

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ
Кафедра радиоэлектроники

М.Н. ОВЧИННИКОВ, Е.А. МАРФИН

**РАСЧЕТЫ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЛАСТОВ ПО
ДАНЫМ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЛАСТОВ НЕСТАЦИОНАРНЫМИ
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ.
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ – СБОРНИК ЗАДАЧ**

Казань – 2024

УДК 532.5
БК 22.2536 22.311

*Принято на заседании учебно-методической комиссии ИФ
Протокол № 07 от 06 марта 2024 года*

Рецензенты:

доктор технических наук,
зав. лаб. подземной гидродинамики
ФИЦ КазНЦ РАН, профессор **М.Х.Н. Хайруллин**;
доктор физико-математических наук,
заведующий кафедрой математических методов в геологии КФУ,
профессор **М.Г. Храмченков**

Овчинников М.Н., Марфин Е.А.

Расчеты фильтрационных параметров пластов по данным исследований пластов нестационарными гидродинамическими методами. Учебно-методическое пособие – сборник задач /
М.Н. Овчинников, Е.А. Марфин– Казань: Казан. ун-т, 2024. – 50 с.

В данном учебном пособии рассматриваются гидродинамические волновые методы воздействия на флюидонасыщенные пористые и трещиновато-пористые пласты с целью определения их фильтрационных параметров, таких как гидропроводность и пьезопроводность. Данное пособие предназначено для студентов физико-математических и технических специальностей, желающих освоить гидроволновые методы исследования и имеющих базовые знания об уравнениях математической физики, специальных функциях и гидродинамике. Изложение ведется преимущественно в рамках терминологии радиофизического представления о волновых процессах.

© Овчинников М.Н., Марфин Е.А., 2024

© Казанский университет, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Список обозначений	4
Введение	5
П.1. Метод кривых восстановления давления (КВД) для вертикальных скважин	6
П.2. Метод Хорнера	8
П.3. Гидропрослушивание межскважинное импульсное	10
П.4. Фильтрационные волны давления (ФВД)	11
П.5. Фильтрационные волны давления. Вариант самопрослушивания	23
П.6. Фильтрационные волны давления. Вариант межскважинного прослушивания	23
П.7. КВД с послепритоком	24
П.8. КВД для трещиновато-пористого пласта. Без послепритока	26
П.9. КВД для трещиновато-пористого пласта с послепритоком	30
П.10. ФВД для трещиновато-пористого пласта	32
I. Built up Test	34
II. Horner procedure	35
III. Interwell	37
IV. Multiple pulse test	38
V. Built up Test. Afterflow	40
VI. Built up Test. Fracture porous media	43
VII. Built up Test in fracture-porous media. Afterflow	46
VIII. Multiple pulse test in fracture-porous media	48
Список использованных источников	50

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

P, p – давление, переменное давление

$P_{пл}, P_{pl}$ – пластовое давление

$P_c = P_c(t)$ – переменное давление на забое скважины

δP – изменение давления

P_c, P_s – амплитуда давления на возмущающей скважине

P_r – амплитуда давления в реагирующей скважине

Q_0 – постоянный дебит

$q, q(t)$ – переменный дебит

Q_c, Q_s – амплитуда дебита на возмущающей скважине

r – расстояние от оси скважины

R – расстояние между скважинами

t – время

k – проницаемость

h – толщина пласта

μ – вязкость жидкости

β – коэффициент упругости

r_c, r_w – (приведенный) радиус скважины

T – период колебаний (дебита скважины)

T_0 – время работы скважины до остановки

$\tau, \tau_1, \tau_2, \tau^* = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 + \tau_2}$ – постоянная размерности времени

ω – круговая частота

δ – разность фаз между дебитом и давлением на возмущающей скважине

Δ – разность фаз между дебитом на возмущающей и давлением на реагирующей скважине

$\gamma \approx 1.781$ – постоянная Эйлера

$\chi = k/\mu\beta$ – коэффициент пьезопроводности

χ_1 – пьезопроводность трещин

$\chi^* = \chi_1 \frac{\tau_1}{\tau_1 + \tau_2}$ – комбинированная пьезопроводность для трещиновато-

пористых сред

$\varepsilon = kh/\mu$ – гидропроводность

ε_1 – гидропроводность трещин

ФПП – фильтрационные параметры пласта

ВВЕДЕНИЕ

Теоретические основы подземной гидродинамики, описания гидродинамических экспериментов и общие методы решения задач нестационарной фильтрации рассматриваются в учебных пособиях, учебниках, соответствующих курсах лекций и монографиях [1-3], в том числе с участием авторов данного пособия [4-6]. Данное пособие носит оригинальный характер и содержит разнообразные конкретные задачи, используемые при чтении дисциплин по нестационарным методам исследования пластов волновыми и импульсными методами в подземной гидродинамике и предназначено для студентов и магистрантов института физики и института геологии и нефтегазовых технологий, включая слушателей англоязычных программ института геологии и нефтегазовых технологий.

П.1. Метод кривых восстановления давления (КВД) для вертикальных скважин

Уравнение пьезопроводности

$$\frac{\partial P(r,t)}{\partial t} = \chi \Delta P(r,t). \quad (1)$$

Решение для КВД

$$P(r_c, t) = \frac{Q_0}{4\pi\varepsilon} \left(\ln t + \ln \frac{2.25\chi}{r_c^2} \right). \quad (2)$$

Математический комментарий.

В ряде задач определение ФПП осуществляется после сведения исходных экспериментальных данных к уравнению прямой

$$y = ax + b. \quad (3)$$

Как определить параметры a и b ?

Выберем две произвольные точки на прямой с координатами (x_1, y_1) и (x_2, y_2) .

Тогда параметры a и b можно сосчитать как

$$a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \quad b = \frac{y_1 x_2 - y_2 x_1}{x_2 - x_1}. \quad (4)$$

Определить: гидропроводность ε и параметр χ/r_c^2 .

Рекомендуется решать задачу в системе СИ, имея в виду, что в сутках 86400 секунд и $1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}$.

Выбираем две точки:

$$x_1 = \ln t_1, y_1 = \delta P_1, x_2 = \ln t_2, y_2 = \delta P_2. \quad (5)$$

Рассчитываем

$$\varepsilon = \frac{Q_0(\ln t_2 - \ln t_1)}{4\pi(\delta P_2 - \delta P_1)}, \quad (6)$$

$$\frac{\chi}{r_c^2} = \frac{\gamma}{4} \exp\left(\frac{\delta P_1 \ln t_2 - \delta P_2 \ln t_1}{\delta P_2 - \delta P_1}\right). \quad (7)$$

Задание 1-1.

Вариант А								
$Q_0 = 100 \text{ м}^3/\text{сутки}$								
$t, \text{ с}$	$\ln t$	$\delta P, \text{ МПа}$	$t, \text{ с}$	$\ln t$	$\delta P, \text{ МПа}$	$t, \text{ с}$	$\ln t$	$\delta P, \text{ МПа}$
300	5,704	4,802	3600	8,189	5,946	6900	8,839	6,246
600	6,397	5,121	3900	8,269	5,983	7200	8,882	6,265
900	6,802	5,308	4200	8,343	6,017	7500	8,923	6,284
1200	7,090	5,440	4500	8,412	6,049	7800	8,962	6,302
1500	7,313	5,543	4800	8,476	6,079	8100	9,000	6,319
1800	7,496	5,627	5100	8,537	6,106	8400	9,036	6,336
2100	7,650	5,698	5400	8,594	6,133	8700	9,071	6,352
2400	7,783	5,759	5700	8,648	6,158	9000	9,105	6,368
2700	7,901	5,814	6000	8,700	6,181	9300	9,138	6,383
3000	8,006	5,862	6300	8,748	6,204	9600	9,170	6,398
3300	8,102	5,906	6600	8,795	6,225	9900	9,200	6,412

Задание 1-2.

Вариант Б								
$Q_0 = 82 \text{ м}^3/\text{сутки}$								
$t, \text{ с}$	$\ln t$	$\delta P, \text{ МПа}$	$t, \text{ с}$	$\ln t$	$\delta P, \text{ МПа}$	$t, \text{ с}$	$\ln t$	$\delta P, \text{ МПа}$
300	5,704	1,646	3600	8,189	2,021	6900	8,839	2,120
600	6,397	1,751	3900	8,269	2,033	7200	8,882	2,126
900	6,802	1,812	4200	8,343	2,045	7500	8,923	2,132
1200	7,090	1,855	4500	8,412	2,055	7800	8,962	2,138
1500	7,313	1,889	4800	8,476	2,065	8100	9,000	2,144
1800	7,496	1,917	5100	8,537	2,074	8400	9,036	2,149
2100	7,650	1,940	5400	8,594	2,083	8700	9,071	2,155
2400	7,783	1,960	5700	8,648	2,091	9000	9,105	2,160
2700	7,901	1,978	6000	8,700	2,098	9300	9,138	2,165
3000	8,006	1,994	6300	8,748	2,106	9600	9,170	2,169
3300	8,102	2,008	6600	8,795	2,113	9900	9,200	2,174

П.2. Метод Хорнера

Решение

$$P(t) = P_{\text{пл}} + \frac{Q_0 \mu}{4\pi k h} \ln \left(\frac{t}{T_0 + t} \right). \quad (8)$$

Определить: гидропроводность ε и пластовое давление $P_{\text{пл}}$.

