

# РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК: 622.245.59

## ГЕОЛОГО-ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ СКВАЖИН МЕТОДОМ МГНОВЕННОГО СОЗДАНИЯ ВЫСОКИХ ДЕПРЕССИЙ НА ПЛАСТ ПРИ ОСВОЕНИИ СКВАЖИН

© Калинин В.Ф.

АО «Нишне-Волжский научно-исследовательский институт геологии и геофизики», Саратов

DOI:10.24412/1997-8316-2023-112-21-48

**Аннотация:** в статье показано, что развитие упругих деформаций в породе-коллекторе происходит не мгновенно, а по истечении определенного времени, называемого временем запаздывания развития упругих деформаций в породе коллекторе продуктивного пласта при освоении скважин в процессе создания депрессии на пласт. Представлены результаты теоретических, лабораторных и промысловых исследований и технико-технологических решений, свидетельствующих об определенных преимуществах мгновенного создания высоких депрессий на пласт для повышения эффективности декольматации призабойной зоны пласта и повышения продуктивности скважин, особенно при вскрытии коллекторов, характеризующихся высокой величиной коэффициента сжимаемости пор и трещин.

**Ключевые слова:** продуктивность скважин, депрессии на пласт, эффективность освоения скважин.

E-mail: nedra.nvniigg@rusgeology.ru

## GEOLOGICAL AND PHYSICAL BASICS AND TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL FEATURES OF IMPLEMENTING THE POTENTIAL PRODUCTIVITY OF WELLS BY THE METHOD OF INSTANT CREATION OF HIGH DIFFERENTIAL PRESSURE DRAWDOWN IN THE PROCESS OF WELL DEVELOPMENT

© Kalinin V.

JSC «Nizhne-Volzhsky Research Institute of Geology and Geophysics», Saratov

**Abstract:** the article shows that the development of elastic deformations in the reservoir rock does not occur instantly, but after a certain time, called the delay time for the development of elastic deformations in the reservoir rock of the productive formation during the development of wells in the process of creating differential pressure drawdown. The results of theoretical, laboratory and field studies and technical and technological solutions are presented, indicating certain advantages of instant creation of high differential pressure drawdown to increase the efficiency of decolmatation of the bottom-hole zone of the formation and increase the productivity of wells, especially when penetrating the reservoirs characterized by a high compressibility coefficient of pores and especially fractures.

**Key words:** well productivity, differential pressure drawdown, well development efficiency.

В теории и практике освоения скважин отсутствует общность взглядов на выбор оптимальной скорости создания депрессии на пласт, при которой обеспечивается максимальная степень реализации потенциальной продуктивности. Последняя характеризуется величиной параметра ОП (отношение продуктивностей), отражающего разницу между фактическим дебитом скважины и его потенциальным значением. Определяется параметр на основании гидродинамических исследований скважины на стационарных и нестационарных режимах фильтрации [1]:

$$\text{ОП} = \frac{Q_{\text{ф}}}{Q_{\text{п}}} = \frac{K_{\text{ср.}}}{K_{\text{уд.}}}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{ф}}$  и  $Q_{\text{п}}$  – фактический и потенциальный дебит скважины;  $K_{\text{уд.}}$  – проницаемость удаленной зоны пласта, определяется по кривой восстановления давления (КВД) при гидродинамических исследованиях скважины на нестационарных режимах фильтрации;  $K_{\text{ср.}}$  – проницаемость пласта с учетом призабойной зоны с ухудшенной проницаемостью, определяемая по результатам гидродинамических исследований скважины на стационарных режимах фильтрации.

В частности, В.А.Амиян и В.А.Сидоровский [1, 2] считают, что освоение скважин предпочтительнее осуществлять методом плавного создания депрессии на пласт, при котором исключается опасность разрушения коллектора. По мнению других исследователей [3-15], эффективность освоения скважин возрастает по мере роста скорости и величины создаваемой депрессии, а максимальный эффект достигается при мгновенном создании высоких депрессий на пласт, так как улучшается фильтрационная характеристика продуктивных пластов и восстанавливаются первоначальные дебиты скважин после нескольких циклов мгновенного создания депрессий [8, 9].

При плавном создании депрессии очистка призабойной зоны пласта и восстановление ее естественной проницаемости в сква-

жинах, законченных бурением, продолжается длительное время (от нескольких месяцев до года и более) [10-13].

Определенное противоречие в вопросе выбора метода плавного или мгновенного создания депрессии на пласт при освоении скважин связано с недостаточной теоретической изученностью механизма декольматации коллекторов при мгновенном создании высоких депрессий на пласт и отсутствием экспериментальных исследований по изучению степени разрушения зоны кольматации в породе-коллекторе в этих условиях.

При создании различных по величине и скорости депрессий на пласт в призабойной зоне возникают две разные по характеру депрессии [14]. Одна из них, обусловленная разностью пластового и забойного давления, распространяется по насыщающему пласт флюиду со скоростью [15]

$$V = \sqrt{\frac{\pi \alpha}{t}}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент пьезопроводности пласта;  $\pi = 3,14$ ;  $t$  – продолжительность действия депрессии на пласт, и приводит к увеличению эффективного напряжения в пласте, а следовательно к уменьшению его пористости и проницаемости.

Величина радиуса депрессионной воронки, образующейся в пласте при освоении скважины, является переменной, возрастающей по мере увеличения продолжительности действия депрессии на пласт, и определяется соотношением:

$$R_{\text{к}} = \sqrt{\varepsilon' \alpha e t}. \quad (3)$$

Это означает, что в начальный момент вызова притока при непродолжительном времени воздействия депрессии на пласт депрессионная воронка имеет небольшие геометрические размеры, следовательно влияние этой области со сниженной пористостью и проницаемостью на состояние гидродинамической связи пласта со сква-

жиной невелико. Однако по мере возрастания времени действия депрессии на пласт радиус депрессионной воронки увеличивается, а ее влияние на состояние гидродинамической связи пласта со скважиной становится все более значительным.

Другая депрессия распространяется по каркасу породы и обусловлена ростом эффективного напряжения в пласте в процессе развития депрессионной воронки в ПЗП.

Таким образом, в процессе освоения скважины при создании депрессии на пласт в призабойной зоне развиваются два характерных взаимосвязанных процесса – фильтрация пластового флюида в скважину и деформация породы коллектора. При этом степень нарушения гидродинамической связи пласта со скважиной определяется величиной и продолжительностью времени действия депрессии на пласт, коэффициентом сжимаемости пор (трещин) коллектора, величиной его пористости, пластового давления и глубины залегания пласта [3].

Состояние гидродинамической связи пласта со скважиной характеризуется величиной параметра ОП:

$$\text{ОП} = \frac{\beta \ln \frac{R_k}{r_c}}{\ln \frac{r_0}{r_c} + \beta \ln \frac{R_k}{r_0}} = \frac{\ln \frac{R_k}{r_c}}{\frac{1}{\beta_1} \ln \frac{r_1}{r_c} + \frac{1}{\beta_2} \ln \frac{r_2}{r_1} + \dots + \frac{1}{\beta_n} \ln \frac{r_n}{r_{n-1}} + \ln \frac{R_k}{r_0}}, \quad (4)$$

где  $\beta$  – осредненная величина коэффициента восстановления проницаемости коллектора в зоне развития депрессионной воронки;  $R_k, r_0, r_c$  – радиус контура питания пласта, радиус депрессионной воронки пласта и радиус скважины;  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  – коэффициент восстановления проницаемости коллектора в зонах радиусом  $r_1, r_2, \dots, r_n$ .

Одновременно с развитием депрессионной воронки развивается процесс дефор-

мации породы в призабойной зоне пласта, приводящий к снижению пористости и проницаемости коллектора. В связи с этим представляет интерес оценка скорости развития деформационных процессов в зоне развития депрессионной воронки, а также оценка продолжительности воздействия депрессии на пласт, в течение которого не наблюдается резкое снижение проницаемости.

Характерной особенностью деформации коллекторов является наличие времени запаздывания, связанного с проявлением вязкостных свойств твердых тел при их деформации [16]. Упругие деформации пород-коллекторов, по своим свойствам соответствующие телу Гука, являются неустановившимся процессом и строго следуют закону Гука только при условно равновесном состоянии. В неравновесной обстановке пропорциональность между напряжениями и деформациями отсутствует. В этих условиях упругие деформации пород-коллекторов во времени описываются формулой [16]:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} (1 - e^{-\frac{E}{\lambda} t}), \quad (5)$$

где  $\varepsilon$  – деформация тела по истечении времени;  $E$  – модуль Юнга;  $\lambda$  – вязкость твердого тела при сжатии или растяжении;  $e$  – основание натуральных логарифмов;  $\sigma$  – нормальное напряжение;  $t$  – продолжительность времени действия деформирующего напряжения (период времени), по истечении которого определяется величина  $\varepsilon$ .

В формуле (5) отношение  $\lambda/E$  имеет размерность времени и называется временем запаздывания. Под действием постоянного напряжения  $\sigma$  наблюдается увеличение упругих деформаций  $\varepsilon$  породы-коллектора по мере увеличения продолжительности времени её действия. Деформация коллектора и время ее обратимости  $t$  уменьшаются с увеличением модуля Юнга и уменьшением вязкости твердого тела  $\lambda$ . Из представленной формулы (5) также следует, что равновесная деформация теоретически наступает

при  $t \rightarrow \infty$ . Однако, как показывает практика лабораторных, стендовых и промысловых исследований, упругие деформации пород-коллекторов более кратковременны, иногда они наблюдаются в течение нескольких часов или суток [17].

Анализ формулы (5) показывает, что с достаточной для практики точностью оценки величины упругих деформаций (до 0,6%) можно принять величину времени  $t$  наступления равновесной деформации в породе-коллекторе равной или превышающей в 5,0 – 6,0 раз величину времени запаздывания упругих деформаций  $\tau' = \lambda/E$ , т.е. принять  $t \geq (5,0-6,0) \lambda/E$ . Это позволяет точно оценить время запаздывания  $\tau' = \lambda/E$  упругих деформаций пород-коллекторов из соотношения:

$$\tau' = \frac{\lambda}{E} = \frac{t}{(5,0 - 6,0)} = (0,2 - 0,16)t, \quad (6)$$

Продолжительность воздействия депрессии на пласт при освоении скважины должна составлять меньшую величину, чем время запаздывания упругих деформаций породы-коллектора, чтобы предупредить возможное резкое снижение проницаемости коллектора в зоне развития депрессионной воронки. Вместе с тем продолжительность воздействия депрессии на пласт должна быть достаточно большой для достижения интенсивного разрушения зоны кольматации в призабойной части пласта.

Изучение характерных особенностей деформации пород-коллекторов и изменения их физических свойств (пористости и проницаемости) в процессе деформации показало наличие функциональной зависимости между модулем Юнга пород-коллекторов и коэффициентом сжимаемости их пор [16]:

$$E = \frac{3(1-2\nu)}{m\beta_{пор} + \frac{3(1-2\nu_m)(1-m)}{E_m} + \beta_{тв}}, \quad (7)$$

где  $\nu, \nu_m$  – коэффициенты Пуассона породы-коллектора и минерального вещества

породы-коллектора;  $E, E_m$  – модули Юнга породы-коллектора и минерального вещества породы;  $\beta_{пор}, \beta_{тв}$  – коэффициенты сжимаемости пор и твердой фазы породы;  $m$  – пористость породы-коллектора.

Как видно из графика (рис. 1), с уменьшением коэффициента сжимаемости пор  $\beta_{пор}$  породы-коллектора возрастает величина модуля Юнга, снижается степень его деформации и уменьшается время обратимости упругих деформаций. Это позволяет прогнозировать степень снижения проницаемости породы-коллектора в призабойной зоне в зависимости от величины и продолжительности действия депрессии на пласт и физико-механических свойств породы-коллектора.

Поскольку деформация породы-коллектора предопределяет степень снижения его проницаемости, т.е.  $K_1/K_0 = f(\epsilon)$ , а закон изменения степени деформации породы во времени определяется соотношением (5), то и степень изменения проницаемости породы-коллектора во времени под действием увеличивающегося эффективного напряжения в пласте также подчиняется закону изменения деформации породы-коллектора во времени.

На основании исследований В.М. Добрынина [17] нами было получено соотношение, характеризующее зависимость коэффициента восстановления проницаемости породы-коллектора в ПЗП от величины депрессии на пласт, в виде [18]:

$$\beta = \frac{k_2^{P_{эф1}}}{k_1^{P_{эф1}}} = \left( \frac{m_2^{P_{эф1}}}{m_1^{P_{эф1}}} \right)^{2 \frac{3+\alpha}{2+\alpha}}, \quad (8)$$

где  $k_1^{P_{эф1}}, m_1^{P_{эф1}}$  – проницаемость и пористость коллектора в пласте до его вскрытия при эффективном напряжении в пласте  $P_{эф1}$ ;  $k_2^{P_{эф2}}, m_2^{P_{эф2}}$  – проницаемость и пористость коллектора при эффективном напряжении  $P_{эф2}$ , возникающем в пласте при создании депрессии;  $\alpha$  – структурный показатель порового пространства породы-коллектора,

величина которого зависит от коэффициента сжимаемости пор породы  $\beta_{пор}$  и составляет для песков величину 0,25-1,25, а для песчаников соответственно 1.25-1,8;  $\beta$  - степень снижения проницаемости породы-коллектора в ПЗП в зависимости от величины депрессии на пласт.

