

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор-директор ИПР
_____ А.Ю. Дмитриев
« ____ » _____ 2013 г

РАСЧЕТ СКОРОСТИ СПУСКА ОБСАДНОЙ КОЛОННЫ

Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Бурение нефтяных и газовых скважин для студентов, обучающихся по специальности 130504 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» направления 130500 «Нефтегазовое дело»

Составитель Купреков В.С.

УДК 622.245.1(075.8)
ББК 33.13.1 Я73

Методические указания рассмотрены и рекомендованы

к изданию методическим семинарам кафедры «Бурение скважин»
Институт природных ресурсов
20 октября 2013г.

Издательство
Томского политехнического университета
2013

УДК 622.245.1 (075.8)

ББК 33.13.1 Я73

М Р 248 К

Расчет скорости спуска обсадной колонны: Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Бурение нефтяных и газовых скважин для студентов, обучающихся по специальности 130504 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» направления 130500 «Нефтегазовое дело»

Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. –20 с.

Зав. кафедрой «Бурение скважин»

доктор технических наук,

профессор

_____ В.Д. Евсеев

Председатель

учебно-методической комиссии,

доктор технических наук, профессор

_____ Н.Г. Квеско

Рецензент

Доцент, кандидат технических наук

В.Г. Крец

© Составление ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2013

© Купреков В.С., составление, 2013

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2013

Общие методические указания при выполнении лабораторной работы

Лабораторная работа рассчитана на двухчасовое занятие в аудитории подготовленных студентов.

Для выполнения лабораторной работы студентам выдаются исходные данные, техническая документация на скважину, методические указания по выполнению работы, а в случае необходимости дополнительные справочные и нормативные документы.

До начала выполнения работы студенты представляют преподавателю отчет установленной формы с частью предварительного выполненного анализа, а именно п. 1, 2, 3 (см. содержание отчета) и рабочую тетрадь, в которую заносятся все цифровые данные и вычисления, сделанные в процессе работы.

К выполнению работы студенты допускаются после проверки знаний в объеме контрольных вопросов по работе.

В процессе работы студенты оформляют последующие части отчета (заполнение таблиц, необходимые расчеты, выводы). Объем, содержание и состав отчета определяется каждым студентом самостоятельно.

Оформленный отчет предоставляется преподавателю на проверку и защиту.

Отчет по лабораторной работе должен содержать

1. Цель и задачи работы.
2. Краткое описание методики исследования, принципов измерения.
3. Таблицы для занесения результатов исследований.
4. Расчеты и графики.
5. Выводы по работе.

Руководство работами осуществляет преподаватель. При необходимости он может изменять объем и содержание работы, уточняет цель и порядок ее выполнения, демонстрирует, при необходимости, работу установок, приборов и проведение отдельных этапов работы, напоминает основные требования безопасности и другие необходимые сведения.

До начала выполнения работы преподаватель проводит вводный инструктаж и инструктаж на рабочем месте. Тема инструктажа заносится в журнал, где расписывается каждый из студентов.

Отсутствие инструктажа исключает возможность выполнения работы.

Принятые обозначения

b_T - коэффициент увлечения среды (жидкости) стенками колонны труб
 D_G - гидравлический диаметр.....м
 $D_{НС}$ - динамическое напряжение сдвига.....Па
 $D_o : D_c$ - диаметры обсадной колонны и скважины.....м