Выбираем две точки по времени и соответствующие значения давления:

$$t_1, t_2 \text{ и } P_1, P_2$$

Рассчитываем

$$\varepsilon = \frac{Q_0 \mu}{4\pi(P_2 - P_1)} \left[\ln \frac{T_0 + t_1}{t_1} - \ln \frac{T_0 + t_2}{t_2} \right] \quad (9)$$

$$P_{\text{пл}} = P_1 + (P_2 - P_1) \frac{\ln \frac{T_0 + t_1}{t_1}}{\ln \frac{T_0 + t_1}{t_1} - \ln \frac{T_0 + t_2}{t_2}} \quad (10)$$

Задание 2-1.

Вариант А			$T_0=7200$ с					
$Q_0 = 100$ м ³ /сутки								
t , с	$\ln((T_0+t)/t)$	P , МПа	t , с	$\ln((T_0+t)/t)$	P , МПа	t , с	$\ln((T_0+t)/t)$	P , МПа
300	3,219	15,518	3300	1,157	16,467	6300	0,762	16,649
600	2,565	15,819	3600	1,099	16,494	6600	0,738	16,66
900	2,197	15,988	3900	1,046	16,518	6900	0,715	16,671
1200	1,946	16,104	4200	0,999	16,54	7200	0,693	16,681
1500	1,758	16,19	4500	0,956	16,56	7500	0,673	16,69
1800	1,609	16,259	4800	0,916	16,578	7800	0,654	16,699
2100	1,488	16,315	5100	0,88	16,595	8100	0,636	16,707
2400	1,386	16,362	5400	0,847	16,61	8400	0,619	16,715
2700	1,299	16,402	5700	0,817	16,624	8700	0,603	16,722
3000	1,224	16,436	6000	0,788	16,637	9000	0,588	16,729

Задание 2-2.

Вариант Б			$T_0=7200$ с					
$Q_0 = 100$ м ³ /сутки								
t , с	$\ln((T_0+t)/t)$	P , МПа	t , с	$\ln((T_0+t)/t)$	P , МПа	t , с	$\ln((T_0+t)/t)$	P , МПа
300	3,219	13,294	3300	1,157	15,667	6300	0,762	16,123
600	2,565	14,047	3600	1,099	15,735	6600	0,738	16,151
900	2,197	14,47	3900	1,046	15,796	6900	0,715	16,177
1200	1,946	14,76	4200	0,999	15,85	7200	0,693	16,202
1500	1,758	14,976	4500	0,956	15,9	7500	0,673	16,225
1800	1,609	15,147	4800	0,916	15,945	7800	0,654	16,247
2100	1,488	15,287	5100	0,88	15,986	8100	0,636	16,268
2400	1,386	15,404	5400	0,847	16,025	8400	0,619	16,287
2700	1,299	15,504	5700	0,817	16,06	8700	0,603	16,306
3000	1,224	15,591	6000	0,788	16,092	9000	0,588	16,323

П.3. Гидропрослушивание межскважинное импульсное

Требуется определить гидропроводность ε и пьезопроводность χ в межскважинном пространстве.

Решение:

$$\chi = \frac{R^2 T_0}{4 t_{\max} (t_{\max} - T_0) \ln \left(\frac{t_{\max}}{t_{\max} - T_0} \right)}, \quad (11)$$

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{4 \pi \delta P_{\max}} \ln \left(\frac{t_{\max}}{t_{\max} - T_0} \right) \quad (12)$$

при условии

$$t_{\max} > T_0. \quad (13)$$

Задание 3-1.

$Q_0=1000 \text{ см}^3/\text{с}, R=200 \text{ м}, T_0=10000 \text{ с}$	
$t, \text{ с}$	$\delta P, \text{ кПа}$
0	0
2000	2
10000	40
20000	82
30000	74
40000	54
50000	44
60000	38
70000	30
80000	26
90000	23
100000	20

Задание 3-2.

$Q_0=1050 \text{ см}^3/\text{с}, R=190 \text{ м}, T_0=9900 \text{ с}$	
$t, \text{ с}$	$\delta P, \text{ кПа}$
0	0
2000	2,4
10000	48,0
20000	98,4
30000	88,8
40000	64,8
50000	52,8
60000	45,6
70000	36,0
80000	31,2
90000	27,6
100000	24,0

Здесь P_{max} и t_{max} – максимальное изменение давления на реагирующей скважине и время, ему соответствующее.

П.4. Фильтрационные волны давления (ФВД)

Расчет параметров

$$\varepsilon = \frac{Q_c}{8P_c \sin \delta}, \quad (14)$$

$$\frac{\chi}{r_c^2} = \left(\frac{\gamma}{2}\right)^2 \omega \exp\left(\frac{\pi}{2 \tan \delta}\right), \quad (15)$$

$$\varepsilon = \frac{Q_c}{2^{7/4} \pi^{1/2} P_c (\Delta - \pi/8)^{1/2}}, \quad (16)$$

$$\chi = \frac{\omega R^2}{2(\Delta - \pi/8)^2}, \quad (17)$$

$$r_c = \sqrt{\chi / \frac{\chi}{r_c^2}}, \quad (18)$$

$$X_c = r_c \sqrt{\omega/\chi}, \quad (19)$$

$$X_r = R \sqrt{\omega/\chi} \quad (20)$$

при условии

$$X_c = r_c \sqrt{\omega/\chi} \ll 1, \quad (21)$$

$$X_r = R \sqrt{\omega/\chi} \gg 1, \quad (22)$$

$$\omega = 2\pi / T. \quad (23)$$

Задание 4-1.

Вариант А		R=420 м						
t, с	q, см ³ /с	P _c , атм	P _r , атм		t, с	q, см ³ /с	P _c , атм	P _r , атм
0	80	-5	-1,73		3600	335	8	-1,93
600	123	-3	-1,77		4200	376	10	-1,95
1200	166	-1	-1,81		4800	416	12	-1,97
1800	209	2	-1,84		5400	455	14	-1,98
2400	252	4	-1,88		6000	494	17	-1,99
3000	294	6	-1,9		6600	531	19	-2

t, c	$q, cm^3/c$	P_c, atm	P_r, atm		t, c	$q, cm^3/c$	P_c, atm	P_r, atm
7200	568	21	-2		25800	927	49	-0,44
7800	603	23	-2		26400	909	48	-0,36
8400	637	24	-1,99		27000	890	48	-0,27
9000	670	26	-1,98		27600	870	47	-0,19
9600	702	28	-1,97		28200	847	46	-0,1
10200	732	30	-1,95		28800	823	46	-0,01
10800	761	32	-1,93		29400	798	45	0,08
11400	789	33	-1,91		30000	771	44	0,16
12000	815	35	-1,88		30600	742	43	0,25
12600	839	36	-1,85		31200	712	41	0,34
13200	862	38	-1,82		31800	681	40	0,42
13800	884	39	-1,78		32400	648	39	0,51
14400	903	41	-1,74		33000	615	37	0,59
15000	921	42	-1,69		33600	580	36	0,67
15600	937	43	-1,64		34200	543	34	0,75
16200	952	44	-1,59		34800	506	33	0,84
16800	964	45	-1,54		35400	468	31	0,91
17400	975	46	-1,48		36000	429	29	0,99
18000	984	47	-1,42		36600	389	27	1,07
18600	990	47	-1,36		37200	349	26	1,14
19200	996	48	-1,29		37800	308	24	1,21
19800	999	49	-1,23		38400	266	22	1,28
20400	1000	49	-1,16		39000	224	20	1,34
21000	999	49	-1,08		39600	181	18	1,41
21600	997	50	-1,01		40200	138	16	1,47
22200	992	50	-0,93		40800	94	14	1,52
22800	986	50	-0,86		41400	51	11	1,58
23400	978	50	-0,78		42000	7	9	1,63
24000	968	50	-0,69		42600	-36	7	1,68
24600	956	50	-0,61		43200	-80	5	1,73
25200	942	49	-0,53		43800	-123	3	1,77

t, c	$q, cm^3/c$	P_c, atm	P_r, atm		t, c	$q, cm^3/c$	P_c, atm	P_r, atm
44400	-166	1	1,81		63000	-999	-49	1,23
45000	-209	-2	1,84		63600	-1000	-49	1,16
45600	-252	-4	1,88		64200	-999	-49	1,08
46200	-294	-6	1,9		64800	-997	-50	1,01
46800	-335	-8	1,93		65400	-992	-50	0,93
47400	-376	-10	1,95		66000	-986	-50	0,86
48000	-416	-12	1,97		66600	-978	-50	0,78
48600	-455	-14	1,98		67200	-968	-50	0,69
49200	-494	-17	1,99		67800	-956	-50	0,61
49800	-531	-19	2		68400	-942	-49	0,53
50400	-568	-21	2		69000	-927	-49	0,44
51000	-603	-23	2		69600	-909	-48	0,36
51600	-637	-24	1,99		70200	-890	-48	0,27
52200	-670	-26	1,98		70800	-870	-47	0,19
52800	-702	-28	1,97		71400	-847	-46	0,1
53400	-732	-30	1,95		72000	-823	-46	0,01
54000	-761	-32	1,93		72600	-798	-45	-0,08
54600	-789	-33	1,91		73200	-771	-44	-0,16
55200	-815	-35	1,88		73800	-742	-43	-0,25
55800	-839	-36	1,85		74400	-712	-41	-0,34
56400	-862	-38	1,82		75000	-681	-40	-0,42
57000	-884	-39	1,78		75600	-648	-39	-0,51
57600	-903	-41	1,74		76200	-615	-37	-0,59
58200	-921	-42	1,69		76800	-580	-36	-0,67
58800	-937	-43	1,64		77400	-543	-34	-0,75
59400	-952	-44	1,59		78000	-506	-33	-0,84
60000	-964	-45	1,54		78600	-468	-31	-0,91
60600	-975	-46	1,48		79200	-429	-29	-0,99
61200	-984	-47	1,42		79800	-389	-27	-1,07
61800	-990	-47	1,36		80400	-349	-26	-1,14
62400	-996	-48	1,29		81000	-308	-24	-1,21