Результаты выполненных нами исследований на керновом материале по оценке влияния деформации породы-коллектора на снижение её проницаемости и величины параметра ОП, представленные на рис. 2 - 4, свидетельствуют о значительном снижении продуктивности скважин в зависимости от величины депрессии на пласт. А в зависи-

мости от продолжительности действия депрессии на пласт характер изменения коэффициента восстановления проницаемости принимает вид, определяемый соотношением:

$$\beta(t) = \frac{\beta_{0l}(t)}{\beta_{0l}} = \left[ 1 - \left(1 - \frac{\beta_{0l}}{\beta_{0l}}\right) \left(1 - e^{-\frac{E}{\lambda}t}\right) \right]. \quad (9)$$

Снижение проницаемости коллектора под действием возрастающих эффективных напряжений в ПЗП при создании депрессии на пласт приводит, в соответствии с законом развития упругих деформаций в породе, к снижению продуктивности скважины во времени. Степень снижения оценивается

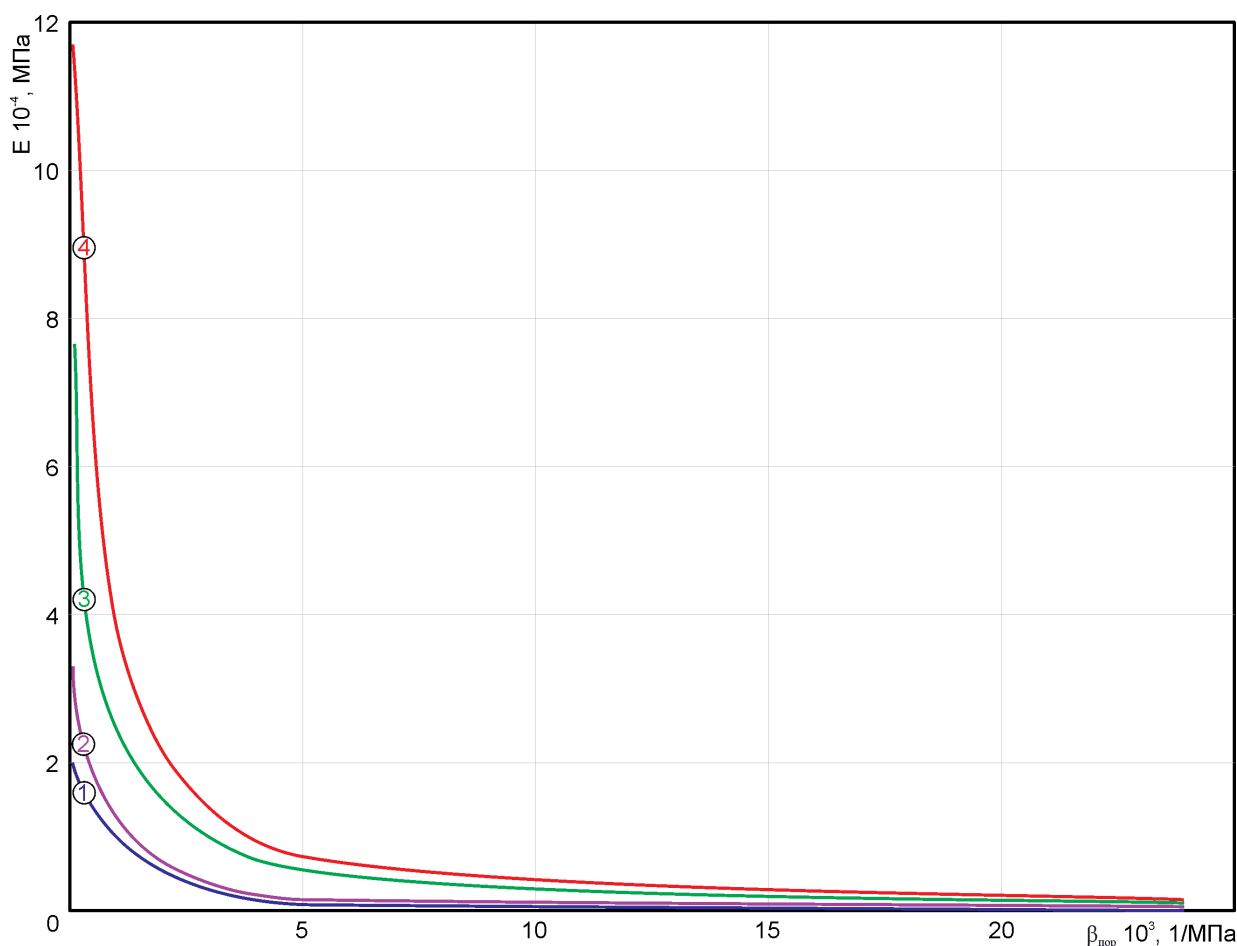


Рис. 1. График зависимости коэффициента сжимаемости пор песчано-глинистых коллекторов от величины его пористости, коэффициента Пуассона и модуля Юнга

1, 2 и 3, 4 при величинах пористости коллектора  $m=20\%$  и  $5\%$ .  
 2, 4 – 1, 3 при величинах коэффициента Пуассона коллектора  $\nu=0,12$  и  $0,25$ ;  
 коэффициент Пуассона минерального вещества породы  $\nu_m=0,07$ ;  
 модуль Юнга минерального вещества породы  $E_m=16,6 \cdot 10^4 МПа$

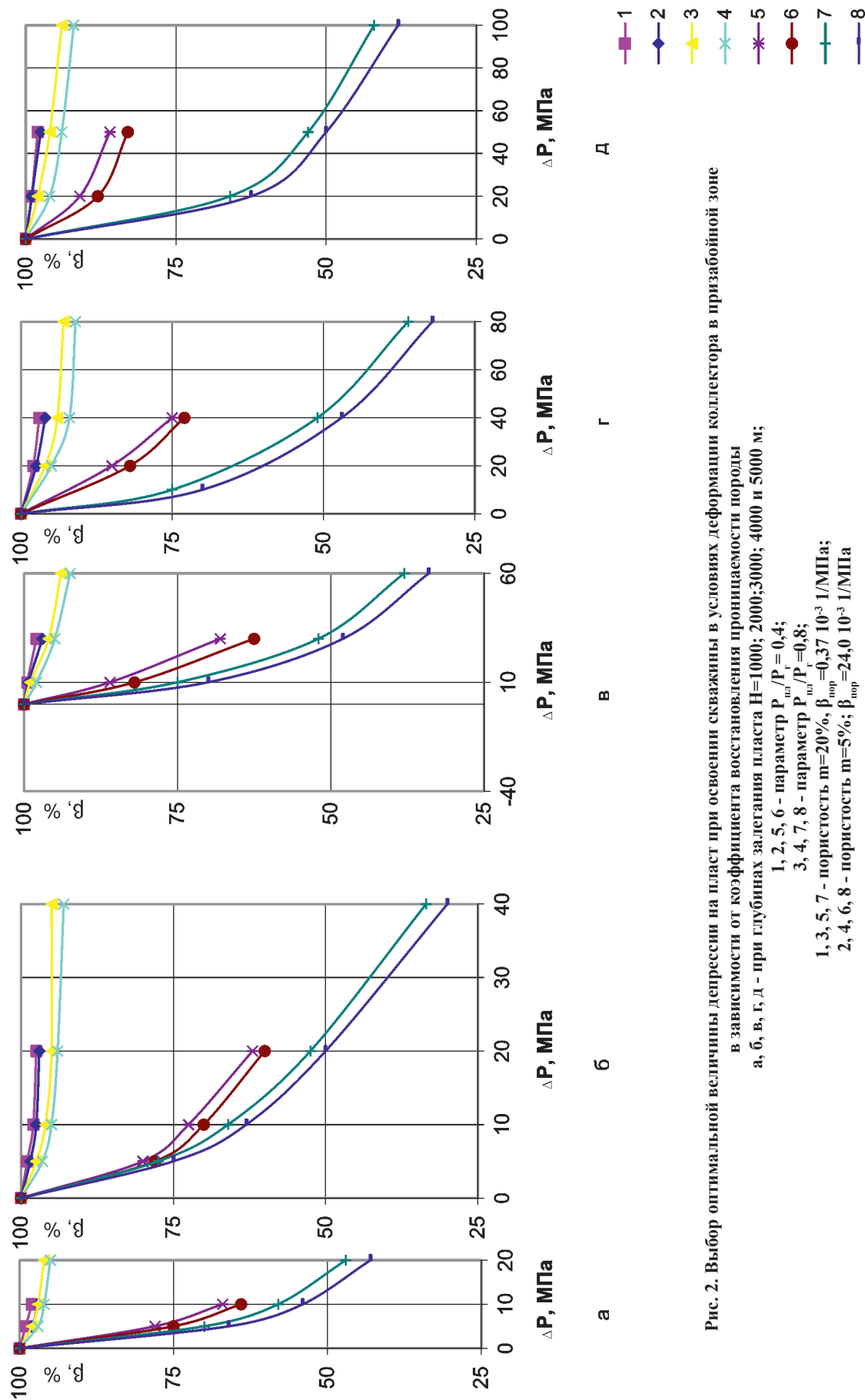


Рис. 2. Выбор оптимальной величины депрессии на пласт при освоении скважины в условиях деформации коллектора в призабойной зоне в зависимости от коэффициента восстановления проницаемости породы

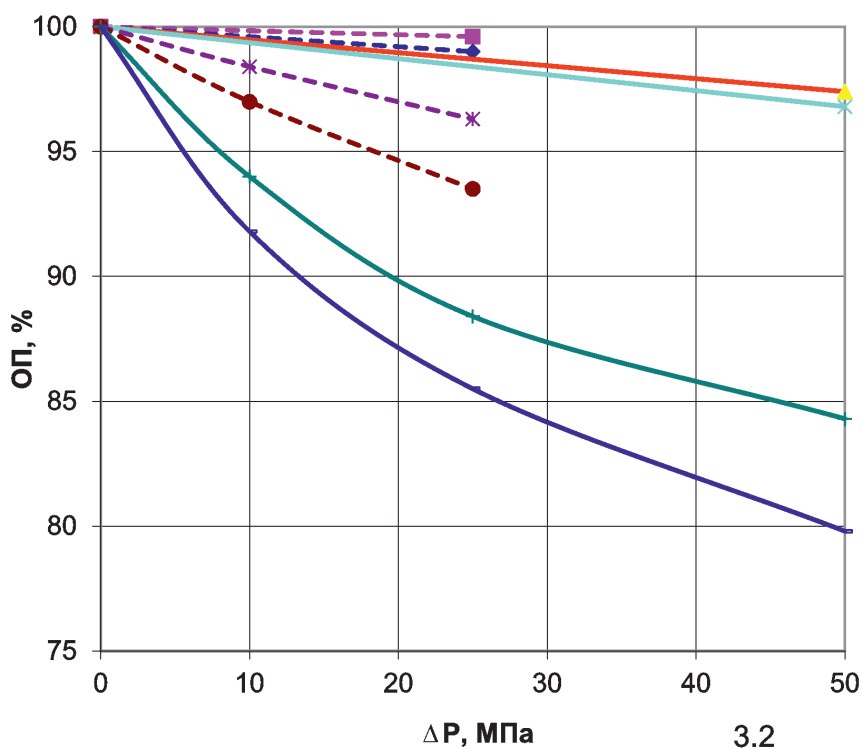
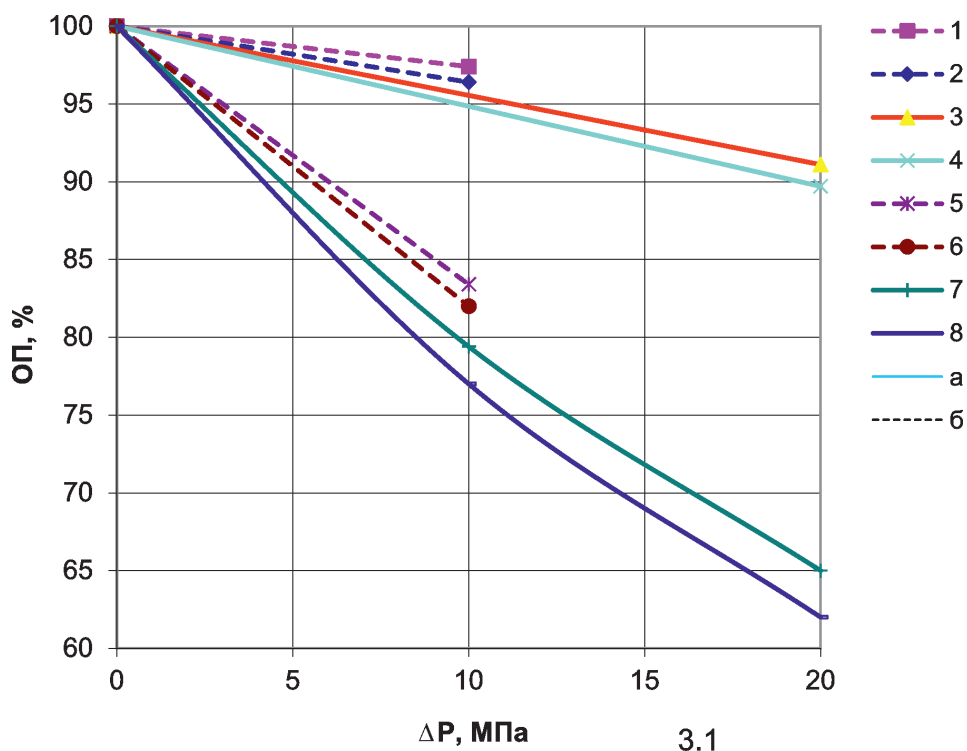


Рис. 3. Влияние величины депрессии на пласт на величину параметра ОП (отношение продуктивностей) скважин для поровых коллекторов.  $\Delta P$  - величина депрессии на пласт, МПа;  $m$  - пористость коллектора, %;  $\beta_{п}$  - коэффициент сжимаемости пор коллектора

а, б – расчетные кривые при величинах параметра  $P_{пл}/P_r=0,8$  и  $P_{пл}/P_r=0,4$ ;  
 1, 3, 5, 7 –  $m=20\%$ ; 2, 4, 6, 8 –  $m=5\%$ ; 1, 2, 3, 4 –  $\beta_{п}=0,37 \cdot 10^{-3} \text{ 1/МПа}$ ; 5, 6, 7, 8 –  $\beta_{п}=24 \cdot 10^{-3} \text{ 1/МПа}$ ;  
 3.1 и 3.2 – глубина залегания пласта  $H=1000 \text{ м}$  и  $H=5000 \text{ м}$



при этом величиной изменения параметра ОП, определяемого соотношением:

$$ОП(t) = \frac{\beta(t) \ln \frac{R_k}{r_c}}{\ln \frac{r_0}{r_c} + \beta(t) \ln \frac{R_k}{r_0}}, \quad (10)$$

где  $\beta(t)$  – величина коэффициента восстановления проницаемости ухудшенной призабойной зоны пласта радиусом  $r_0$  на момент времени  $t$  после создания депрессии на пласт. Учитывая, что в процессе освоения скважины по истечении времени  $t_1$  воздействия депрессии на пласт проницаемость его, вследствие развития упругих деформаций в породе, снижается на определенную

величину, характеризуемую величиной  $\beta_1(t)$ , получим снижение величины параметра ОП до  $ОП_1(t)$  пропорционально величине  $\beta_1(t)$ . Что позволяет, используя зависимости  $\beta_1(t)=f(\Delta P, t)$  и  $ОП(t)=f(\Delta P, t)$  (см. 9,10), получить соотношение, характеризующее снижение продуктивности скважины во времени при её освоении в зависимости от величины действующей депрессии на пласт и физико-механических свойств породы-коллектора, т.е. получить зависимость  $ОП_1(t)=f(\Delta P, t)$ :

$$ОП(t) = \left[ 1 - (1 - ОП_1)(1 - e^{-\frac{E}{\lambda}t}) \right]. \quad (11)$$

Расчеты показывают (рис. 5-8) следующие закономерности:

