический журнал. – 1982. – Т. 53. – № 1. – С. 54–57.
12. Ерошенко В.М., Зайчик Л.И., Климов А.А., Кондратьев В.И., Першуков В.А. Влияние вдува и отсоса на характеристики вязкого подслоя в турбулентном потоке // Инженерно-физический журнал. – 1983. – Т. 55. – № 2. – С. 209–212.
13. Рабинович Н.Р. Определение влияния проницаемости стенок скважины на гидравлические сопротивления // Нефтяное хозяйство. – 1983. – № 7. – С. 17–20.
14. Террил Р.М. Полностью развитое течение в кольцевом канале // Прикладная механика. – 1967. – Т. 34. – № 1. – С. 112–113.
15. Коченов И.С., Ромаданов В.Л. Коэффициент сопротивления при течении жидкости в трубе с оттоком через пористую стенку // Инженерно-физический журнал. – 1959. – Т. 2. – № 4. – С. 35–37.
16. Олсон Р.М., Эккерт Е.Р. Экспериментальное исследование турбулентного течения в пористой круглой среде // Прикладная механика. – 1996. – Т. 3. – № 1. – С. 7–20.
17. Ерошенко В.М. Гидродинамика и теплообмен на проницаемых поверхностях / В.М. Ерошенко, Л.И. Зайчик; Ред. А.А. Жукаускас; Научно-исследовательский энергетический институт имени Г.М. Кржижановского. – М. : Наука, 1984. – 273 с.
18. Вартумян Г.Т., Гилаев Р.Г., Кошелев А.Т. и др. Гидродинамические особенности горизонтальных скважин и трещин гидроразрыва / Г.Т. Вартумян, Р.Г. Гилаев, А.Т. Кошелев, А.В. Гнездов, С.В. Смык // Научно-технический журнал «Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море». – М. : ВНИИОЭНГ, 2009. – № 8. – С. 15–18.
19. Слепцов А.В. Разработка и исследование технологии управления фильтрационными потоками при эксплуатации горизонтальных нагнетательных скважин : Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Краснодар, 2006. – 25 с.
20. Шевелев Ф.А. Исследование основных гидравлических закономерностей турбулентного движения в трубах. – М. : Госстройиздат, 1953. – 208 с.

References:

1. Mirzadzhanzade A.Kh. Questions of hydrodynamics of viscous and viscoplastic liquids in oil production. – Baku : Azerneftneshr, 1959. – 409 p.
2. Mirzadzhanzade A.Kh., Karayev A.K., Movsumov A.A. To determination of hydraulic resistance at the movement of clay solutions in a pipe with a permeable wall / Reports of Academy of Sciences of the USSR. – 1968. – V. 178. – No. 1. – P. 63–64.
3. Aliyev R.T. To determination of hydraulic resistance at the movement of clay solutions in a pipe with permeable walls // the Collection of scientific works of VNIIBT. – 1969. – P. 42–48.
4. Movsumov A.A., Mamadzhanov U.D., Gasanov G.T., Aliyev R.T. A pilot study of hydraulic resistance at the movement of the weighted clay solution in ring space with a permeable wall // News of AN of Uzb. Soviet Socialist Republic. – 1970. – No. 2. – P. 60–63.
5. Movsumov A.A. Hydrodynamic bases of improvement of conducting of deep wells. – M. : Nedra, 1976. – 192 p.
6. Arutyunyan A.S. Research and development of technological decisions on management of filtrational streams in a priskvazhinny zone of horizontal wells : yew. ... Cand. Tech. Sci. – Krasnodar, 2004. – 102 p.
7. Schiller L. The movement of liquids in pipes. – M.-L. : NKTP USSR integrated scientific and technical publishing house, 1936. – 232 p.
8. Nazarov A.S., Dilman V.V., Sergeyev S.P. Distribution of streams in the punched channels with a permeable end face // the Engineering and physical magazine. – 1981. – V. 41. – No. 6. – P. 1009–1015.
9. Genkin V.S., Dilman V.V., Sergeyev S.P. Distribution of a gas stream in the channel with permeable walls. – M. : VNIIOENG, Gas Business series, 1972. – No. 7. – P. 10–13.
10. Bugloss A.A., Krapivin A.M., Mikhaylov B.C., Pokadnyuk G.I., Chibashov Yu.P. Experimental and theoretical research of distribution of a stream in the porous channel // the Engineering and physical magazine. – 1979. – T. 36. – No. 4. – P. 80–85.
11. Renkin A.D. Experimental determination of coefficient of the expiration from the channel through the punched walls // the Engineering and physical magazine. – 1982. – V. 53. – No. 1. – P. 54–57.
12. Eroshenko V.M., Hare L.I., Klimov A.A., Kondratyev V.I., Pershukov V.A. Influence of a vduv and suction on characteristics of a viscous underlayer in a turbulent stream // the Engineering and physical magazine. – 1983. – V. 55. – No. 2. – P. 209–212.
13. Rabinovich N.R. Definition of influence of permeability of walls of a well on hydraulic resistance // Oil economy. – 1983. – No. 7. – P. 17–20.
14. Terril P.M. Completely developed current in the ring channel // Applied mechanics. – 1967. – V. 34. – No. 1. – P. 112–113.
15. Kochenov I.S., Romadanov V.L. Koeffitsiyent's of resistance at a current of liquid in a pipe with outflow through a porous wall // the Engineering and physical magazine. – 1959. – V. 2. – No. 4. – P. 35–37.
16. Olson P.M., Ekkert E.R. A pilot study of turbulent flow in the porous round environment // Applied mechanics. – 1996. – V. 3. – No. 1. – P. 7–20.
17. Eroshenko V.M. Gidrodinamik and a heatmass exchange on permeable surfaces / V.M. Eroshenko, L.I. Zaychik; Edition A.A. Zhukauskas; Research power institute of G.M. Krzhizhanovsky. – M. : Science, 1984. – 273 p.
18. Vartumyan G.T., Gilayev R.G., Koshelev A.T., etc. Hydrodynamic features of horizontal wells and cracks of hydraulic fracturing / G.T. Vartumyan, R.G. Gilayev, A.T. Koshelev, A.V. Gnezdov, S.V. Smyk // Scientific and technical magazine «Construction of Oil and Gas Wells by Land and by Sea». – M. : VNIIOENG, 2009. – No. 8. – P. 15–18.
19. Stepcov A.V. Development and research of technology of management of filtrational streams at operation of horizontal delivery wells : Avtoref. yew. ... Cand. Tech. Sci. – Krasnodar, 2006. – 25 p.
20. Shevelyov F.A. Research of the main hydraulic regularities of a whirl in pipes. – M. : State Stroyizdat, 1953. – 208 p.