t, c	$q, cm^3/c$	P_c, atm	P_r, atm		t, c	$q, cm^3/c$	P_c, atm	P_r, atm
81600	-266	-22	-1,28		100200	884	39	-1,78
82200	-224	-20	-1,34		100800	903	41	-1,74
82800	-181	-18	-1,41		101400	921	42	-1,69
83400	-138	-16	-1,47		102000	937	43	-1,64
84000	-94	-14	-1,52		102600	952	44	-1,59
84600	-51	-11	-1,58		103200	964	45	-1,54
85200	-7	-9	-1,63		103800	975	46	-1,48
85800	36	-7	-1,68		104400	984	47	-1,42
86400	80	-5	-1,73		105000	990	47	-1,36
87000	123	-3	-1,77		105600	996	48	-1,29
87600	166	-1	-1,81		106200	999	49	-1,23
88200	209	2	-1,84		106800	1000	49	-1,16
88800	252	4	-1,88		107400	999	49	-1,08
89400	294	6	-1,9		108000	997	50	-1,01
90000	335	8	-1,93		108600	992	50	-0,93
90600	376	10	-1,95		109200	986	50	-0,86
91200	416	12	-1,97		109800	978	50	-0,78
91800	455	14	-1,98		110400	968	50	-0,69
92400	494	17	-1,99		111000	956	50	-0,61
93000	531	19	-2		111600	942	49	-0,53
93600	568	21	-2		112200	927	49	-0,44
94200	603	23	-2		112800	909	48	-0,36
94800	637	24	-1,99		113400	890	48	-0,27
95400	670	26	-1,98		114000	870	47	-0,19
96000	702	28	-1,97		114600	847	46	-0,1
96600	732	30	-1,95		115200	823	46	-0,01
97200	761	32	-1,93		115800	798	45	0,08
97800	789	33	-1,91		116400	771	44	0,16
98400	815	35	-1,88		117000	742	43	0,25
99000	839	36	-1,85		117600	712	41	0,34
99600	862	38	-1,82		118200	681	40	0,42

t, c	$q, cm^3/c$	P_c, atm	P_r, atm		t, c	$q, cm^3/c$	P_c, atm	P_r, atm
118800	648	39	0,51		137400	-603	-23	2
119400	615	37	0,59		138000	-637	-24	1,99
120000	580	36	0,67		138600	-670	-26	1,98
120600	543	34	0,75		139200	-702	-28	1,97
121200	506	33	0,84		139800	-732	-30	1,95
121800	468	31	0,91		140400	-761	-32	1,93
122400	429	29	0,99		141000	-789	-33	1,91
123000	389	27	1,07		141600	-815	-35	1,88
123600	349	26	1,14		142200	-839	-36	1,85
124200	308	24	1,21		142800	-862	-38	1,82
124800	266	22	1,28		143400	-884	-39	1,78
125400	224	20	1,34		144000	-903	-41	1,74
126000	181	18	1,41		144600	-921	-42	1,69
126600	138	16	1,47		145200	-937	-43	1,64
127200	94	14	1,52		145800	-952	-44	1,59
127800	51	11	1,58		146400	-964	-45	1,54
128400	7	9	1,63		147000	-975	-46	1,48
129000	-36	7	1,68		147600	-984	-47	1,42
129600	-80	5	1,73		148200	-990	-47	1,36
130200	-123	3	1,77		148800	-996	-48	1,29
130800	-166	1	1,81		149400	-999	-49	1,23
131400	-209	-2	1,84		150000	-1000	-49	1,16
132000	-252	-4	1,88		150600	-999	-49	1,08
132600	-294	-6	1,9		151200	-997	-50	1,01
133200	-335	-8	1,93		151800	-992	-50	0,93
133800	-376	-10	1,95		152400	-986	-50	0,86
134400	-416	-12	1,97		153000	-978	-50	0,78
135000	-455	-14	1,98		153600	-968	-50	0,69
135600	-494	-17	1,99		154200	-956	-50	0,61
136200	-531	-19	2		154800	-942	-49	0,53
136800	-568	-21	2		155400	-927	-49	0,44

t, c	$q, cm^3/c$	P_c, atm	P_r, atm		t, c	$q, cm^3/c$	P_c, atm	P_r, atm
156000	-909	-48	0,36		174000	166	-1	-1,81
156600	-890	-48	0,27		174600	209	2	-1,84
157200	-870	-47	0,19		175200	252	4	-1,88
157800	-847	-46	0,1		175800	294	6	-1,9
158400	-823	-46	0,01		176400	335	8	-1,93
159000	-798	-45	-0,08		177000	376	10	-1,95
159600	-771	-44	-0,16		177600	416	12	-1,97
160200	-742	-43	-0,25		178200	455	14	-1,98
160800	-712	-41	-0,34		178800	494	17	-1,99
161400	-681	-40	-0,42		179400	531	19	-2
162000	-648	-39	-0,51		180000	568	21	-2
162600	-615	-37	-0,59		180600	603	23	-2
163200	-580	-36	-0,67		181200	637	24	-1,99
163800	-543	-34	-0,75		181800	670	26	-1,98
164400	-506	-33	-0,84		182400	702	28	-1,97
165000	-468	-31	-0,91		183000	732	30	-1,95
165600	-429	-29	-0,99		183600	761	32	-1,93
166200	-389	-27	-1,07		184200	789	33	-1,91
166800	-349	-26	-1,14		184800	815	35	-1,88
167400	-308	-24	-1,21		185400	839	36	-1,85
168000	-266	-22	-1,28		186000	862	38	-1,82
168600	-224	-20	-1,34		186600	884	39	-1,78
169200	-181	-18	-1,41		187200	903	41	-1,74
169800	-138	-16	-1,47		187800	921	42	-1,69
170400	-94	-14	-1,52		188400	937	43	-1,64
171000	-51	-11	-1,58		189000	952	44	-1,59
171600	-7	-9	-1,63		189600	964	45	-1,54
172200	36	-7	-1,68		190200	975	46	-1,48
172800	80	-5	-1,73		190800	984	47	-1,42
173400	123	-3	-1,77		191400	990	47	-1,36
173400	123	-3	-1,77		192000	996	48	-1,29

Задание 4-2.

Вариант Б		R=420 м							
t, c	$q, cm^3/c$	$P_c, атм$	$P_r, атм$		t, c	$q, cm^3/c$	$P_c, атм$	$P_r, атм$	
0	99	-4	-2,59		18000	1084	37	-2,13	
600	147	-2	-2,65		18600	1091	38	-2,04	
1200	194	-1	-2,71		19200	1096	39	-1,94	
1800	241	1	-2,77		19800	1099	39	-1,84	
2400	288	3	-2,81		20400	1100	39	-1,73	
3000	334	5	-2,86		21000	1099	40	-1,63	
3600	379	6	-2,89		21600	1096	40	-1,51	
4200	424	8	-2,93		22200	1090	40	-1,4	
4800	468	10	-2,95		22800	1083	40	-1,28	
5400	511	12	-2,97		23400	1073	40	-1,16	
6000	553	13	-2,99		24000	1062	40	-1,04	
6600	594	15	-3		24600	1048	40	-0,92	
7200	633	16	-3		25200	1033	39	-0,79	
7800	672	18	-3		25800	1015	39	-0,67	
8400	709	20	-2,99		26400	996	39	-0,54	
9000	745	21	-2,98		27000	974	38	-0,41	
9600	780	23	-2,96		27600	951	38	-0,28	
10200	813	24	-2,93		28200	926	37	-0,15	
10800	845	25	-2,9		28800	899	36	-0,02	
11400	875	27	-2,87		29400	871	36	0,11	
12000	903	28	-2,82		30000	841	35	0,24	
12600	929	29	-2,78		30600	809	34	0,37	
13200	954	30	-2,73		31200	776	33	0,5	
13800	977	31	-2,67		31800	741	32	0,63	
14400	998	32	-2,61		32400	705	31	0,76	
15000	1017	33	-2,54		33000	667	30	0,89	
15600	1035	34	-2,47		33600	628	29	1,01	
16200	1050	35	-2,39		34200	588	27	1,13	
16800	1063	36	-2,31		34800	547	26	1,25	
17400	1075	37	-2,22		35400	505	25	1,37	