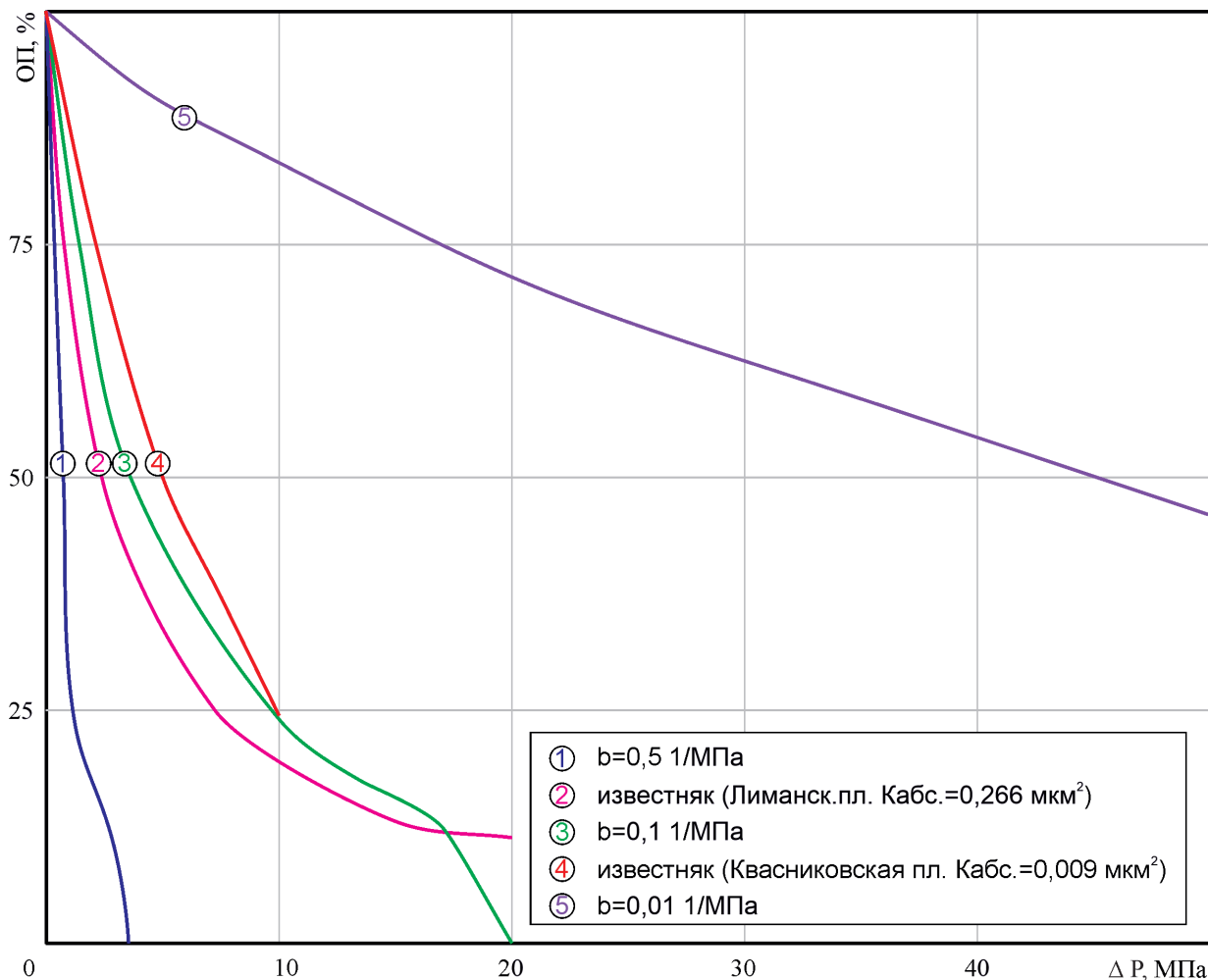


Рис. 4. Влияние величины депрессии на пласт на величину параметра ОП скважины (для трещиноватых коллекторов). 1, 3, 5 и 2, 4 теоретические и экспериментальные данные изменения ОП от коэффициента сжимаемости трещин  $\beta$



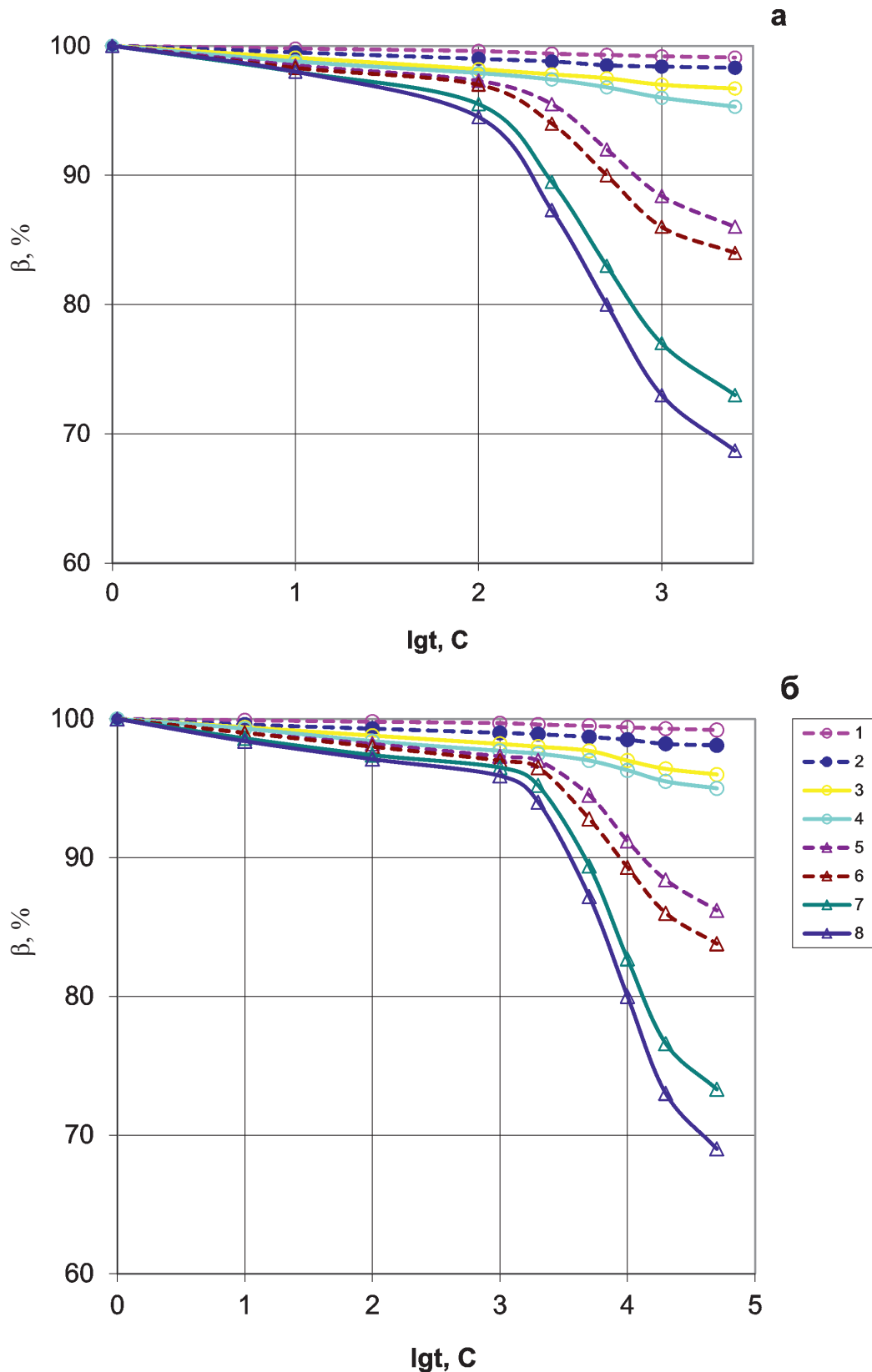


Рис. 5. Влияние продолжительности воздействия депрессии на пласт на величину коэффициента восстановления проницаемости поровых коллекторов в условиях деформации их в призабойной зоне

$\Delta P_d - 10,0$  МПа;  $H = 3000$  м; а, б -  $t = 500$  с и  $10000$  с; 1, 2, 5, 6 -  $P_{пл}/P_r = 0,4$ ; 3, 4, 7, 8 -  $P_{пл}/P_r = 0,8$ ;  
 1, 2, 3, 4 -  $m = 20\%$ ; 5, 6, 7, 8 -  $m = 5\%$ ; 1, 3, 5, 7 -  $\beta_{пор} = 0,37 \cdot 10^{-3}$  1/МПа; 2, 4, 6, 8 -  $\beta_{пор} = 24 \cdot 10^{-3}$  1/МПа

1. снижение проницаемости коллектора под действием возрастающего напряжения в породе происходит не мгновенно, а протекает в соответствии с законом развития упругих деформаций в породе под действием приложенной нагрузки;

2. характерное время запаздывания интенсивного снижения проницаемости коллектора пропорционально коэффициенту сжимаемости пор (трещин) коллектора, его пористости и коэффициенту Пуассона;

3. интенсивное снижение проницаемости высокопроницаемых коллекторов ( $m \geq 20\%$ ,  $k > 0,5 \text{ мкм}^2$ ), характеризующихся низкой величиной времени запаздывания

$\tau' = \lambda/E = 500 \text{ сек.}$  и низкой величиной коэффициента сжимаемости пор коллектора  $\beta_{\text{пор}} = (0,37 + 1,0) \cdot 10^{-3} \text{ 1/МПа}$ , отмечается спустя  $t = 80-100 \text{ сек.}$  после приложения нагрузки (депрессии на пласт) и практически полностью заканчивается при  $t = 2500 \text{ сек.}$  (41,6 мин.) (рис.5а, б);

4. интенсивное снижение проницаемости низкопроницаемых коллекторов ( $m < 13\%$ ,  $k < 0,05 \text{ мкм}^2$ ), характеризующихся высокой величиной времени запаздывания  $\tau' = \lambda/E = 10000 \text{ сек.}$  и высокой величиной коэффициента сжимаемости пор коллектора  $\beta_{\text{пор}} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ 1/МПа}$ , наблюдается спустя  $t = 1000 \text{ сек.}$  (16,7 мин.) после приложения

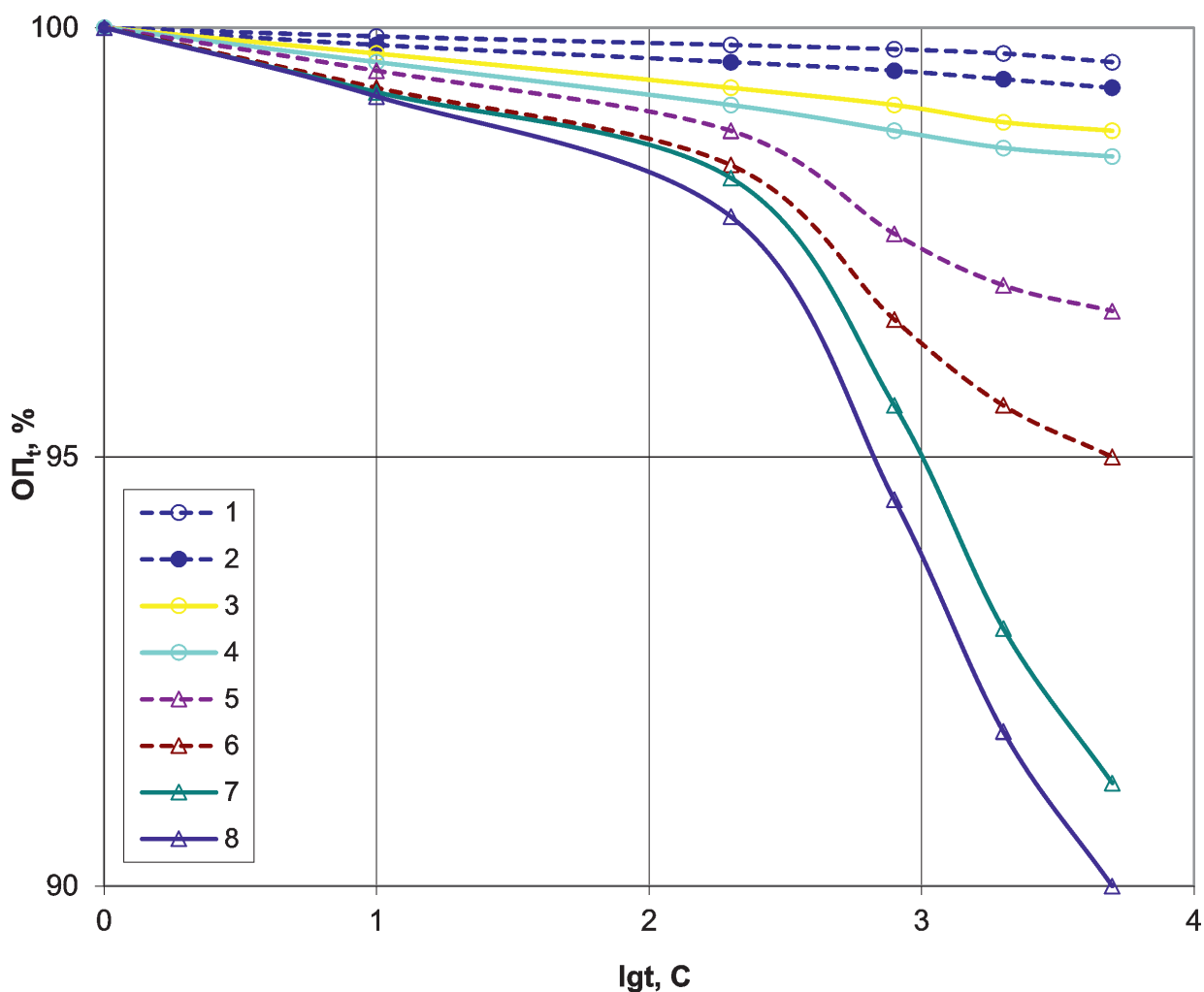


Рис. 6. Влияние продолжительности воздействия депрессии на пласт на величину параметра ОП скважин в условиях деформации поровых коллекторов в ПЗП

$\Delta P_d = 10,0 \text{ МПа}$ ;  $H = 3000 \text{ м}$ ;  $t = 1000 \text{ с}$ ; 1, 2, 5, 6 –  $P_{\text{пл}}/P_{\text{г}} = 0,4$ ; 3, 4, 7, 8 –  $P_{\text{пл}}/P_{\text{г}} = 0,8$ ;  
 1, 2, 3, 4 –  $m = 20\%$ ; 5, 6, 7, 8 –  $m = 5\%$ ; 1, 3, 5, 7 –  $\beta_{\text{пор}} = 0,37 \cdot 10^{-3} \text{ 1/МПа}$ ; 2, 4, 6, 8 –  $\beta_{\text{пор}} = 24 \cdot 10^{-3} \text{ 1/МПа}$

нагрузки и практически полностью заканчивается при  $t=30000$  сек (8,3 часа) (рис.5б,7);

5. при  $\tau=500$  сек., что, вероятно, характерно для трещиноватых коллекторов, обладающих невысокой величиной коэффициента сжимаемости трещин  $\beta_*= (1/10) \cdot 10^{-2}$  МПа<sup>-1</sup>, интенсивное снижение проницаемости наблюдается спустя  $t=100$  сек. после создания депрессии на пласт и практически полностью завершается через  $t=7-8$  мин. (рис.8а);

6. интенсивное снижение проницаемости трещиноватых коллекторов ( $m \geq 5\%$ ,  $k \leq 0,3$  мкм<sup>2</sup>), характеризующихся высокой величиной времени запаздывания упругих деформаций в породе ( $\tau = \lambda/E = 10000,0$  сек) и высокой величиной коэффициента сжимаемости трещин коллектора  $\beta_* = 1/50 \cdot 10^{-2}$  1/МПа, наблюдается спустя  $t=1000$  сек. (16,7 мин.) после приложения нагрузки и практически полностью заканчивается при  $t=10000$  сек. (2,77 часа) (рис.8б).