Δ - относительная шероховатость поверхности.....	-
δ_1, δ_2 - толщина пограничного слоя у стенки трубы и скважины соответственно.....	М
g - ускорение свободного падения.....	м/с ²
He - безразмерный параметр Хедстрема.....	-
k - коэффициент кавернозности.....	-
L - глубина залегания пласта.....	М
l - длина трубы.....	М
μ - динамическая вязкость среды.....	Пас
n - количество участков кольцевого пространства различного гидравлического диаметра.....	-
$НПГ$ - система единиц измерения нефтепромысловой геологии	
P, P_0 - давление в скважине и атмосферное соответственно.....	МПа
$P_{ГР}, P_{ПЛ}$ - давление гидроразрыва и пластовое соответственно.....	МПа
$P_{ДИН}$ - гидродинамическая составляющая давления.....	МПа
$P_{ДИН}^Л, P_{ДИН}^Т$ - гидродинамическая составляющая давления при ламинарном и турбулентном течениях среды соответственно.....	МПа
$P_{СТ}$ - гидростатическая составляющая давления.....	МПа
Q_T, Q_J - объемные расходы среды вытесняемой колонной и восходящей в кольцевом пространстве.....	м ³ /с
ρ_J - плотность вытесняемой среды.....	кг/м ³
$Re, Re_{КР}$ - число Рейнольдса и число Рейнольдса критическое.....	-
$СИ$ - система единиц измерения интернациональная	
S_0, S_C - площади поперечных сечений колонны и скважины.....	м ²
Sen - параметр Сен-Венана-Илюшина.....	-
$СНС$ – статическое напряжение сдвига.....	Па
τ_0 - динамическое напряжение сдвига.....	Па
ω_J - среднерасходная скорость среды в затрубном пространстве	м/с
$\omega_{П}$ - предельная скорость спуска обсадной колонны.....	м/с
ω_T - скорость спуска обсадной колонны.....	м/с
λ - коэффициент гидравлического сопротивления трения.....	-
ν - коэффициент кинематической вязкости среды.....	м ² /с

Цель лабораторной работы:

1. Изучить гидродинамическую обстановку в скважине при спуске обсадной колонны (далее ОК);
2. Рассчитать допустимые (предельные) скорости спуска обсадной колонны по заданным параметрам колонны и скважины;
3. Рассчитать давление, оказываемое на стенки скважины, при различных скоростях движения колонны;

4. Установить границы гидродинамического подобия процессов, протекающих при различных конструктивных особенностях скважины и колонны.

При спуске в скважину обсадная колонна вытесняет часть промысловой жидкости. Если колонна оборудована обратным клапаном, то вся вытесняемая жидкость направляется в заколонное пространство, при этом давление на стенки скважины возрастает за счет гидродинамической составляющей.

Предельная скорость спуска колонны, ω_{II} , определяется из условия исключаящего возможность возникновения гидроразрыва пласта [1]:

$$P = P_{ст} + P_{дин} \leq P_{гр} \quad (1)$$

Здесь: P – давление в скважине;

$P_{ст}$ - гидростатическое давление столба жидкости на глубине наиболее слабого пласта (пласта с наименьшим индексом давления поглощения или гидроразрыва);

$P_{дин}$ – гидродинамическая составляющая давления;

$P_{гр}$ – давление гидроразрыва пласта.

На основании уравнения неразрывности [4]:

$$Q_T = Q_{ж} = \dots Q_i \quad (2)$$

скорость потока в кольцевом зазоре $\omega_{ж}$, при закрытом нижнем конце колонны, может быть представлена (см. рис. 1):

$$\omega_{ж} = \omega_T \cdot \left(\frac{S_0}{S_c - S_0} + b_T \right), \quad (3)$$

где: Q_T - расход жидкости (среды), вытесняемый колонной;

$Q_{ж}$ - расход восходящего потока в затрубном пространстве;

Q_i – расход жидкости в произвольном сечении скважины;

ω_T – скорость спуска обсадной колонны;

S_0, S_c – площади поперечных сечений колонны и скважины;

b_T – коэффициент, учитывающий увлечение жидкости стенками колонны труб.