t, c	$q, cm^3/c$	P_c, atm	P_r, atm		t, c	$q, cm^3/c$	P_c, atm	P_r, atm
36000	462	23	1,49		55800	-929	-29	2,78
36600	418	22	1,6		56400	-954	-30	2,73
37200	373	20	1,71		57000	-977	-31	2,67
37800	328	19	1,81		57600	-998	-32	2,61
38400	282	17	1,92		58200	-1017	-33	2,54
39000	235	16	2,01		58800	-1035	-34	2,47
39600	188	14	2,11		59400	-1050	-35	2,39
40200	141	13	2,2		60000	-1063	-36	2,31
40800	93	11	2,29		60600	-1075	-37	2,22
41400	45	9	2,37		61200	-1084	-37	2,13
42000	-3	7	2,45		61800	-1091	-38	2,04
42600	-51	6	2,52		62400	-1096	-39	1,94
43200	-99	4	2,59		63000	-1099	-39	1,84
43800	-147	2	2,65		63600	-1100	-39	1,73
44400	-194	1	2,71		64200	-1099	-40	1,63
45000	-241	-1	2,77		64800	-1096	-40	1,51
45600	-288	-3	2,81		65400	-1090	-40	1,4
46200	-334	-5	2,86		66000	-1083	-40	1,28
46800	-379	-6	2,89		66600	-1073	-40	1,16
47400	-424	-8	2,93		67200	-1062	-40	1,04
48000	-468	-10	2,95		67800	-1048	-40	0,92
48600	-511	-12	2,97		68400	-1033	-39	0,79
49200	-553	-13	2,99		69000	-1015	-39	0,67
49800	-594	-15	3		69600	-996	-39	0,54
50400	-633	-16	3		70200	-974	-38	0,41
51000	-672	-18	3		70800	-951	-38	0,28
51600	-709	-20	2,99		71400	-926	-37	0,15
52200	-745	-21	2,98		72000	-899	-36	0,02
52800	-780	-23	2,96		72600	-871	-36	-0,11
53400	-813	-24	2,93		73200	-841	-35	-0,24
54000	-845	-25	2,9		73800	-809	-34	-0,37
54600	-875	-27	2,87		74400	-776	-33	-0,5
55200	-903	-28	2,82		75000	-741	-32	-0,63

t, c	$q, cm^3/c$	P_c, atm	P_r, atm		t, c	$q, cm^3/c$	P_c, atm	P_r, atm
75600	-705	-31	-0,76		95400	745	21	-2,98
76200	-667	-30	-0,89		96000	780	23	-2,96
76800	-628	-29	-1,01		96600	813	24	-2,93
77400	-588	-27	-1,13		97200	845	25	-2,9
78000	-547	-26	-1,25		97800	875	27	-2,87
78600	-505	-25	-1,37		98400	903	28	-2,82
79200	-462	-23	-1,49		99000	929	29	-2,78
79800	-418	-22	-1,6		99600	954	30	-2,73
80400	-373	-20	-1,71		100200	977	31	-2,67
81000	-328	-19	-1,81		100800	998	32	-2,61
81600	-282	-17	-1,92		101400	1017	33	-2,54
82200	-235	-16	-2,01		102000	1035	34	-2,47
82800	-188	-14	-2,11		102600	1050	35	-2,39
83400	-141	-13	-2,2		103200	1063	36	-2,31
84000	-93	-11	-2,29		103800	1075	37	-2,22
84600	-45	-9	-2,37		104400	1084	37	-2,13
85200	3	-7	-2,45		105000	1091	38	-2,04
85800	51	-6	-2,52		105600	1096	39	-1,94
86400	99	-4	-2,59		106200	1099	39	-1,84
87000	147	-2	-2,65		106800	1100	39	-1,73
87600	194	-1	-2,71		107400	1099	40	-1,63
88200	241	1	-2,77		108000	1096	40	-1,51
88800	288	3	-2,81		108600	1090	40	-1,4
89400	334	5	-2,86		109200	1083	40	-1,28
90000	379	6	-2,89		109800	1073	40	-1,16
90600	424	8	-2,93		110400	1062	40	-1,04
91200	468	10	-2,95		111000	1048	40	-0,92
91800	511	12	-2,97		111600	1033	39	-0,79
92400	553	13	-2,99		112200	1015	39	-0,67
93000	594	15	-3		112800	996	39	-0,54
93600	633	16	-3		113400	974	38	-0,41
94200	672	18	-3		114000	951	38	-0,28
94800	709	20	-2,99		114600	926	37	-0,15

t, c	$q, cm^3/c$	P_c, atm	P_r, atm		t, c	$q, cm^3/c$	P_c, atm	P_r, atm
115200	899	36	-0,02		135000	-511	-12	2,97
115800	871	36	0,11		135600	-553	-13	2,99
116400	841	35	0,24		136200	-594	-15	3
117000	809	34	0,37		136800	-633	-16	3
117600	776	33	0,5		137400	-672	-18	3
118200	741	32	0,63		138000	-709	-20	2,99
118800	705	31	0,76		138600	-745	-21	2,98
119400	667	30	0,89		139200	-780	-23	2,96
120000	628	29	1,01		139800	-813	-24	2,93
120600	588	27	1,13		140400	-845	-25	2,9
121200	547	26	1,25		141000	-875	-27	2,87
121800	505	25	1,37		141600	-903	-28	2,82
122400	462	23	1,49		142200	-929	-29	2,78
123000	418	22	1,6		142800	-954	-30	2,73
123600	373	20	1,71		143400	-977	-31	2,67
124200	328	19	1,81		144000	-998	-32	2,61
124800	282	17	1,92		144600	-1017	-33	2,54
125400	235	16	2,01		145200	-1035	-34	2,47
126000	188	14	2,11		145800	-1050	-35	2,39
126600	141	13	2,2		146400	-1063	-36	2,31
127200	93	11	2,29		147000	-1075	-37	2,22
127800	45	9	2,37		147600	-1084	-37	2,13
128400	-3	7	2,45		148200	-1091	-38	2,04
129000	-51	6	2,52		148800	-1096	-39	1,94
129600	-99	4	2,59		149400	-1099	-39	1,84
130200	-147	2	2,65		150000	-1100	-39	1,73
130800	-194	1	2,71		150600	-1099	-40	1,63
131400	-241	-1	2,77		151200	-1096	-40	1,51
132000	-288	-3	2,81		151800	-1090	-40	1,4
132600	-334	-5	2,86		152400	-1083	-40	1,28
133200	-379	-6	2,89		153000	-1073	-40	1,16
133800	-424	-8	2,93		153600	-1062	-40	1,04
134400	-468	-10	2,95		154200	-1048	-40	0,92

t, c	$q, cm^3/c$	P_c, atm	P_r, atm		t, c	$q, cm^3/c$	P_c, atm	P_r, atm
154800	-1033	-39	0,79		175200	288	3	-2,81
155400	-1015	-39	0,67		175800	334	5	-2,86
156000	-996	-39	0,54		176400	379	6	-2,89
156600	-974	-38	0,41		177000	424	8	-2,93
157200	-951	-38	0,28		177600	468	10	-2,95
157800	-926	-37	0,15		178200	511	12	-2,97
158400	-899	-36	0,02		178800	553	13	-2,99
159000	-871	-36	-0,11		179400	594	15	-3
159600	-841	-35	-0,24		180000	633	16	-3
160200	-809	-34	-0,37		180600	672	18	-3
160800	-776	-33	-0,5		181200	709	20	-2,99
161400	-741	-32	-0,63		181800	745	21	-2,98
162000	-705	-31	-0,76		182400	780	23	-2,96
162600	-667	-30	-0,89		183000	813	24	-2,93
163200	-628	-29	-1,01		183600	845	25	-2,9
163800	-588	-27	-1,13		184200	875	27	-2,87
164400	-547	-26	-1,25		184800	903	28	-2,82
165000	-505	-25	-1,37		185400	929	29	-2,78
165600	-462	-23	-1,49		186000	954	30	-2,73
166200	-418	-22	-1,6		186600	977	31	-2,67
166800	-373	-20	-1,71		187200	998	32	-2,61
167400	-328	-19	-1,81		187800	1017	33	-2,54
168000	-282	-17	-1,92		188400	1035	34	-2,47
168600	-235	-16	-2,01		189000	1050	35	-2,39
169200	-188	-14	-2,11		189600	1063	36	-2,31
169800	-141	-13	-2,2		190200	1075	37	-2,22
170400	-93	-11	-2,29		190800	1084	37	-2,13
171000	-45	-9	-2,37		191400	1091	38	-2,04
171600	3	-7	-2,45		192000	1096	39	-1,94
172200	51	-6	-2,52		192600	1099	39	-1,84
172800	99	-4	-2,59		193200	1100	39	-1,73
173400	147	-2	-2,65		193800	1099	40	-1,63
174000	194	-1	-2,71		194400	1096	40	-1,51
174600	241	1	-2,77		195000	1090	40	-1,4

П.5. Фильтрационные волны давления. Вариант самопрослушивания

$$\varepsilon = \frac{Q_c}{8P_c \sin \delta}, \quad (24)$$

$$\frac{\chi}{r_c^2} = \left(\frac{\gamma}{2}\right)^2 \omega \exp\left(\frac{\pi}{2 \tan \delta}\right), \quad (25)$$

$$\omega = 2\pi / T. \quad (26)$$

Задание 5

Вариант	P_c , МПа	Q_c , м ³ /сут	δ , радиан	T , сек
1	40	100	0,15	86400
2	42	105	0,151	86400

П.6. Фильтрационные волны давления. Вариант межскважинного прослушивания

$$\varepsilon = \frac{Q_c}{2^{7/4} \pi^{1/2} P_r (\Delta - \pi / 8)^{1/2}}, \quad (27)$$

$$\chi = \frac{\omega R^2}{2(\Delta - \pi / 8)^2} \quad (28)$$

при условии

$$X_r = R\sqrt{\omega/\chi} \gg 1, \quad (29)$$

$$\omega = 2\pi / T. \quad (30)$$

Задание 6.