Время запаздывания развития упругих деформаций, составляющее 8-30 минут, а нередко несколько часов и более [16, 17], может оказаться соизмеримым с продолжительностью времени создания депрессии на пласт при вызове притока, что приводит,

вследствие развития интенсивных деформационных процессов, к защемлению бурового раствора в порах и трещинах порово-трещинных коллекторов (рис.9) в процессе освоения скважин методом плавного создания депрессии на пласт [19].

Результаты представленных исследований свидетельствуют, что механизм кольматации и суффозии в интенсивно деформируемых порово-трещинных и трещинных коллекторах имеет свои характерные особенности и негативные последствия, которые необходимо учитывать при выборе оптимальных режимов вскрытия пластов и освоения скважин. В критических условиях вскрытия интенсивно деформирующихся трещиноватых коллекторов ( $\beta_* = 50 \cdot 10^{-2}$  1/МПа) и при определенных свойствах бурового раствора ( $\Theta/\tau = 2,0$  и более) (рис. 9) их совокупное влияние может привести к полному нарушению гидродинамической связи пласта со скважиной при плавном создании депрессии на пласт. При этом возникает так называемый клапанный эффект, когда буровой раствор, защемленный в микро- и макротрещинах породы-коллектора, теряет свою подвижность, уплотняется и обезвоживается, блокируя гидродинамическую

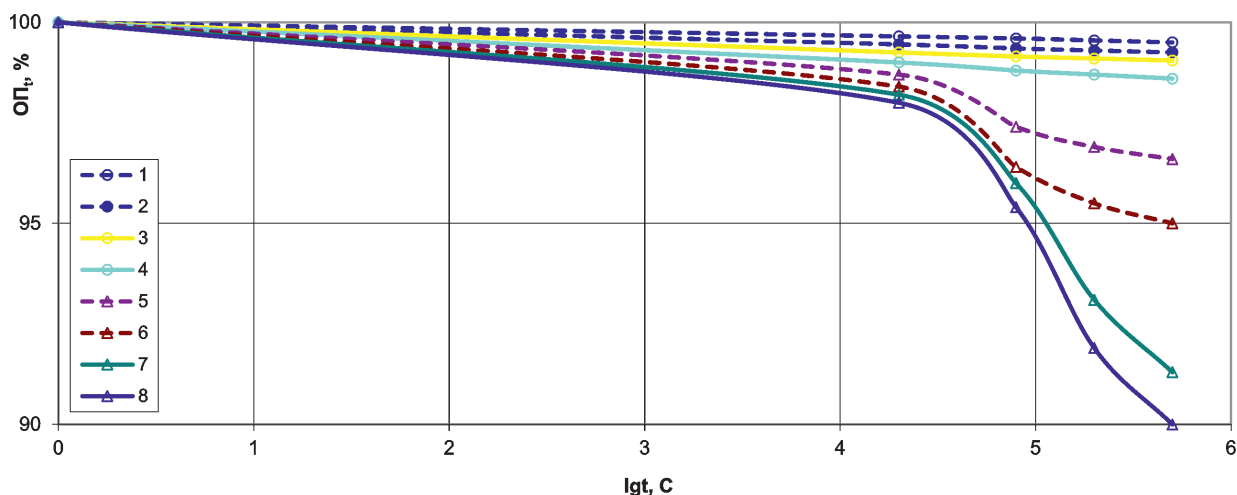


Рис. 7. Влияние продолжительности воздействия депрессии на пласт на величину параметра ОП скважин в условиях деформации поровых коллекторов в ПЗП

$\Delta P_d = 10,0$  МПа;  $H = 3000$  м;  $t = 100000$  с; 1, 2, 5, 6 –  $P_{пл}/P_r = 0,4$ ; 3, 4, 7, 8 –  $P_{пл}/P_r = 0,8$ ;  
 1, 2, 3, 4 –  $m = 20\%$ ; 5, 6, 7, 8 –  $m = 5\%$ ; 1, 3, 5, 7 –  $\beta_{пор} = 0,37 \cdot 10^{-3}$  1/МПа; 2, 4, 6, 8 –  $\beta_{пор} = 24 \cdot 10^{-3}$  1/МПа

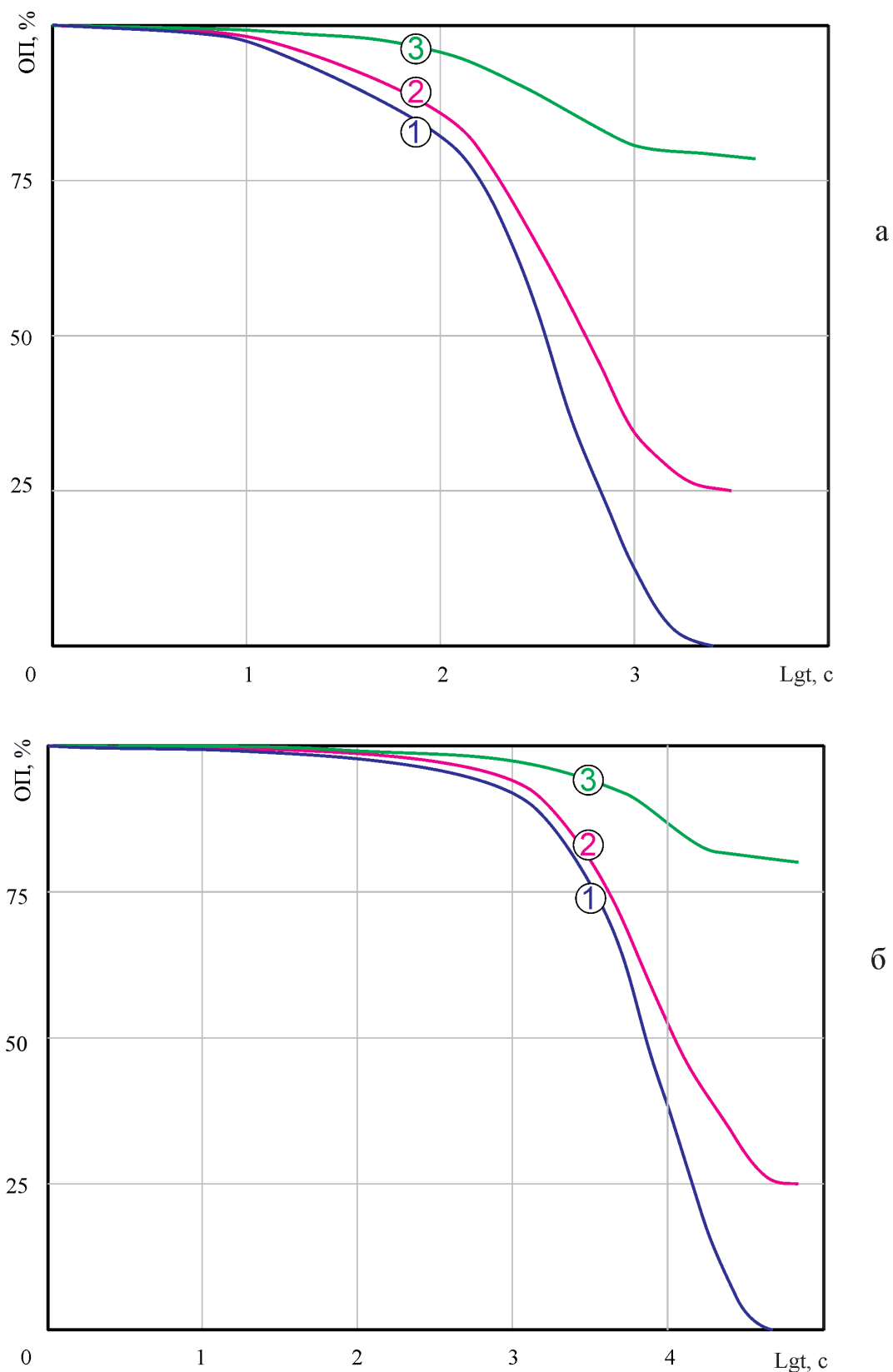


Рис. 8. Влияние продолжительности воздействия депрессии на пласт на величину параметра ОП скважин в условиях деформации трещиноватых коллекторов в ПЗП

$\Delta P_g=10$  МПа; а, б –  $t=500$  б  $10000$  с; 1–3 – расчетные кривые при величинах коэффициента сжимаемости трещин коллектора  $\beta=10^{-2}$ ;  $10 \cdot 10^{-2}$  и  $20 \cdot 10^{-2}$  1/МПа

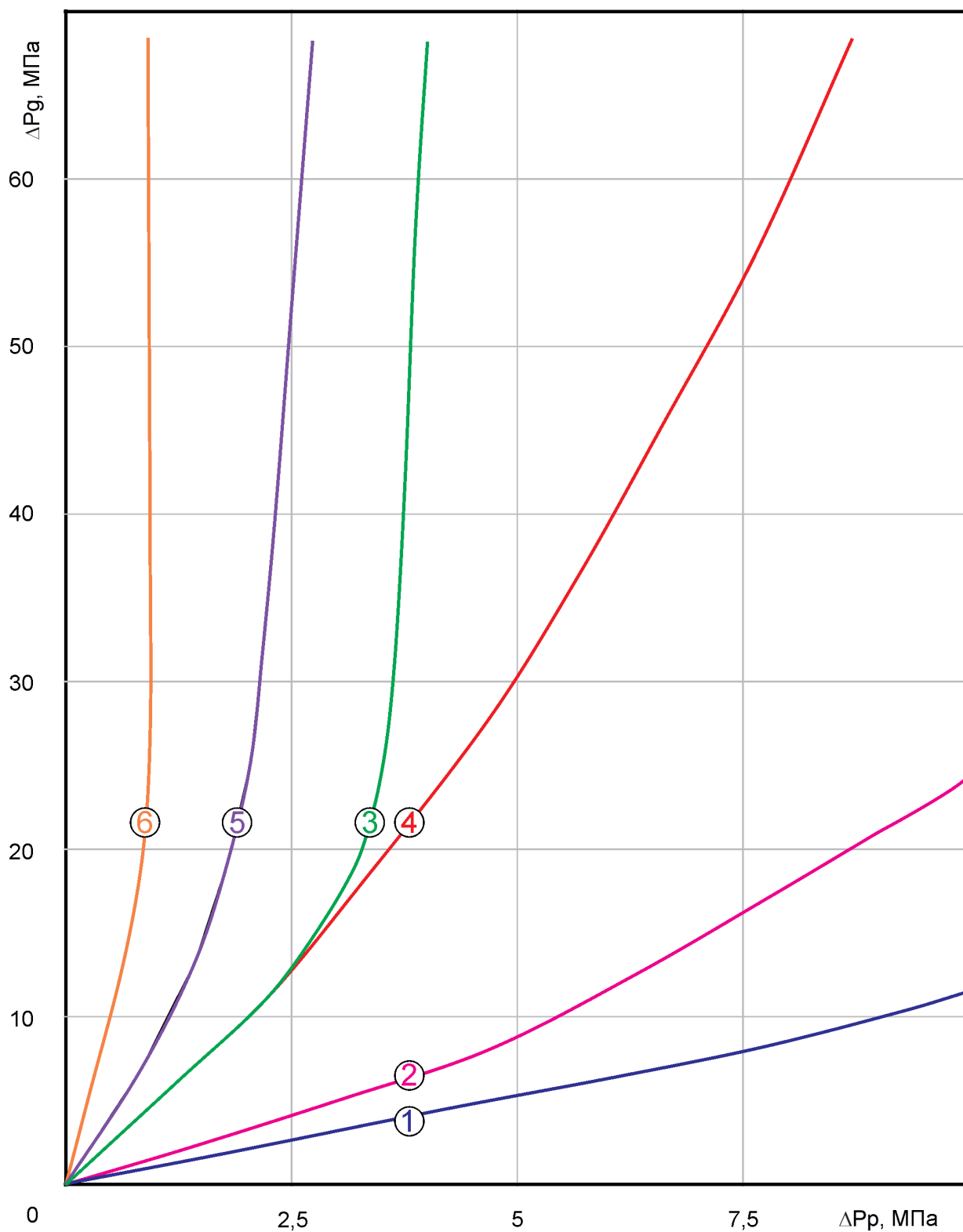


Рис. 9. График выбора оптимальной величины депрессии на пласт при освоении скважин, вскрывших деформируемые трещиноватые коллекторы. Ряды 1, 2, 3, и 4, 5, 6 –  $\Theta/\tau$  – равны 1 и 5.

1, 4 – 2, 5 – 3, 6 – коэффициент сжимаемости пор (трещин)  $\beta=0,01; 0,1; 0,5 \cdot 10^{-2} \text{ 1/МПа}$

связь пласта со скважиной. В этих условиях приток из пласта отсутствует даже при минимальных величинах репрессий и создании различных, в том числе и достаточно высоких (до 10-15 МПа и более) депрессий, превышающих величину репрессии на пласт в 5-10 раз.

Следует отметить, что создание высоких депрессий ограничено величиной пластового давления, которая в скважинах глубиной менее 1500-2000 м не превышает, как правило, 16,5-22,0 МПа. При этом величина параметра ОП, характеризующая степень реализации потенциальной продуктивности скважин, крайне низкая и близка к нулю. Как показывает опыт освоения скважин на месторождениях Саратовского Поволжья, промышленные притоки нефти и газа из пласта в таких условиях практически отсутствуют. Получены они лишь после проведения работ по интенсификации притока.