Вариант	P_c , МПа	Q_c , м ³ /сут	P_r , МПа	δ , радиан	Δ , радиан	T , сек	R , м
1	40	100	1,5	0,15	2.4	86400	450
2	42	105	1,55	0,151	2.5	86400	450

П.7. КВД с послепритоком

Приближенное решение:

$$\frac{P(r_c, t)}{Q_0 - q(t)} \approx \frac{1}{4\pi\varepsilon} \left(\ln t + \ln \frac{2.25\chi}{r_c^2} \right). \quad (31)$$

Выбираем две точки:

$$x_1 = \ln t_1, y_1 = \frac{\delta P_1(r_c, t)}{Q_0 - q(t_1)} \quad \text{и} \quad x_2 = \ln t_2, y_2 = \frac{\delta P_2(r_c, t)}{Q_0 - q(t_2)}. \quad (32)$$

Рассчитываем

$$a = \frac{1}{4\pi\varepsilon}, \quad (33)$$

$$b = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \ln \frac{2.25\chi}{r_c^2}, \quad (34)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{4\pi a}, \quad (35)$$

$$\frac{\chi}{r_c^2} = \frac{1}{2.25} \exp\left(\frac{b}{a}\right). \quad (36)$$

Задание 7-1.

t, c	$\ln t$	$Q_0, m^3/c$	$q(t), m^3/c$	$\delta P, MPa$
0		2,00E-03	2,00E-03	
100	4,61	2,00E-03	1,90E-03	0,078
200	5,30	2,00E-03	1,81E-03	0,162
300	5,70	2,00E-03	1,72E-03	0,246
400	5,99	2,00E-03	1,64E-03	0,329
500	6,21	2,00E-03	1,56E-03	0,409
600	6,40	2,00E-03	1,48E-03	0,487
700	6,55	2,00E-03	1,41E-03	0,562
800	6,68	2,00E-03	1,34E-03	0,635
900	6,80	2,00E-03	1,28E-03	0,704
1000	6,91	2,00E-03	1,21E-03	0,771
1500	7,31	2,00E-03	9,45E-04	1,068
2000	7,60	2,00E-03	7,36E-04	1,309
2500	7,82	2,00E-03	5,73E-04	1,503
3000	8,01	2,00E-03	4,46E-04	1,659
3500	8,16	2,00E-03	3,48E-04	1,784
4000	8,29	2,00E-03	2,71E-04	1,886
4500	8,41	2,00E-03	2,11E-04	1,968
5000	8,52	2,00E-03	1,64E-04	2,035
5500	8,61	2,00E-03	1,28E-04	2,089
6000	8,70	2,00E-03	9,96E-05	2,134
6500	8,78	2,00E-03	7,75E-05	2,171
7000	8,85	2,00E-03	6,04E-05	2,202
7500	8,92	2,00E-03	4,70E-05	2,227
8000	8,99	2,00E-03	3,66E-05	2,249
8500	9,05	2,00E-03	2,85E-05	2,268
9000	9,10	2,00E-03	2,22E-05	2,284
9500	9,16	2,00E-03	1,73E-05	2,299
10000	9,21	2,00E-03	1,35E-05	2,311

Задание 7-2.

t, c	$\ln t$	$Q_0, m^3/c$	$q(t), m^3/c$	$\delta P, MPa$
0		2,50E-03	2,00E-03	
100	4,61	2,50E-03	1,95E-03	0,94
200	5,30	2,50E-03	1,90E-03	1,08
300	5,70	2,50E-03	1,86E-03	1,21
400	5,99	2,50E-03	1,81E-03	1,33
500	6,21	2,50E-03	1,76E-03	1,44
600	6,40	2,50E-03	1,72E-03	1,55
700	6,55	2,50E-03	1,68E-03	1,65
800	6,68	2,50E-03	1,64E-03	1,76
900	6,80	2,50E-03	1,60E-03	1,86
1000	6,91	2,50E-03	1,56E-03	1,95
1500	7,31	2,50E-03	1,37E-03	2,4
2000	7,60	2,50E-03	1,21E-03	2,81
2500	7,82	2,50E-03	1,07E-03	3,17
3000	8,01	2,50E-03	9,45E-04	3,49
3500	8,16	2,50E-03	8,34E-04	3,78
4000	8,29	2,50E-03	7,36E-04	4,04
4500	8,41	2,50E-03	6,49E-04	4,28
5000	8,52	2,50E-03	5,73E-04	4,49
5500	8,61	2,50E-03	5,06E-04	4,67
6000	8,70	2,50E-03	4,46E-05	4,84
6500	8,78	2,50E-03	3,94E-05	4,99
7000	8,85	2,50E-03	3,48E-05	5,13
7500	8,92	2,50E-03	3,07E-04	5,25
8000	8,99	2,50E-03	2,71E-05	5,36
8500	9,05	2,50E-03	2,39E-05	5,45
9000	9,10	2,50E-03	2,11E-05	5,54
9500	9,16	2,50E-03	1,86E-05	5,62
10000	9,21	2,50E-03	1,64E-05	5,7

П.8. КВД для трещиновато-пористого пласта. Без послепритока

Уравнение пьезопроводности

$$\tau^* \frac{\partial^2 p(r,t)}{\partial t^2} + \frac{\partial p(r,t)}{\partial t} = \chi_1 \Delta \left(p(r,t) + \tau_2 \frac{\partial p(r,t)}{\partial t} \right), \quad (37)$$

$$\tau^* = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 + \tau_2}. \quad (38)$$

Здесь τ_1, τ_2 – постоянные размерности времени.

Решение для КВД

$$\frac{P(r_c, t)}{Q_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_1} \ln t + \frac{1}{4\pi\varepsilon_1} \ln \frac{2.25\chi^*}{r_c^2}. \quad (39)$$

Выбираем две точки:

$$x_1 = \ln t_1, y_1 = \frac{\delta P_1(r_c, t)}{Q_0} \text{ и } x_2 = \ln t_2, y_2 = \frac{\delta P_2(r_c, t)}{Q_0}. \quad (40)$$

Рассчитываем параметры для дальней зоны при условии $t_1, t_2 > 15000$ с.

$$a = \frac{1}{4\pi\varepsilon_1}, \quad (41)$$

$$b = \frac{1}{4\pi\varepsilon_1} \ln \frac{2.25\chi^*}{r_c^2}, \quad (42)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{4\pi a}, \quad (43)$$

$$\frac{\chi^*}{r_c^2} = \frac{1}{2.25} \exp\left(\frac{b}{a}\right). \quad (44)$$

Задание 8-1.

$t, \text{с}$	$\ln t$	$Q_0, \text{м}^3/\text{с}$	$\delta P, \text{МПа}$
0		0,0022	0
100	4,605	0,0022	1,8576
200	5,298	0,0022	1,979
300	5,704	0,0022	2,05
400	5,991	0,0022	2,1004
500	6,215	0,0022	2,1395
600	6,397	0,0022	2,1714
700	6,551	0,0022	2,1984
800	6,685	0,0022	2,2218
900	6,802	0,0022	2,2425
1000	6,908	0,0022	2,2609
2000	7,601	0,0022	2,263
3000	8,006	0,0022	2,267
4000	8,294	0,0022	2,272
5000	8,517	0,0022	2,278
6000	8,700	0,0022	2,285
7000	8,854	0,0022	2,29
8000	8,987	0,0022	2,296
9000	9,105	0,0022	2,304
10000	9,210	0,0022	2,3139
15000	9,616	0,0022	2,3849
20000	9,903	0,0022	2,4353
25000	10,127	0,0022	2,4744
30000	10,309	0,0022	2,5063
35000	10,463	0,0022	2,5333
40000	10,597	0,0022	2,5567
45000	10,714	0,0022	2,5774
50000	10,820	0,0022	2,5958
55000	10,915	0,0022	2,6125
60000	11,002	0,0022	2,6278
65000	11,082	0,0022	2,6418
70000	11,156	0,0022	2,6548
75000	11,225	0,0022	2,6668
80000	11,290	0,0022	2,6781
85000	11,350	0,0022	2,6888
90000	11,408	0,0022	2,6988
95000	11,462	0,0022	2,7082
100000	11,513	0,0022	2,7172

Задание 8-2.

t, c	$\ln t$	$Q_0, M^3/c$	$\delta P, MPa$
0		0,0016	0
100	4,605	0,0016	1,867
200	5,298	0,0016	1,995
300	5,704	0,0016	2,069
400	5,991	0,0016	2,123
500	6,215	0,0016	2,164
600	6,397	0,0016	2,198
700	6,551	0,0016	2,226
800	6,685	0,0016	2,251
900	6,802	0,0016	2,272
1000	6,908	0,0016	2,292
2000	7,601	0,0016	2,298
3000	8,006	0,0016	2,305
4000	8,294	0,0016	2,312
5000	8,517	0,0016	2,318
6000	8,700	0,0016	2,322
7000	8,854	0,0016	2,328
8000	8,987	0,0016	2,335
9000	9,105	0,0016	2,24
10000	9,210	0,0016	2,348
15000	9,616	0,0016	2,423
20000	9,903	0,0016	2,476
25000	10,127	0,0016	2,517
30000	10,309	0,0016	2,551
35000	10,463	0,0016	2,579
40000	10,597	0,0016	2,604
45000	10,714	0,0016	2,626
50000	10,820	0,0016	2,645
55000	10,915	0,0016	2,663
60000	11,002	0,0016	2,679
65000	11,082	0,0016	2,694
70000	11,156	0,0016	2,707
75000	11,225	0,0016	2,72
80000	11,290	0,0016	2,732
85000	11,350	0,0016	2,743
90000	11,408	0,0016	2,754
95000	11,462	0,0016	2,764
100000	11,513	0,0016	2,773

П.9. КВД для трещиновато-пористого пласта с послепритоком

Приближенное решение для КВД

$$\frac{P(r_c, t)}{Q_0 - q(t)} \approx \frac{1}{4\pi\varepsilon_1} \ln t + \frac{1}{4\pi\varepsilon_1} \ln \frac{2.25\chi^*}{r_c^2}. \quad (45)$$

Алгоритм:

$$x_1 = \ln t_1, y_1 = \frac{\delta P_1(r_c, t)}{Q_0 - q(t_1)} \text{ и } x_2 = \ln t_2, y_2 = \frac{\delta P_2(r_c, t)}{Q_0 - q(t_2)}. \quad (46)$$

Рассчитываем параметры для дальней зоны при условии $t_1, t_2 > 15000$ с.

$$a = \frac{1}{4\pi\varepsilon_1}, \quad (47)$$

$$b = \frac{1}{4\pi\varepsilon_1} \ln \frac{2.25\chi^*}{r_c^2}, \quad (48)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{4\pi a}, \quad (49)$$

$$\frac{\chi^*}{r_c^2} = \frac{1}{2.25} \exp\left(\frac{b}{a}\right). \quad (50)$$

Задание 9-1.

t, c	$\ln t$	$Q_0, m^3/c$	$q(t), m^3/c$	$\delta P, MPa$
0		0,0024	0,0024	
10	2,303	0,0024	0,002395	0,0051
20	2,996	0,0024	0,00239	0,011
30	3,401	0,0024	0,002386	0,0172
40	3,689	0,0024	0,002381	0,0236
50	3,912	0,0024	0,002376	0,0302
60	4,094	0,0024	0,002371	0,0368
70	4,248	0,0024	0,002367	0,0436
80	4,382	0,0024	0,002362	0,0504
90	4,5	0,0024	0,002357	0,0572
100	4,605	0,0024	0,002352	0,0641
300	5,704	0,0024	0,00226	0,2075
400	5,991	0,0024	0,002215	0,2806
600	6,397	0,0024	0,002129	0,4267
800	6,685	0,0024	0,002045	0,5711
1000	6,908	0,0024	0,001965	0,7127
2000	7,601	0,0024	0,001609	1,3675
4000	8,294	0,0024	0,001078	2,4045
5000	8,517	0,0024	0,000883	2,8047
10000	9,21	0,0024	0,000325	4,0265
20000	9,903	0,0024	4,40E-05	4,7875
30000	10,309	0,0024	5,95E-06	4,9933
40000	10,597	0,0024	8,05E-07	5,0955
50000	10,82	0,0024	1,09E-07	5,168
60000	11,002	0,0024	1,47E-08	5,2262
70000	11,156	0,0024	2,00E-09	5,2753
80000	11,29	0,0024	2,70E-10	5,3178
90000	11,408	0,0024	3,66E-11	5,3552
100000	11,513	0,0024	4,95E-12	5,3888

П.10. ФВД для трещиновато-пористого пласта

Известны параметры:

$$\frac{\chi^*}{r_c^2}, \frac{\chi_1}{r_c^2}, \varepsilon_1, P_c, Q_c, T, \delta. \quad (51)$$

Основные формулы:

$$B = \frac{\chi^*}{\chi_1} = \frac{\tau_1}{\tau_1 + \tau_2}, \quad (52)$$

$$D = \left[\frac{2}{\gamma} \sqrt{\frac{\chi^*}{r_c^2 \omega} \exp\left(-\frac{2\pi\varepsilon \frac{P_c}{Q_c}}{\sqrt{1 + \tan^2(\delta)}}\right)} \right]^2. \quad (53)$$

Определить временные параметры:

$$\tau_1 = \tau_2 \frac{B}{1-B} \text{ и } \tau_2 = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{1-D^2}{B^2-D^2}}. \quad (54)$$

Задание 10-1.

$T, \text{ с}$	3600
$\chi^*/r_c^2, \text{ с}^{-1}$	40
$\chi_1/r_c^2, \text{ с}^{-1}$	50
$\varepsilon_1, \text{ м}^3/(\text{Па} \cdot \text{с})$	3,00E-10
$P_c, \text{ Па}$	3000000
$Q_c, \text{ м}^3/\text{с}$	0,001
$\delta, \text{ радиан}$	0,22
$\omega, \text{ радиан/с}$	0,00174
$\tan(\delta), \text{ радиан}$	0,2236

Задание 10-2.

$T, \text{ с}$	3600
$\chi^*/r_c^2, \text{ с}^{-1}$	45
$\chi_1/r_c^2, \text{ с}^{-1}$	55
$\varepsilon_1, \text{ м}^3/(\text{Па} \cdot \text{с})$	3,20E-10
$P_c, \text{ Па}$	3100000
$Q_c, \text{ м}^3/\text{с}$	0,0011
$\delta, \text{ радиан}$	0,225
$\omega, \text{ радиан/с}$	0,00174
$\tan(\delta), \text{ радиан}$	0,2289

I. Built up Test.

Solution

$$P(r_w, t) = \frac{Q_0}{4\pi\varepsilon} \left(\ln t + \ln \frac{2.25\chi}{r_w^2} \right). \quad (55)$$

We choose 2 points:

$$x_1 = \ln t_1, \quad y_1 = \delta P_1 \quad \text{and} \quad x_2 = \ln t_2, \quad y_2 = \delta P_2 \quad (56)$$

and calculate

$$\varepsilon = \frac{Q_0(\ln t_2 - \ln t_1)}{4\pi(\delta P_2 - \delta P_1)}, \quad (57)$$

$$\frac{\chi}{r_w^2} = \frac{\gamma}{4} \exp \left(\frac{\delta P_1 \ln t_2 - \delta P_2 \ln t_1}{\delta P_2 - \delta P_1} \right). \quad (58)$$

Task I-1.

Variant A								
$Q_0 = 100 \text{ m}^3/\text{day}$								
$t, \text{ s}$	$\ln t$	$\delta P, \text{ MPa}$	$t, \text{ s}$	$\ln t$	$\delta P, \text{ MPa}$	$t, \text{ s}$	$\ln t$	$\delta P, \text{ MPa}$
300	5,704	4,802	3600	8,189	5,946	6900	8,839	6,246
600	6,397	5,121	3900	8,269	5,983	7200	8,882	6,265
900	6,802	5,308	4200	8,343	6,017	7500	8,923	6,284
1200	7,090	5,440	4500	8,412	6,049	7800	8,962	6,302
1500	7,313	5,543	4800	8,476	6,079	8100	9,000	6,319
1800	7,496	5,627	5100	8,537	6,106	8400	9,036	6,336
2100	7,650	5,698	5400	8,594	6,133	8700	9,071	6,352
2400	7,783	5,759	5700	8,648	6,158	9000	9,105	6,368
2700	7,901	5,814	6000	8,700	6,181	9300	9,138	6,383
3000	8,006	5,862	6300	8,748	6,204	9600	9,170	6,398
3300	8,102	5,906	6600	8,795	6,225	9900	9,200	6,412

Task I-2.

Variant B										
$Q_0 = 82 \text{ m}^3/\text{day}$										
$t, \text{ s}$	$\ln t$	$\delta P, \text{ MPa}$		$t, \text{ s}$	$\ln t$	$\delta P, \text{ MPa}$		$t, \text{ s}$	$\ln t$	$\delta P, \text{ MPa}$
300	5,704	1,646		3600	8,189	2,021		6900	8,839	2,120
600	6,397	1,751		3900	8,269	2,033		7200	8,882	2,126
900	6,802	1,812		4200	8,343	2,045		7500	8,923	2,132
1200	7,090	1,855		4500	8,412	2,055		7800	8,962	2,138
1500	7,313	1,889		4800	8,476	2,065		8100	9,000	2,144
1800	7,496	1,917		5100	8,537	2,074		8400	9,036	2,149
2100	7,650	1,940		5400	8,594	2,083		8700	9,071	2,155
2400	7,783	1,960		5700	8,648	2,091		9000	9,105	2,160
2700	7,901	1,978		6000	8,700	2,098		9300	9,138	2,165
3000	8,006	1,994		6300	8,748	2,106		9600	9,170	2,169
3300	8,102	2,008		6600	8,795	2,113		9900	9,200	2,174

II. Horner procedure

Solution

$$P(t) = P_{pl} + \frac{Q_0 \mu}{4\pi kh} \ln \left(\frac{t}{T_0 + t} \right). \quad (59)$$

We choose 2 points

$$t_1, t_2 \text{ and } P_1, P_2,$$

calculate

$$\varepsilon = \frac{Q_0 \mu}{4\pi(P_2 - P_1)} \left[\ln \frac{T_0 + t_1}{t_1} - \ln \frac{T_0 + t_2}{t_2} \right], \quad (60)$$

$$P_{pl} = P_1 + (P_2 - P_1) \frac{\ln \frac{T_0 + t_1}{t_1}}{\ln \frac{T_0 + t_1}{t_1} - \ln \frac{T_0 + t_2}{t_2}}. \quad (61)$$

Task II-1.

Variant A			$T_0=7200$ s					
$Q_0 = 100 \text{ m}^3/\text{day}$								
$t, \text{ s}$	$\ln((T_0+t)/t)$	$P, \text{ MPa}$	$t, \text{ s}$	$\ln((T_0+t)/t)$	$P, \text{ MPa}$	$t, \text{ s}$	$\ln((T_0+t)/t)$	$P, \text{ MPa}$
300	3,219	15,518	3300	1,157	16,467	6300	0,762	16,649
600	2,565	15,819	3600	1,099	16,494	6600	0,738	16,66
900	2,197	15,988	3900	1,046	16,518	6900	0,715	16,671
1200	1,946	16,104	4200	0,999	16,54	7200	0,693	16,681
1500	1,758	16,19	4500	0,956	16,56	7500	0,673	16,69
1800	1,609	16,259	4800	0,916	16,578	7800	0,654	16,699
2100	1,488	16,315	5100	0,88	16,595	8100	0,636	16,707
2400	1,386	16,362	5400	0,847	16,61	8400	0,619	16,715
2700	1,299	16,402	5700	0,817	16,624	8700	0,603	16,722
3000	1,224	16,436	6000	0,788	16,637	9000	0,588	16,729

Task II-2.