Между тем опробование пласта в процессе бурения скважин, характеризующихся мгновенным кратковременным созданием достаточно высоких депрессий на пласт, сопровождалось интенсивной декольматацией и получением промышленной продукции (конденсата) дебитом 72,0 м<sup>3</sup>/сут, как это было при испытании глубоководных ардатовских терригенных отложений в скв. 13 Тепловского месторождения. Однако после спуска эксплуатационной колонны, крепления скважины и перфорации пласта приток в данной скважине отсутствовал.

Восстановление гидродинамической связи пласта со скважиной и получение промышленного притока было достигнуто лишь после проведения работ по интенсификации притоков нефти и газа методом глинокислотной обработки пласта.

Это означает, что при плавном создании депрессии на пласт в процессе освоения трещиноватых коллекторов, характеризующихся интенсивным развитием деформационных процессов и резким снижением их проницаемости, деформация породы в пласте может наступить раньше, чем про-

изойдет разрушение кольматационной зоны в ПЗП.

При освоении скважин методом мгновенного создания высоких депрессий на пласт, обеспечивающих моментальное достижение высоких критических скоростей фильтрации и градиентов давления в ПЗП, процесс интенсивного выноса кольматанта из ПЗП протекает несколько раньше в течение некоторого промежутка времени, предшествующего нарастанию критических деформаций в пласте, обусловленного наличием характерного времени запаздывания упругих деформаций в породе.

Следует отметить, что однократное мгновенное создание высокой депрессии на пласт может оказаться недостаточным для полного выноса бурового раствора из призабойной зоны пластов, интенсивно кольматирующихся в процессе их вскрытия при бурении скважин. В связи с этим возникает вопрос об определении эффективности разрушения зоны кольматации в поровых и трещиноватых коллекторах при освоении скважин методом мгновенного создания депрессии с учетом технологических условий вскрытия пласта (тип бурового раствора, его плотность, величина репрессии на пласт и др.), определяющих размеры зоны кольматации, её прочность и блокирующее воздействие. При этом важно установить оптимальное количество циклов мгновенного создания высоких депрессий на пласт, необходимых для разрушения зоны кольматации.

### **ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ СОЗДАНИЯ ДЕПРЕССИИ НА ПЛАСТ ИЗ УСЛОВИЯ МАКСИМАЛЬНОГО РАЗРУШЕНИЯ КОЛЬМАТАЦИОННОГО СЛОЯ В ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЕ ПЛАСТА**

Вызов притока из пласта в значительной степени облегчается при создании высоких

депрессий на пласт, обеспечивающих высокие скорости фильтрации. Воздействие высокоскоростного потока флюида, как показано в работе [20], способствует интенсивному выносу твёрдых частиц из пористой среды (рис.10). При этом по мере увеличения скорости потока жидкости возрастает интенсивность выноса всё более крупных частиц кольматанта, способствуя тем са-

мым разрушению кольматационной зоны в пласте и очистке ПЗП от твердой фазы бурового раствора.

С целью выбора оптимальной скорости создания депрессии, необходимой для максимального разрушения зоны кольматации в пласте, нами были выполнены лабораторные исследования на модели пласта с помощью установки УИПК-1М. Исследования

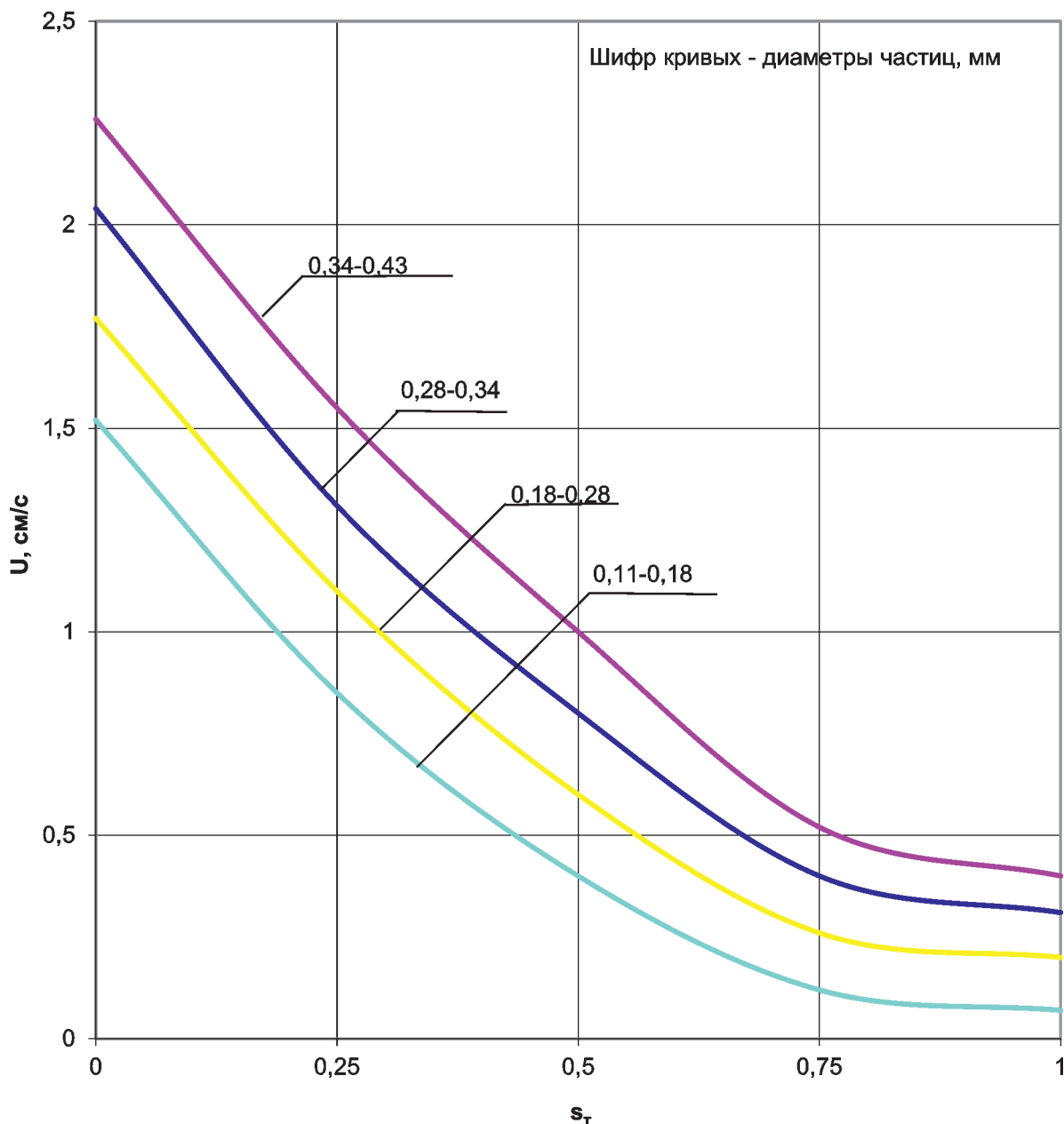


Рис. 10. Зависимость критической скорости от насыщенности порового пространства твердыми частицами различного размера в песке с диаметром песчинок 3-5 мм (по Ю.М.Шехтману)



позволили получить оценку влияния мгновенно созданных различных по величине депрессий на величину коэффициента восстановления проницаемости поровых и трещиноватых коллекторов в условиях, идентичных процессу освоения скважин.

Формирование зоны кольматации на модели проводилось в условиях, идентичных

процессу вскрытия пласта при бурении скважин с применением полимерглинистого раствора плотностью  $\rho=1050-1300$  кг/м<sup>3</sup>. Величины перепада давления на образцы при воздействии на них буровыми растворами аналогичны величинам репрессий на пласт при его вскрытии и составляли 2,5-10,0 МПа. Величины мгновенно созданных

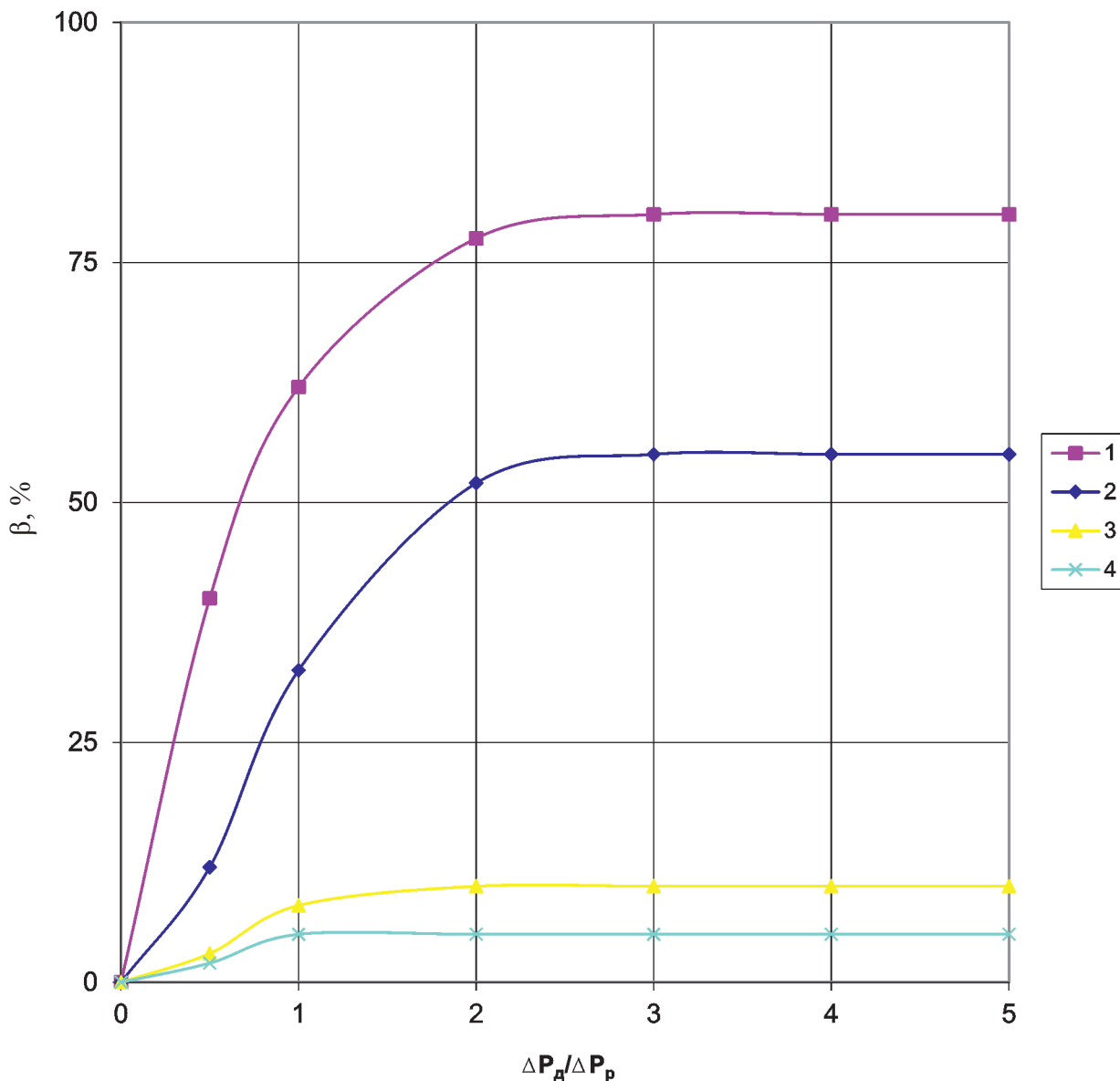


Рис. 11. Влияние величины репрессии и депрессии на величину коэффициента восстановления проницаемости поровых и трещиноватых коллекторов при плавном создании депрессии на пласт

Тип бурового раствора - полимерглинистый; плотность бурового раствора  $\rho=1050$  кг/м<sup>3</sup>;  
 1, 2 - для поровых; 3, 4 - для трещиноватых коллекторов;  
 1, 3 - при величинах репрессий  $\Delta P_p=2,5$  МПа;  
 2, 4 - при величинах репрессий  $\Delta P_p=10$  МПа;  
 проницаемость коллектора  $k_{пор}=0,15-0,30$  мкм<sup>2</sup>;  $k_{тр}=0,15-0,30$  мкм<sup>2</sup>

депрессий на пласт идентичны величинам перепада давления на образец при его продувке в лабораторных экспериментах и изменялись в пределах 1,24-30,0 МПа.

Результаты лабораторных исследований по оценке влияния мгновенно и плавно созданных депрессий на пласт величиной  $\Delta P_d = 1,25-30,0$  МПа на величину коэффициента восстановления проницаемости поровых и трещиноватых коллекторов при освоении скважин с учетом условий вскрытия пласта с применением полимерглинистого раствора представлены на рис.11-16.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

- коэффициент восстановления проницаемости поровых и трещиноватых коллекторов пропорционален величине мгновенно созданной депрессии при продувке образцов;

- максимальная величина коэффициента восстановления проницаемости коллекторов наблюдается при соотношении  $\Delta P_d / \Delta P_p = 3$  во всем диапазоне действующих репрессий на пласт при его вскрытии;
- наибольшая величина коэффициента восстановления проницаемости поровых и трещиноватых коллекторов наблюдается при мгновенном создании депрессии и составляет, соответственно,  $\beta = 89,5\%$  и  $\beta = 34,5\%$  в случае вскрытия пласта на полимерглинистом растворе плотностью  $\rho = 1050$  кг/м<sup>3</sup> при репрессии на пласт  $\Delta P_p = 2,5$  МПа и соотношении  $\Delta P_d / \Delta P_p = 3,0$ ; (рис.12 );
- при увеличении репрессии на пласт до  $\Delta P_p = 10,0$  МПа коэффициент восстановления проницаемости поровых и трещиноватых коллекторов несколько снижа-