Variant B			$T_0=7200$ s					
$Q_0 = 100 \text{ m}^3/\text{day}$								
$t, \text{ s}$	$\ln((T_0+t)/t)$	$P, \text{ MPa}$	$t, \text{ s}$	$\ln((T_0+t)/t)$	$P, \text{ MPa}$	$t, \text{ s}$	$\ln((T_0+t)/t)$	$P, \text{ MPa}$
300	3,219	13,294	3300	1,157	15,667	6300	0,762	16,123
600	2,565	14,047	3600	1,099	15,735	6600	0,738	16,151
900	2,197	14,47	3900	1,046	15,796	6900	0,715	16,177
1200	1,946	14,76	4200	0,999	15,85	7200	0,693	16,202
1500	1,758	14,976	4500	0,956	15,9	7500	0,673	16,225
1800	1,609	15,147	4800	0,916	15,945	7800	0,654	16,247
2100	1,488	15,287	5100	0,88	15,986	8100	0,636	16,268
2400	1,386	15,404	5400	0,847	16,025	8400	0,619	16,287
2700	1,299	15,504	5700	0,817	16,06	8700	0,603	16,306
3000	1,224	15,591	6000	0,788	16,092	9000	0,588	16,323

III. Interwell

Solution

$$\chi = \frac{R^2 T_0}{4 t_{\max} (t_{\max} - T_0) \ln \left(\frac{t_{\max}}{t_{\max} - T_0} \right)}, \quad (62)$$

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{4 \pi \delta P_{\max}} \ln \left(\frac{t_{\max}}{t_{\max} - T_0} \right) \quad (63)$$

under condition

$$t_{\max} > T_0. \quad (64)$$

Task III-1.

$Q_0=1000 \text{ cm}^3/\text{s}, R=200 \text{ m}, T_0=10000 \text{ s}$	
$t, \text{ s}$	$\delta P, \text{ kPa}$
0	0
2000	2
10000	40
20000	82
30000	74
40000	54
50000	44
60000	38
70000	30
80000	26
90000	23
100000	20

Task III-2.

$Q_0=1050 \text{ cm}^3/\text{s}, R=190 \text{ m}, T_0=9900 \text{ s}$	
$t, \text{ s}$	$\delta P, \text{ kPa}$
0	0
2000	2,4
10000	48,0
20000	98,4
30000	88,8
40000	64,8
50000	52,8
60000	45,6
70000	36,0
80000	31,2
90000	27,6
100000	24,0

IV. Multiple pulse test

$$\varepsilon_w = \frac{Q_s}{8P_s \sin \delta}, \quad (65)$$

$$\frac{\chi}{r_w^2} = \left(\frac{\gamma}{2}\right)^2 \omega \exp\left(\frac{\pi}{2 \tan \delta}\right), \quad (66)$$

$$\varepsilon = \frac{Q_s}{2^{7/4} \pi^{1/2} P_r (\Delta - \pi/8)^{1/2}}, \quad (67)$$

$$\chi = \frac{\omega R^2}{2(\Delta - \pi/8)^2}, \quad (68)$$

$$r_w = \sqrt{\chi / \frac{\chi}{r_w^2}}, \quad (69)$$

$$X_w = r_w \sqrt{\omega / \chi}, \quad (70)$$

$$X_r = R \sqrt{\omega / \chi} \quad (71)$$

under conditions

$$X_w = r_w \sqrt{\omega / \chi} \ll 1, \quad (72)$$

$$X_r = R \sqrt{\omega / \chi} \gg 1, \quad (73)$$

$$\omega = 2\pi / T. \quad (74)$$

Task IV-1.

Variant A	
P_s , MPa	40
Q_s , m ³ /day	40
P_r , MPa	1.5
δ , rad	0.12
Δ , rad	2.4
$T=2\pi/\omega$, s	86400
R , m	400

Task IV-2.

Variant B	
P_s , MPa	78
Q_s , m ³ /day	195
P_r , MPa	2.45
δ , rad	0.139
Δ , rad	4.3
$T=2\pi/\omega$, s	86400
R , m	425

V. Built up Test. Afterflow

Solution (approximation)

$$\frac{P(r_w, t)}{Q_0 - q(t)} \approx \frac{1}{4\pi\varepsilon} \left(\ln t + \ln \frac{2.25\chi}{r_w^2} \right). \quad (75)$$

We choose 2 points:

$$x_1 = \ln t_1, y_1 = \frac{\delta P_1(r_w, t)}{Q_0 - q(t_1)} \text{ and } x_2 = \ln t_2, y_2 = \frac{\delta P_2(r_w, t)}{Q_0 - q(t_2)} \quad (76)$$

and calculate

$$a = \frac{1}{4\pi\varepsilon}, \quad (77)$$

$$b = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \ln \frac{2.25\chi}{r_w^2}, \quad (78)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{4\pi a}, \quad (79)$$

$$\frac{\chi}{r_w^2} = \frac{1}{2.25} \exp\left(\frac{b}{a}\right). \quad (80)$$

Task V-1.

t, s	$\ln t$	$Q_0, m^3/s$	$q(t), m^3/s$	$\delta P, MPa$
0		2,00E-03	2,00E-03	
100	4,61	2,00E-03	1,90E-03	0,078
200	5,30	2,00E-03	1,81E-03	0,162
300	5,70	2,00E-03	1,72E-03	0,246
400	5,99	2,00E-03	1,64E-03	0,329
500	6,21	2,00E-03	1,56E-03	0,409
600	6,40	2,00E-03	1,48E-03	0,487
700	6,55	2,00E-03	1,41E-03	0,562
800	6,68	2,00E-03	1,34E-03	0,635
900	6,80	2,00E-03	1,28E-03	0,704
1000	6,91	2,00E-03	1,21E-03	0,771
1500	7,31	2,00E-03	9,45E-04	1,068
2000	7,60	2,00E-03	7,36E-04	1,309
2500	7,82	2,00E-03	5,73E-04	1,503
3000	8,01	2,00E-03	4,46E-04	1,659
3500	8,16	2,00E-03	3,48E-04	1,784
4000	8,29	2,00E-03	2,71E-04	1,886
4500	8,41	2,00E-03	2,11E-04	1,968
5000	8,52	2,00E-03	1,64E-04	2,035
5500	8,61	2,00E-03	1,28E-04	2,089
6000	8,70	2,00E-03	9,96E-05	2,134
6500	8,78	2,00E-03	7,75E-05	2,171
7000	8,85	2,00E-03	6,04E-05	2,202
7500	8,92	2,00E-03	4,70E-05	2,227
8000	8,99	2,00E-03	3,66E-05	2,249
8500	9,05	2,00E-03	2,85E-05	2,268
9000	9,10	2,00E-03	2,22E-05	2,284
9500	9,16	2,00E-03	1,73E-05	2,299
10000	9,21	2,00E-03	1,35E-05	2,311

Task V-2.

t, s	$\ln t$	$Q_0, m^3/s$	$q(t), m^3/s$	$\delta P, MPa$
0		2,50E-03	2,00E-03	
100	4,61	2,50E-03	1,95E-03	0,94
200	5,30	2,50E-03	1,90E-03	1,08
300	5,70	2,50E-03	1,86E-03	1,21
400	5,99	2,50E-03	1,81E-03	1,33
500	6,21	2,50E-03	1,76E-03	1,44
600	6,40	2,50E-03	1,72E-03	1,55
700	6,55	2,50E-03	1,68E-03	1,65
800	6,68	2,50E-03	1,64E-03	1,76
900	6,80	2,50E-03	1,60E-03	1,86
1000	6,91	2,50E-03	1,56E-03	1,95
1500	7,31	2,50E-03	1,37E-03	2,4
2000	7,60	2,50E-03	1,21E-03	2,81
2500	7,82	2,50E-03	1,07E-03	3,17
3000	8,01	2,50E-03	9,45E-04	3,49
3500	8,16	2,50E-03	8,34E-04	3,78
4000	8,29	2,50E-03	7,36E-04	4,04
4500	8,41	2,50E-03	6,49E-04	4,28
5000	8,52	2,50E-03	5,73E-04	4,49
5500	8,61	2,50E-03	5,06E-04	4,67
6000	8,70	2,50E-03	4,46E-05	4,84
6500	8,78	2,50E-03	3,94E-05	4,99
7000	8,85	2,50E-03	3,48E-05	5,13
7500	8,92	2,50E-03	3,07E-04	5,25
8000	8,99	2,50E-03	2,71E-05	5,36
8500	9,05	2,50E-03	2,39E-05	5,45
9000	9,10	2,50E-03	2,11E-05	5,54
9500	9,16	2,50E-03	1,86E-05	5,62
10000	9,21	2,50E-03	1,64E-05	5,7

VI. Built up Test. Fracture porous media

Solution

$$\frac{P(r_w, t)}{Q_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_1} \ln t + \frac{1}{4\pi\varepsilon_1} \ln \frac{2.25\chi^*}{r_w^2}. \quad (81)$$

We choose 2 points:

$$x_1 = \ln t_1, y_1 = \frac{\delta P_1(r_w, t)}{Q_0} \quad \text{and} \quad x_2 = \ln t_2, y_2 = \frac{\delta P_2(r_w, t)}{Q_0} \quad (82)$$

and calculate

$$a = \frac{1}{4\pi\varepsilon_1}, \quad (83)$$

$$b = \frac{1}{4\pi\varepsilon_1} \ln \frac{2.25\chi^*}{r_w^2}, \quad (84)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{4\pi a}, \quad (85)$$

$$\frac{\chi^*}{r_w^2} = \frac{1}{2.25} \exp\left(\frac{b}{a}\right), \quad (86)$$

$$t_1, t_2 > 10000 \text{ s.}$$

Task VI-1.