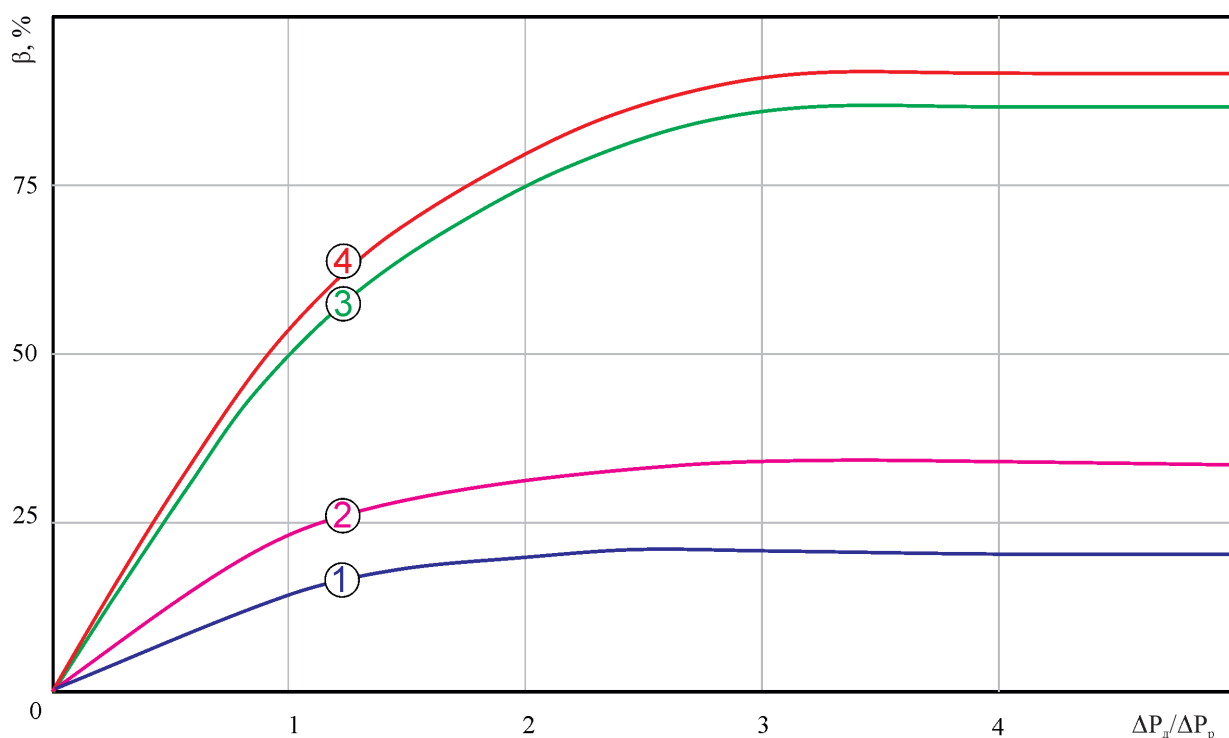


Рис. 12. Влияние величины репрессии и депрессии на пласт на величину коэффициента восстановления проницаемости поровых и трещиноватых коллекторов при мгновенном создании депрессии на пласт. Тип бурового раствора полимерглинистый

Плотность бурового раствора  $\rho = 1050$  кг/м<sup>3</sup>. Проницаемость коллектора  $K_{пор} = 0,15-0,30$  мкм<sup>2</sup>,  $K_{тр} = 0,15-0,30$  мкм<sup>2</sup>. Продолжительность продувки  $t = 3,5-4,0$  часа. 3, 4 и 1, 2 для поровых и трещиноватых коллекторов. 4, 2-3, 1 при величинах репрессии  $\Delta P_p = 2,5$  и  $10,0$  МПа

ется, однако все же имеет сравнительно высокую величину и при соотношении  $\Delta P_d/\Delta P_p=3$  составляет, соответственно,  $\beta=85\%$  и  $\beta=20,5\%$ .

Исследование влияния продолжительности продувки образцов поровых и трещи-

новатых коллекторов методом мгновенного создания депрессий на пласт на величину коэффициента восстановления их проницаемости также показало несомненные преимущества указанного метода по сравнению с методом плавного создания заданного

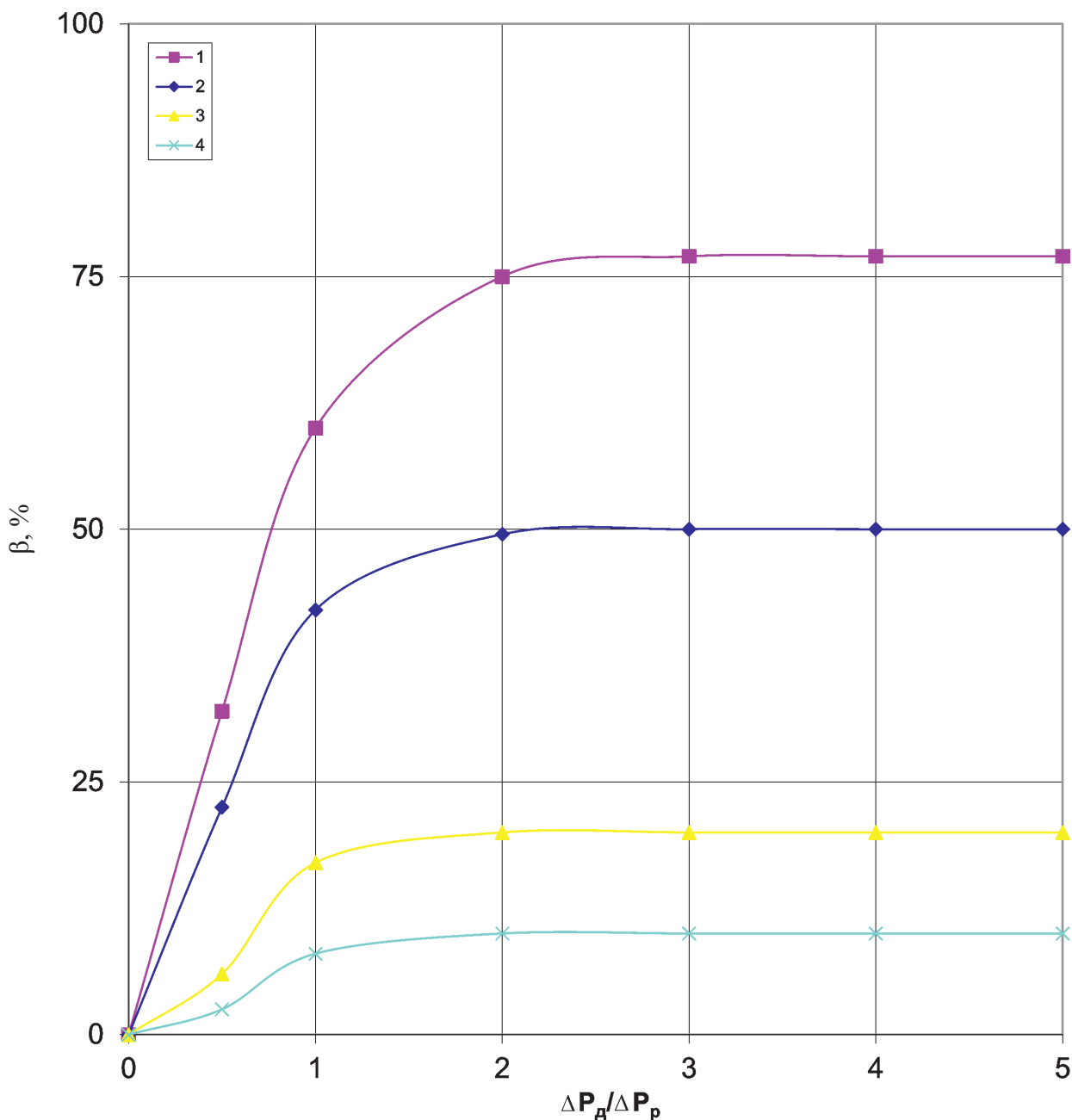


Рис. 13. Влияние величины репрессии и депрессии на пласт на величину коэффициента восстановления проницаемости поровых и трещиноватых коллекторов при плавном создании депрессии на пласт

Тип бурового раствора - полимерглинистый; плотность бурового раствора  $\rho=1300$  кг/м<sup>3</sup>;  
 1, 2 - для поровых; 3, 4 - для трещиноватых коллекторов; 1, 3 - при величинах репрессий  $\Delta P_p=2,5$  МПа;  
 2, 4 - при величинах репрессий  $\Delta P_p=10$  МПа; проницаемость коллектора  $k_{пор}=0,15-0,30$  мкм<sup>2</sup>;  $k_{тр}=0,15-0,30$  мкм<sup>2</sup>

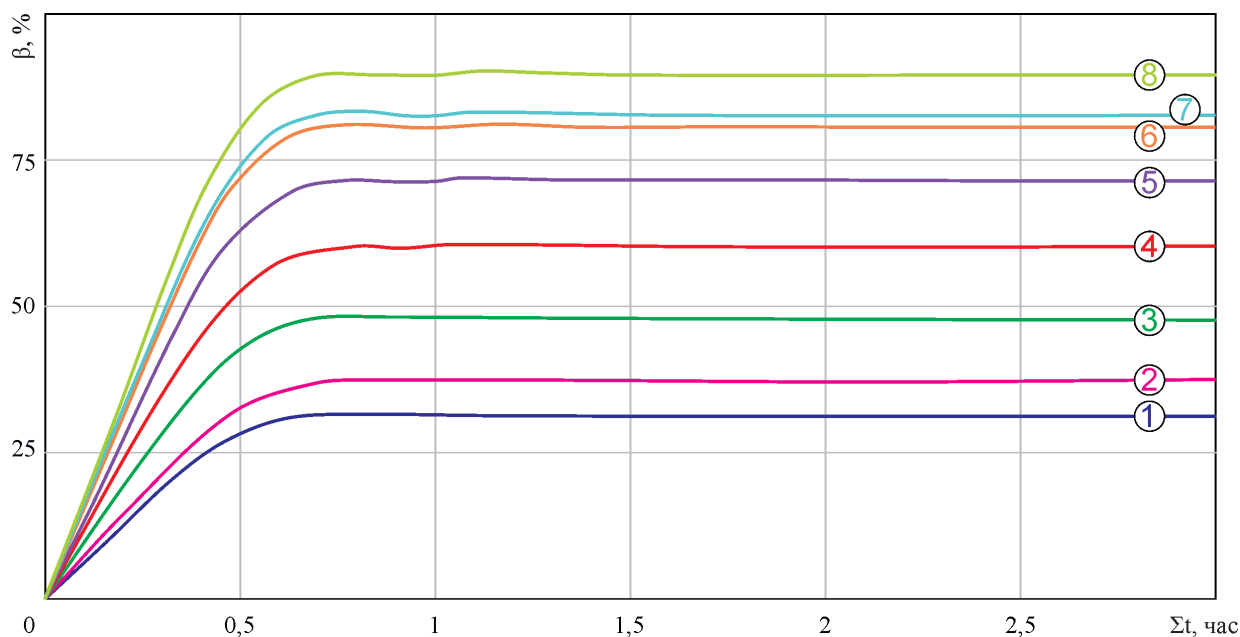


Рис. 14. Влияние величины и продолжительности действия депрессии на пласт на коэффициент восстановления проницаемости поровых коллекторов при мгновенном создании депрессии на пласт. Тип бурового раствора - полимерглинистый

Плотность бурового раствора  $\rho=1300 \text{ кг/м}^3$ ; 2, 4, 6, 8 и 1, 3, 5, 7 соответственно при величинах репрессии на пласт  $\Delta P_p=2,5$  и  $10,0 \text{ МПа}$ ; 7, 8 - 5, 6 - 3, 4 - 1, 2 при соотношении  $\Delta P_g/\Delta P_p = 0,5; 1,0; 2,0; 3,0$ . Проницаемость коллектора  $K_{пор}=0,15-0,30 \text{ мкм}^2$

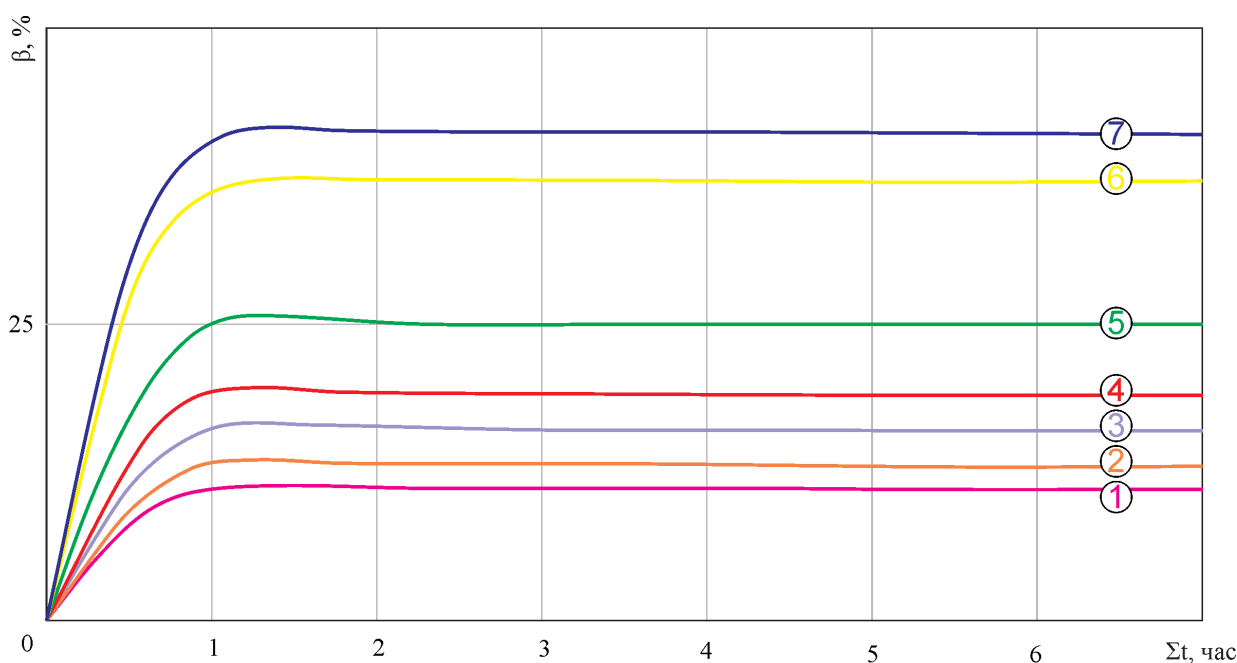


Рис. 15. Влияние величины и продолжительности действия депрессии на пласт на коэффициент восстановления проницаемости трещиноватых коллекторов при мгновенном создании депрессии на пласт. Тип бурового раствора – полимерглинистый.

Плотность бурового раствора  $\rho=1300 \text{ кг/м}^3$ . 2, 5, 6, 7 и 1, 3, 4 – при величинах репрессии на пласт  $\Delta P_p=2,5$  и  $10,0 \text{ Мпа}$ . 7-6,4-5,3-2,1 - при соотношении  $\Delta P_g/\Delta P_p = 0,5; 1,0; 2,0; 3,0$ . Проницаемость коллектора  $K_{тр}=0,15-0,30 \text{ мкм}^2$ .

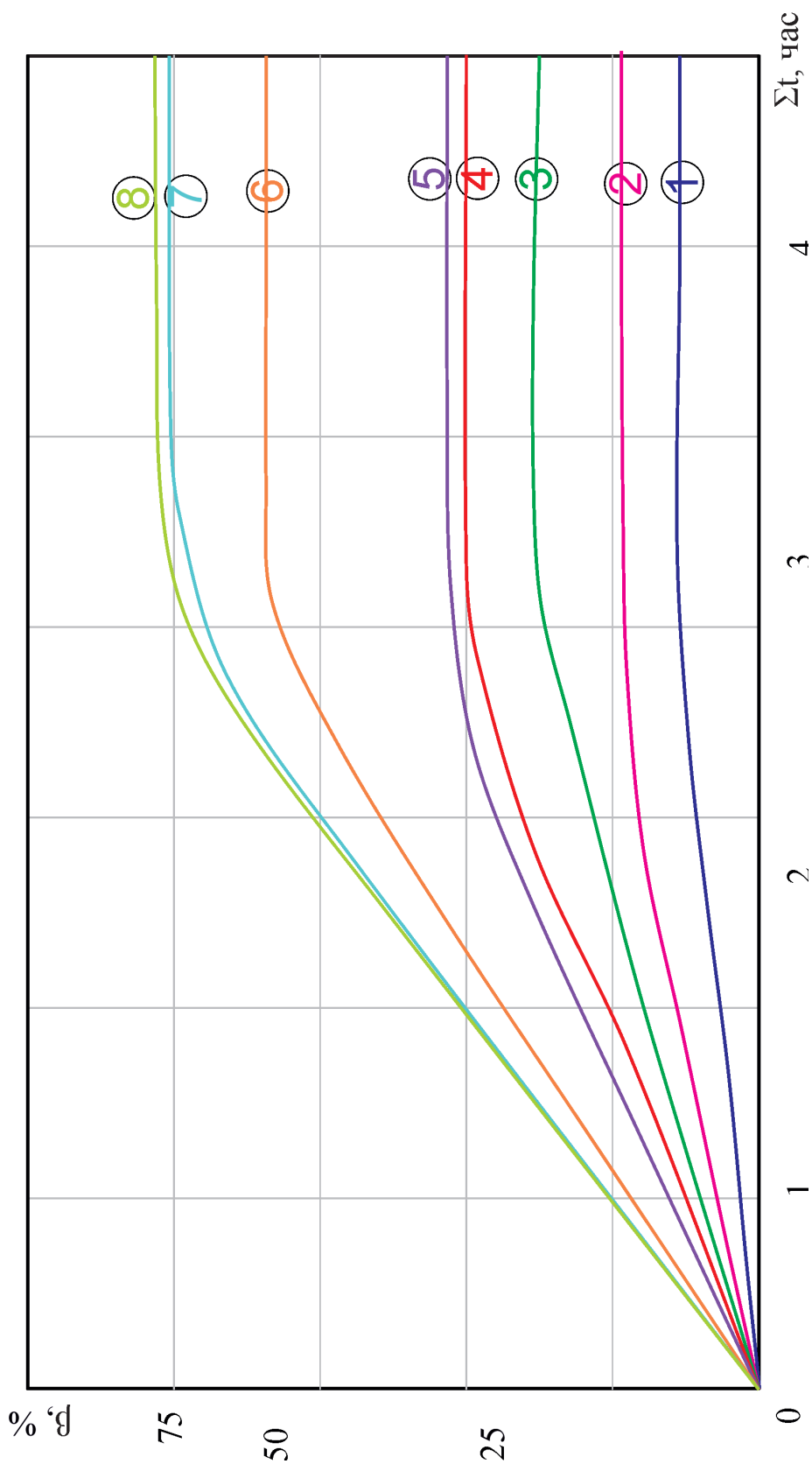


Рис.16. Влияние величины и продолжительности действия депрессии на пласт на коэффициент восстановления проницаемости трещиноватых коллекторов при плавном создании депрессии на пласт. Тип бурового раствора полимерглинистый

Плотность бурового раствора  $\rho = 1300 \text{ кг/м}^3$ . 2, 6, 7, 8 и 1, 3, 4, 5 – при величинах репрессии на пласт  $\Delta P_p = 2,5$  и 10,0 Мпа. 5, 8-4, 7-3, 6-1, 2 при соотношении  $\Delta P_d / \Delta P_p = 0,5; 1,0; 2,0; 3,0$ . Проницаемость коллектора  $K_{cp} = 0,15-0,30 \text{ мкм}^2$ .

перепада давления при продувке образцов (рис. 11,13).

Разрушение зоны кольтматации и восстановление естественной проницаемости поровых и трещиноватых коллекторов в случае продувки их методом мгновенного создания заданного перепада давления происходит в течение 15-30 минут (рис. 15), что намного меньше времени разрушения зоны кольтматации в коллекторах в случае продувки их методом плавного создания депрессии на пласт (рис.16). К тому же степень восстановления проницаемости породы-коллектора как порового, так и трещинного типа выше при мгновенном создании заданного перепада давления, чем при плавном.

**ПРОМЫСЛОВЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО  
ОПТИМИЗАЦИИ СКОРОСТИ  
СОЗДАНИЯ ДЕПРЕССИИ  
НА ПЛАСТ ПРИ ОСВОЕНИИ  
СКВАЖИН ИЗ УСЛОВИЯ  
МАКСИМАЛЬНОГО  
ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
ЕСТЕСТВЕННОЙ  
ПРОНИЦАЕМОСТИ ПЛАСТА  
В ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЕ**

Промысловый опыт освоения скважин свидетельствует о том, что при плавном создании депрессии на пласт очистка ПЗП происходит весьма пассивно, в течение нескольких месяцев и даже нескольких лет [1, 2, 10]. Это особенно ярко видно при освоении глубоких скважин, вскрывших порово-трещинные и трещинные коллекторы, характеризующиеся интенсивной трещиноватостью, высокой степенью кольтматации и деформации при их вскрытии в процессе бурения скважин, крепления и освоения. В таких условиях для ликвидации зоны кольтматации в пласте целесообразно создавать мгновенные многократные достаточно высокие депрессии на пласт, позволяющие, как показали результаты опытно-промышленных работ и промысловых исследова-

ний [3-8,11,12, 22], достичь высокой эффективности освоения скважин.

В частности, весьма интересные результаты получены Г.Д.Сухоносковым [5] при интерпретации кривых восстановления давления (КВД), снятых в процессе испытания пласта. Высокий скин-эффект, отмеченный на первой кривой восстановления давления, отсутствует на второй КВД после повторного приложения глубокой резкой депрессии на пласт при испытании специальным инструментом с двойным закрытым периодом, и практически неизвестны факты снижения проницаемости ПЗП при повторном создании депрессии на пласт. Таким образом,

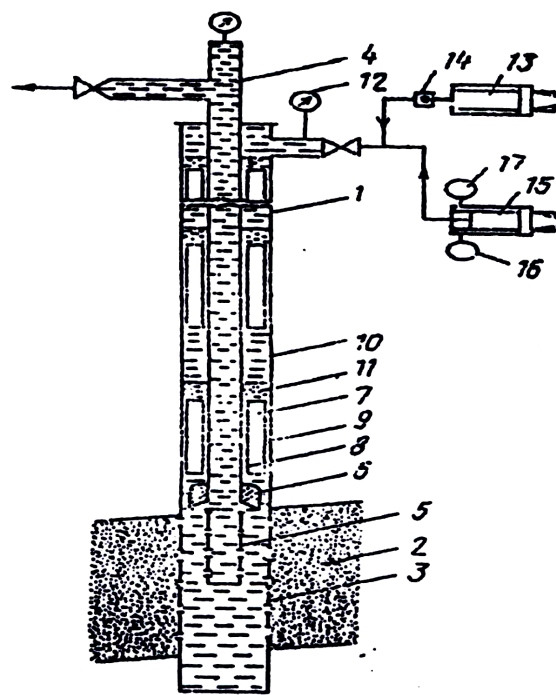


Рис.17. Схема способа освоения скважин циклическим мгновенным созданием высоких депрессий на пласт

1 - обсадная колонна; 2 - продуктивный пласт; 3 - скважинный фильтр; 4 - колонна НКТ; 5 - перфорированный конец колонны НКТ; 6 - кольцевой элемент; 7 - пачка газа в затрубном пространстве; 8, 9 - тонкие слои под внутренней и наружной цилиндрической поверхностью пачек газа; 10 - пачка продажной жидкости; 11 - загущенная жидкость на нижней границе с пачкой газа; 12- манометр; 13 - газокomppressor; 14 - обратный клапан; 15 - насосный агрегат; 16 - емкость с продажной жидкостью; 17 - емкость с загущенной жидкостью

несмотря на кратковременное воздействие мгновенно созданных высоких депрессий на пласт, все же происходит весьма интенсивное разрушение зоны кольтматации.

Исследованиями [5, 13] показано, что продолжительность воздействия мгновенно созданной высокой депрессии при испытании пласта многоцикловыми испытателями составляет величину 1-10 мин., и этого времени оказывается вполне достаточно для частичного или полного разрушения зоны кольтматации и получения притока пластового флюида. Однако в условиях значительного нарушения гидродинамической связи пласта со скважиной однократное мгновенное создание депрессии не приводит к полному разрушению зоны кольтматации. Для эффективной очистки загрязненной ПЗП от продуктов кольтматации необходимо провести не менее 4-6 операций по мгновенному созданию высоких депрессий.

Опыт освоения скважин в США и других странах [21] также свидетельствует о высокой эффективности применения метода мгновенного создания высоких депрессий, так называемого баксарджинга, для активизации процесса очистки перфорационных каналов и призабойной зоны от продуктов перфорации и кольтматации. Достаточно отметить, что применение баксарджинга при заканчивании скважин позволило в США значительно повысить продуктивность.

С помощью этого метода создается кратковременная мгновенная высокая депрессия на пласт, достигающая величины пластового давления. В результате происходит интенсивный вынос обломочного материала из перфорационных каналов и глинистого раствора из ПЗП, приводящий к восстановлению ее естественной проницаемости.

Теоретические исследования по изучению механизма декольтматации породы-коллектора в призабойной зоне скважин при мгновенном создании высоких депрессий на пласт показали (рис.5-8), что вследствие мгновенного создания высоких градиентов давления и высоких скоростей фильтрации

пластового флюида, а также наличия характерного времени запаздывания развития упругих деформаций в породе создаются благоприятные условия в ПЗП для выноса из неё кольтматанта в течение определенного промежутка времени, продолжительностью от нескольких минут до 2-3 часов, предшествующих нарастанию критических величин деформаций породы-коллектора.

При этом разрушение зоны кольтматации в ПЗП происходит несколько раньше, чем деформация породы-коллектора достигнет своего максимального значения, приводящего к заземлению в порах, микро- и макротрещинах твердой фазы бурового раствора, как это наблюдается при плавном создании депрессии на пласт, когда скорость создания высоких депрессий становится соизмеримой со скоростью развития интенсивных деформаций в породе-коллекторе.

Поскольку период времени, предшествующий нарастанию критических максимальных деформаций в породе, изменяется в зависимости от физических свойств пород-коллекторов в довольно широких пределах, от нескольких минут до нескольких часов и более, то и эффективность очистки призабойной зоны пласта при мгновенном создании высоких депрессий будет определяться термобарической и литолого-физической характеристикой пласта, его фильтрационно-емкостными свойствами и типом коллектора, а также в значительной мере прочностью блокады в ПЗП, ее геометрическими размерами и природой кольтматации породы (физической или химической).

По истечении допустимого времени действия высокой депрессии на пласт дальнейшая отработка скважины при заданной величине воздействия может привести лишь к интенсивному росту деформации коллектора до предельных значений в зоне развития депрессионной воронки, при которых происходит частичное или полное смыкание микро- и макротрещин в пласте и заземление в них твердой фазы бурового раствора. В результате процесс интен-



сивной декольматации ПЗП прекращается, и для его активизации необходимо повторить операцию по мгновенному созданию высоких депрессий на пласт.

Для повышения эффективности освоения скважин нами разработаны способы [22-26], позволяющие интенсифицировать процесс декольматации ПЗП и достичь более высокой степени реализации потенциальной продуктивности путем применения форсированных режимов вызова притока из пласта, характеризующихся циклическим созданием мгновенных высоких депрессий.

В способах освоения скважин мгновенное циклическое создание достаточно высоких депрессий осуществляется за счет обеспечения пробкового режима течения газа и жидкости в стволе скважины при попеременном нагнетании их в затрубное пространство, используя для этой цели газокomppressor и насосный агрегат.

Величина депрессии на пласт и частота ее создания изменяются во времени в нарастающем режиме, что способствует ускорению процесса декольматации ПЗП.

Разработанный нами технологический способ освоения скважин [24] осуществляется следующим образом (рис.17).

1. На заданную глубину в скважину (1) в интервал скважинного фильтра (3) спускается колонна НКТ(4) с перфорированным концом (5) и кольцевым элементом (6), установленным непосредственно над верхними перфорационными отверстиями.
2. Пачки газа (7) закачиваются в затрубное пространство с помощью компрессора (13) и перемещаются вниз под действием пачек продавочной (10) и загущенной жидкости (11), закачиваемых в затрубное пространство насосным агрегатом (15).
3. В процессе нагнетания флюидов создается их циркуляция в направлении из затрубного пространства в полость НКТ.
4. В период прохождения пачек загущенной высоковязкой жидкости и газа через

щель, образованную кольцевым элементом и обсадной колонной скважины (1), происходит разрыв потока вследствие более высокой скорости прохождения пачек газа через щель, по сравнению с пачками загущенной высоковязкой жидкости, что сопровождается глубоким разрежением на забое скважины и созданием глубокой депрессии на пласт (2).

5. Указанный процесс повторяется последовательно по мере подхода следующих пачек газа к забою скважины, обеспечи-

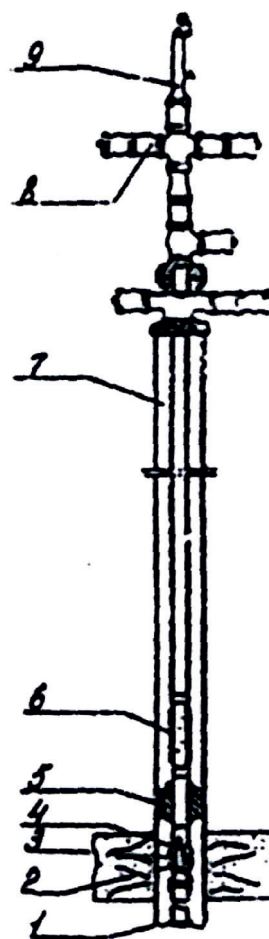


Рис. 18. Схема расположения подземного и наземного оборудования при освоении скважин методом мгновенного создания многократных высоких депрессий на пласт

- 1 – заглушка; 2 – циркуляционная муфта; 3 – отверстия муфты; 4 – гидрореле-клапан; 5 – пакер; 6 – циркуляционный клапан; 7 – НКТ; 8 – фонтанная арматура; 9 – лубрикатор

вая таким образом цикличное создание высоких депрессий на пласт, что особенно эффективно для вызова притока из низкопроницаемых слабонапорных продуктивных пластов.