t, s	$\ln t$	$Q_0, m^3/s$	$\delta P, MPa$
0		0,0022	0
100	4,605	0,0022	1,8576
200	5,298	0,0022	1,979
300	5,704	0,0022	2,05
400	5,991	0,0022	2,1004
500	6,215	0,0022	2,1395
600	6,397	0,0022	2,1714
700	6,551	0,0022	2,1984
800	6,685	0,0022	2,2218
900	6,802	0,0022	2,2425
1000	6,908	0,0022	2,2609
2000	7,601	0,0022	2,263
3000	8,006	0,0022	2,267
4000	8,294	0,0022	2,272
5000	8,517	0,0022	2,278
6000	8,700	0,0022	2,285
7000	8,854	0,0022	2,29
8000	8,987	0,0022	2,296
9000	9,105	0,0022	2,304
10000	9,210	0,0022	2,3139
15000	9,616	0,0022	2,3849
20000	9,903	0,0022	2,4353
25000	10,127	0,0022	2,4744
30000	10,309	0,0022	2,5063
35000	10,463	0,0022	2,5333
40000	10,597	0,0022	2,5567
45000	10,714	0,0022	2,5774
50000	10,820	0,0022	2,5958
55000	10,915	0,0022	2,6125
60000	11,002	0,0022	2,6278
65000	11,082	0,0022	2,6418
70000	11,156	0,0022	2,6548
75000	11,225	0,0022	2,6668
80000	11,290	0,0022	2,6781
85000	11,350	0,0022	2,6888
90000	11,408	0,0022	2,6988
95000	11,462	0,0022	2,7082
100000	11,513	0,0022	2,7172

Task VI-2.

t, s	$\ln t$	$Q_0, m^3/s$	$\delta P, MPa$
0		0,0016	0
100	4,605	0,0016	1,867
200	5,298	0,0016	1,995
300	5,704	0,0016	2,069
400	5,991	0,0016	2,123
500	6,215	0,0016	2,164
600	6,397	0,0016	2,198
700	6,551	0,0016	2,226
800	6,685	0,0016	2,251
900	6,802	0,0016	2,272
1000	6,908	0,0016	2,292
2000	7,601	0,0016	2,298
3000	8,006	0,0016	2,305
4000	8,294	0,0016	2,312
5000	8,517	0,0016	2,318
6000	8,700	0,0016	2,322
7000	8,854	0,0016	2,328
8000	8,987	0,0016	2,335
9000	9,105	0,0016	2,24
10000	9,210	0,0016	2,348
15000	9,616	0,0016	2,423
20000	9,903	0,0016	2,476
25000	10,127	0,0016	2,517
30000	10,309	0,0016	2,551
35000	10,463	0,0016	2,579
40000	10,597	0,0016	2,604
45000	10,714	0,0016	2,626
50000	10,820	0,0016	2,645
55000	10,915	0,0016	2,663
60000	11,002	0,0016	2,679
65000	11,082	0,0016	2,694
70000	11,156	0,0016	2,707
75000	11,225	0,0016	2,72
80000	11,290	0,0016	2,732
85000	11,350	0,0016	2,743
90000	11,408	0,0016	2,754
95000	11,462	0,0016	2,764
100000	11,513	0,0016	2,773

VII. Built up Test in fracture-porous media. Afterflow

Solution

$$\frac{P(r_w, t)}{Q_0 - q(t)} \approx \frac{1}{4\pi\varepsilon_1} \ln t + \frac{1}{4\pi\varepsilon_1} \ln \frac{2.25\chi^*}{r_w^2}. \quad (87)$$

We choose 2 points:

$$x_1 = \ln t_1, y_1 = \frac{\delta P_1(r_w, t)}{Q_0 - q(t_1)} \quad \text{and} \quad x_2 = \ln t_2, y_2 = \frac{\delta P_2(r_w, t)}{Q_0 - q(t_2)} \quad (88)$$

and calculate

$$a = \frac{1}{4\pi\varepsilon_1}, \quad (89)$$

$$b = \frac{1}{4\pi\varepsilon_1} \ln \frac{2.25\chi^*}{r_w^2}, \quad (90)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{4\pi a}, \quad (91)$$

$$\frac{\chi^*}{r_w^2} = \frac{1}{2.25} \exp\left(\frac{b}{a}\right), \quad (92)$$

$$t_1, t_2 > 10000 \text{ s.}$$

Task VII-1.

t, s	$\ln t$	$Q_0, m^3/s$	$q(t), m^3/s$	$\delta P, MPa$
0		0,0024	0,0024	
10	2,303	0,0024	0,002395	0,0051
20	2,996	0,0024	0,00239	0,011
30	3,401	0,0024	0,002386	0,0172
40	3,689	0,0024	0,002381	0,0236
50	3,912	0,0024	0,002376	0,0302
60	4,094	0,0024	0,002371	0,0368
70	4,248	0,0024	0,002367	0,0436
80	4,382	0,0024	0,002362	0,0504
90	4,5	0,0024	0,002357	0,0572
100	4,605	0,0024	0,002352	0,0641
300	5,704	0,0024	0,00226	0,2075
400	5,991	0,0024	0,002215	0,2806
600	6,397	0,0024	0,002129	0,4267
800	6,685	0,0024	0,002045	0,5711
1000	6,908	0,0024	0,001965	0,7127
2000	7,601	0,0024	0,001609	1,3675
4000	8,294	0,0024	0,001078	2,4045
5000	8,517	0,0024	0,000883	2,8047
10000	9,21	0,0024	0,000325	4,0265
20000	9,903	0,0024	4,40E-05	4,7875
30000	10,309	0,0024	5,95E-06	4,9933
40000	10,597	0,0024	8,05E-07	5,0955
50000	10,82	0,0024	1,09E-07	5,168
60000	11,002	0,0024	1,47E-08	5,2262
70000	11,156	0,0024	2,00E-09	5,2753
80000	11,29	0,0024	2,70E-10	5,3178
90000	11,408	0,0024	3,66E-11	5,3552
100000	11,513	0,0024	4,95E-12	5,3888

VIII. Multiple pulse test in fracture-porous media

Parameters

$$\frac{\chi^*}{r_w^2}, \frac{\chi_1}{r_w^2}, \varepsilon_1, P_s, Q_s, T, \delta, \quad (93)$$

$$B = \frac{\chi^*}{\chi_1} = \frac{\tau_1}{\tau_1 + \tau_2}, \quad (94)$$

$$D = \left[\frac{2}{\gamma} \sqrt{\frac{\chi^*}{r_w^2 \omega} \exp\left(-\frac{2\pi\varepsilon \frac{P_s}{Q_s}}{\sqrt{1 + \tan^2(\delta)}}\right)} \right]^2. \quad (95)$$

Calculate:

$$\tau_1 = \tau_2 \frac{B}{1-B} \quad \text{and} \quad \tau_2 = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{1-D^2}{B^2-D^2}}. \quad (96)$$

Task VIII-1.

$T, \text{ s}$	3600
$\chi^*/r_c^2, \text{ s}^{-1}$	40
$\chi_1/r_c^2, \text{ s}^{-1}$	50
$\varepsilon_1, \text{ m}^3/(\text{Pa} \cdot \text{s})$	3,00E-10
$P_s, \text{ Pa}$	3000000
$Q_s, \text{ m}^3/\text{s}$	0,001
$\delta, \text{ rad}$	0,22
$\omega, \text{ rad/s}$	0,001745
$\tan(\delta), \text{ rad}$	0,2236

Task VIII-2.

$T, \text{ s}$	3600
$\chi^*/r_c^2, \text{ s}^{-1}$	45
$\chi_1/r_c^2, \text{ s}^{-1}$	55
$\varepsilon_1, \text{ m}^3/(\text{Pa} \cdot \text{ s})$	3,20E-10
$P_s, \text{ Pa}$	3100000
$Q_s, \text{ m}^3/\text{ s}$	0,0011
$\delta, \text{ rad}$	0,225
$\omega, \text{ rad/s}$	0,001745
$\tan(\delta), \text{ rad}$	0,2289

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Басниев К. С., Кочина И. Н., Максимов В. М. Подземная гидромеханика: Учебник для вузов. М. : Недра, 1993. 416 с.
2. Бузинов С. Н., Умрихин И. Д. Исследование пластов и скважин при упругом режиме фильтрации. М. : Недра, 1964. 273 с.
3. Молокович Ю. М., Марков А. И., Сулейманов Э. И., Фархуллин Р. Г., Куштанова Г. Г., Давлетшин А. А., Хисамов Р. С., Смыков В. В., Никашев О. А. Выработка трещиновато-пористого коллектора нестационарным дренированием. Казань : РегентЪ, 2000. 156 с.
4. Овчинников М. Н. Интерпретация результатов исследований пластов методом фильтрационных волн давления. Казань : Новое знание, 2003. 84 с.
5. Овчинников М. Н., Куштанова Г. Г., Гаврилов А. Г. Средства контроля гидродинамических потоков в скважинных условиях и расчеты фильтрационных параметров пластов: учебно–методическое пособие. Казань : Казанский университет, 2016. 96 с.
6. Овчинников М.Н. Волновые гидродинамические методы исследования фильтрационных свойств флюидонасыщенных пластов. Казань : Казанский университет, 2020. 121 с.