В способах освоения скважин [23, 26] цикличное создание мгновенных депрессий на пласт реализуется путем переключения потоков газа из затрубного пространства в трубное на устье скважины, а в способе возбуждения пласта [25] перевод пачек газа из затрубного пространства в трубное осуществляется на забое скважины в определенном режиме, характеризующемся оптимальной амплитудой и частотой создаваемых мгновенных депрессий на пласт в соответствии с геолого-физическими параметрами пласта, что приводит к разуплотнению кольтманта и интенсивному выносу его из ПЗП.

Для осуществления способа освоения скважин мгновенным созданием многократных высоких депрессий на пласт нами было разработано подземное и наземное оборудование (рис.18) [22], включающее и кавитационный смеситель [27], и клапан для освоения скважин [28]. Оборудование позволяет в случае получения притока нефти, газа или воды из пласта вводить скважину в эксплуатацию без глушения ее буровым раствором при извлечении на поверхность забойных устройств для создания мгновенных многократных высоких депрессий на пласт.

Применение кавитационного смесителя позволяет в процессе освоения скважины непрерывно готовить идеальную высокоэффективную жидкость, пены, кислотные растворы, нефтекислотные эмульсии и пр., необходимые для обеспечения условий создания мгновенных высоких депрессий на пласт.

Разработанный нами способ осуществляется следующим образом (рис.18):

- на заданную глубину в скважину спускаются насосно-компрессорные трубы (7), оканчивающиеся хвостовиком с заглушкой (1);

- непосредственно против продуктивного пласта устанавливается циркуляционная муфта (2) с отверстиями (3), в карман циркуляционной муфты помещается гидрореле-клапан (4);
- выше циркуляционной муфты над кровлей продуктивного пласта устанавливается пакер (5), непосредственно над пакером – циркуляционный клапан (6);
- собранное устройство спускается в скважину до забоя и весом насосно-компрессорных труб распакеровывается;
- устье скважины оборудуется фонтанной арматурой (8) с лубрикаторм (9);
- после установки устьевого оборудования через циркуляционный клапан при открытой затрубной задвижке производится снижение уровня жидкости в насосно-компрессорных трубах на заданную глубину;
- под действием разницы давлений в подпакерном пространстве и в насосно-компрессорных трубах гидрореле-клапан срабатывает, немедленно выталкивается из кармана циркуляционной муфты, обеспечивая при этом мгновенную передачу депрессии на пласт;
- при получении притока из пласта гидрореле-клапан через лубрикаторм извлекается из скважины с помощью ключа-овершота и глубинной лебёдки, и скважина вводится в эксплуатацию.

В результате проведения опытно-промышленных работ по освоению 12-ти скважин методом мгновенного создания многократных высоких депрессий была восстановлена гидродинамическая связь пласта со скважиной (табл. 1). При этом в трех скважинах (скв.1 Топовская, скв.42 Родионовская, скв.9 Луговская) получены промышленные притоки нефти и газа, в шести (1, 2, 58 Сплавнухинская, скв.39 Колотовская, скв.14, 15 Языковской площади) значительно повысилась (в 1,3-1,5 раза) их продуктивность. В оставшихся скважинах (скв.7 Краснокутская, скв.5 Каракульская, скв.61 Елшано-Курдюмская) наблюдался

Таблица 1  
**Результаты опытно-промышленных работ по освоению скважин методом создания мгновенных многократных высоких депрессий на пласт**

№ скв., площадь	Глубина залегания пласта, м	Литология	Ранее проведенные работы по интенсификации притоков	Результаты работ по интенсификации притоков	Результаты работ по освоению скважин методом создания мгновенных многократных высоких депрессий на пласт
42 Родионовская	1203-1208	Слабоглинистый песчаник	Солянокислотная и глиноукислотная обработка пласта, АДС-5	Притока нет	В течение шести операций восстановлена гидродинамическая связь пласта со скважиной, получен приток газа
1 Топовская	2192,5-2194,5	Глинистый песчаник	Термокислотная обработка, АДС-5, термозахимическое воздействие на пласт	-<<	В течение четырех операций восстановлена гидродинамическая связь пласта со скважиной; получен приток нефти
5 Каракульская	1728-1748	Ангидриты	Гидроарзрыв пласта с закреплением трещин песком, освоение компрессором	-<<	В течение четырех операций отмечался вынос глинистого раствора с гематитом; интенсивность выноса бурового раствора из пласта уменьшалась от операции к операции; притока из пласта не получено
9 Луговская	1372-1378	Известняки	Кумулятивная перфорация	-<<	В течение четырех операций притока продукции из пласта не получено; после проведения ГПП и последующего освоения скважины получен промышленный приток нефти
7 Краснокутская	4380-4480	Песчаники, алевролиты с прослоями глин	Кумулятивная и гидроструктурная перфорация, ГРП	Притока нет	В течение шести операций отмечался вынос бурового раствора из пласта, интенсивность которого уменьшалась от операции к операции; притока пластового флюида не получено
61 Курдомская	780-785	Песчаник с прослоями глин	Кумулятивная перфорация	-<<	В течение четырех операций восстановлена гидродинамическая связь пласта со скважиной; получен приток технической воды
1 Славнухинская	3240-3256	Мелкозернистые глинистые песчаники трещиноватые	-<<	Низкая производительность скважины	В течение четырех операций улучшилась гидродинамическая связь с пластом, наблюдался вынос конденсата из пласта; производительность скважины увеличилась в 1,3 раза
2 Славнухинская	3230-3244	Мелкозернистые песчаники трещиноватые	-<<	-<<	В течение шести операций отмечался вынос кольматанта из пласта, производительность скважины увеличилась в 1,4 раза
58 Славнухинская	3199-3224	Мелко- и среднезернистые песчаники трещиноватые	-<<	-<<	В течение четырех операций отмечался вынос кольматанта из пласта, производительность скважины увеличилась в 1,5 раза
39 Колотовская	1807-1812	Мелко- и среднезернистые песчаники	Кумулятивная перфорация	Низкая производительность скважины	В течение четырех операций наблюдался вынос кольматанта из пласта, производительность скважины увеличилась в 1,4 раза
14 Языковская	1145-1160	-<<	-<<	-<<	В течение шести операций отмечался вынос кольматанта из пласта, производительность скважины увеличилась в 1,5 раза
15 Языковская	1155-1170	-<<	-<<	-<<	В течение четырех операций наблюдался вынос кольматанта из пласта, производительность скважины возросла в 1,3 раза

вынос бурового раствора из пласта. Количество выносимого кольматанта из ПЗП уменьшалось от операции к операции, что в определенной мере свидетельствовало об очистке призабойной зоны от бурового раствора.

Отсутствие промышленных притоков газа из пласта в разведочных скважинах 7 Краснокутской и 5 Каракульской площади связано с низкими фильтрационно-емкостными параметрами выбранных к испытанию объектов, поскольку, несмотря на проведение комплекса работ по воздействию на ПЗП с помощью различных методов интенсификации, промышленного притока газа не было получено.

Таким образом, 83,5% скважин, находившихся длительное время в освоении, были освоены с помощью представленного метода многократного мгновенного создания высоких депрессий, в результате чего достигнуто повышение продуктивности скважин.

Важным фактором представленного нами оборудования является возможность применения методов химического воздействия на пласт в сочетании с методом мгновенного создания высоких депрессий для форсированной очистки призабойной зоны пласта от продуктов реакции кольматанта. Обратный циркуляционный клапан, применяющийся в компоновке с забойным оборудованием, позволяет доводить кислотный раствор до интервала перфорации путем обратной циркуляции из затрубного пространства в НКТ с последующим перемещением его в подпакерное пространство, используя в качестве фронтальной порции кислотного раствора утяжеленный кислотно-солевой раствор по технологии разработанной нами «Способа кислотной обработки призабойной зоны пласта» (Патент РФ №2078203).

## ВЫВОДЫ

- Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволи-

ли раскрыть характер процесса восстановления естественной проницаемости поровых и трещиноватых коллекторов, установить влияние основных факторов на состояние гидродинамической связи пласта со скважиной (величина депрессии на пласт, скорость ее создания и продолжительность действия, деформация коллектора, тип и плотность бурового раствора, величина репрессии и др.) при ее освоении.

- Степень восстановления естественной проницаемости коллекторов определяется режимом вызова притока из пласта и функционально обусловлена типом бурового раствора и его реологическими свойствами, типом коллектора и его физико-механическими свойствами, величиной репрессии, физико-химическими свойствами пластового флюида и величиной пластового давления.
- Снижение проницаемости коллекторов в призабойной зоне пласта, обусловленное развитием деформационных процессов при освоении скважин, происходит не мгновенно, а в соответствии с законом развития упругих деформаций в породе и характеризуется временем запаздывания этого процесса.
- Интенсивное снижение проницаемости высокопроницаемых коллекторов при испытании скважин наступает спустя 50-100 сек. после создания депрессии на пласт и практически полностью заканчивается по истечении 2500 сек. (41,6 мин.), соответственно при испытании низкопроницаемых и трещиноватых коллекторов начало интенсивного снижения проницаемости отмечается при  $t=1000$  сек (16,6 мин.), а окончание процесса при  $t=30000$  сек.
- Характерное время запаздывания притока газа в скважину, обусловленное низкими фильтрационно-емкостными параметрами пласта, составляет 10-11 часов и более, что является главной причиной длительного времени ожидания притока.

- Увеличение продолжительности действия депрессии на пласт до величины, превышающей характерное время запаздывания притока газа (нефти) в скважину, может оказаться решающим фактором сокращения количества «сухих» пластов.
- В результате выполненных нами лабораторных исследований с помощью установки УИПК-1М и опытно-промышленных работ по освоению скважин установлено, что минимальная продолжительность воздействия депрессии на пласт, обеспечивающая восстановление естественной проницаемости коллекторов в максимальных пределах, составляет 2,0-2,5 часа.
- Основным направлением работ в области совершенствования технологии освоения скважин следует считать сочетание режима вызова притока из пласта с технологией его вскрытия, которое обеспечит максимальное восстановление естественной проницаемости пласта.
- Максимальная реализация потенциальной продуктивности скважин возможна при применении оптимальных режимов вызова притока из пласта, характеризующихся мгновенным созданием высокоскоростных фильтрационных потоков нефти и газа в призабойной зоне в условиях действующих ограничений.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Амиан В.А. Васильева Н.П. Вскрытие и освоение нефтегазовых пластов. – М.: Недра, 1972. – 336 с.
2. Сидоровский В.А. Опробование разведочных скважин. – М.: Недра, 1968. – 165 с.
3. Брайгер Э.Ф. Обратная промывка перфорационных отверстий// Нефть, газ и нефтехимия за рубежом. – 1980. – №12. – с. 29-30.
4. Бро Ю.Г. Дренаживание пластов с низкими давлениями пластоиспытателями. РНТС ВНИИОЭНГ// Нефтепромысловое дело. – 1979. – №11. – с.16-17.
5. Сухонос Г.Д. Испытание необсаженных скважин. – М.: Недра, 1978. – 279 с.
6. Яремийчук Р.С. Создание депрессий на пласт с помощью струйных аппаратов// Нефтяное хозяйство. – 1981. – №11. – с.12-13.
7. Яремийчук Р.С. Восстановление коллекторских свойств пласта в призабойной зоне скважин при воздействии на него циклическими депрессиями// Нефтяное хозяйство. – 1982. – №6. – с.19-20.
8. Усманов М.Г., Ихиятдинов Т.З. Применение испытателей пластов для очистки призабойной зоны// Нефтепромысловое дело. – 1982. – №4. – 19 с.
9. Семёнов Ю.В., Войтенко В.С., Обморышев К.М. и др. Испытание нефтегазоразведочных скважин в колонне. – М.: Недра, 1983. – 134 с.
10. Зотов Г.А., Тверковкин С.М. Газогидродинамические методы исследования газовых скважин. – М.: Недра, 1970. – 192 с.
11. Иванова М.М., Михайлов Н.Н., Яремийчук Р.С. Задачи повышения продуктивности скважин// Нефтяное хозяйство. – 1986. – №11. – с. 28-32.
12. Литвинов А.А. Увеличение продуктивности нефтяных скважин методом повышенных рабочих депрессий. В кн.: Добыча, сбор, подготовка и транспортирование нефти и газа на месторождениях Нижнего Поволжья. – М., 1976. – вып. 28. – с.29-35.
13. Марин А.Р. Методика расчёта времени дренаживания скважин пластоиспытателями// Нефтепромысловое дело. – 1973. – с.12-14.
14. Овнатанов Г.Т. Вскрытие пласта и освоение скважин. – М.: Недра, 1970. – 312 с.
15. Щелкачёв В.Н. Разработка нефтеводоносных пластов при упругом режиме. – М.: Гостоптехиздат, 1959. – 467 с.
16. Котяхов Ф.И. Физика нефтяных и газовых коллекторов. – М.: Недра, 1966. – 287 с.
17. Добрынин В.М. Деформации и изменения физических свойств коллекторов нефти и газа. – М.: Недра, 1970. – 239 с.
18. Калинин В.Ф. Оптимизация величины депрессии на пласт при освоении глубоких разведочных скважин// Нефтяное хозяйство. – 1979. – №10. – С.19-21.
19. Калинин В.Ф. Выбор оптимальной депрессии на пласт при освоении скважин// Нефтяное хозяйство. – 1982. – №9. – С.10-12.
20. Шехтман Ю.М. Фильтрация малоконцентрированных суспензий. – М.: Изд-во АН СССР. – 1961. – 211 с.
21. Сумен Дж. С. Руководство по борьбе с песком в скважинах. Всесоюзный центр переводов научно-технической литературы. – М., 1976.
22. Калинин В.Ф. Освоение скважин созданием мгновенных многократных высоких депрессий на пласт// Нефтяное хозяйство. – 1978. – №3. – С.26-28.
23. Калинин В.Ф., Герасимов О.Д., Козлов Ю.Г. и др. Способ освоения скважин. А.С. №1705553, кл.Е21В 43/25 от 26.09.1988.
24. Калинин В.Ф., Матвеев Л.М. Способ освоения скважин. Патент РФ №2007551.
25. Калинин В.Ф., Матвеев Л.М. Способ возбуждения пласта. Патент РФ №2005167.
26. Калинин В.Ф. Способ освоения скважин. Патент РФ №2060379.
27. Калинин В.Ф., Кузнецов А.И. Клапан для освоения скважин. Патент РФ №2133819.
28. Калинин В.Ф., Матвеев Л.М. Кавитационный смеситель. Патент РФ №2009709.