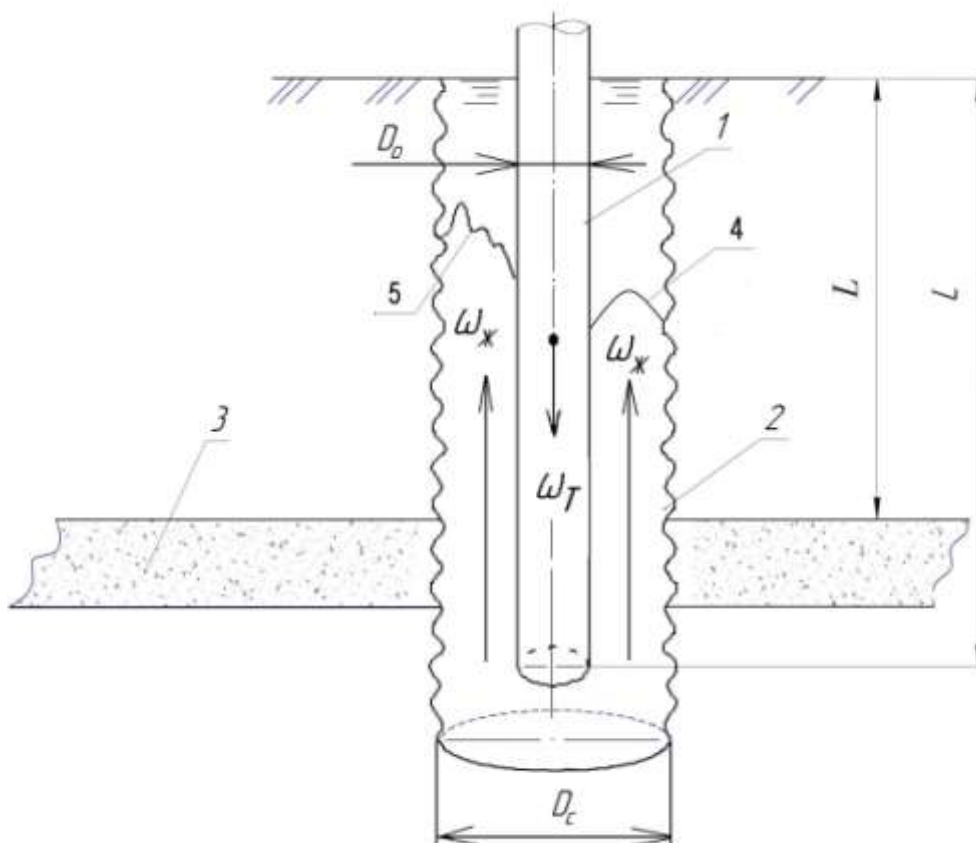


Рис. 1. Схема скважины и распределения скоростей потоков:
 1 – обсадная колонна; 2 – скважина; 3 – рассматриваемый пласт; 4 – распределение скоростей при ламинарном течении жидкости; 5 – распределение скоростей при турбулентном течении жидкости; D_o – диаметр обсадной колонны; D_c – диаметр скважины; L – глубина залегания пласта; ω_T – скорость спуска обсадной колонны; $\omega_{жс}$ – среднерасходная скорость потока в кольцевом зазоре

Статическая составляющая давления $R_{ст}$, при известных глубине расположения наиболее слабого пласта L и плотности вытесняемой жидкости, определяется законом гидростатики (уравнение Паскаля*):

$$R_{ст} = \rho_{ж} \cdot g \cdot L, \quad (4)$$

где: g – ускорение свободного падения;

$\rho_{ж}$ – плотность жидкости.

* Паскаль Блез, 1623–1662, фр. физик, математик, философ.

** Рейнольдс Осборн, 1842–1912, англ. физик, инж, проф. Манчестерского университета с 1868 г.

Здесь и далее, при рассмотрении гидродинамических процессов, сопровождающих спуск колонны, оперируем понятием избыточное давление, под которым понимается давление выше атмосферного. Кроме того, допускаем, что процесс вытеснения среды в затрубное пространство происходит при условии совпадения осей колонны и скважины.

Динамическая составляющая давления $P_{дин}$ при спуске обсадной колонны определяется скоростью спуска колонны, режимом течения жидкости в затрубном пространстве (числом Рейнольдса) и состоянием поверхностей соприкасающихся со средой. Число Рейнольдса (Re) для кольцевого пространства при известных реологических свойствах жидкости определяется [2]

$$Re = \frac{\omega_{ж} \rho_{ж} (D_c - D_o)}{\mu^2}$$

Критическое значение числа Рейнольдса** ($Re_{кр}$), при котором происходит перестройка структуры потока (изменение режима течения жидкости), рекомендовано [5] в виде:

$$Re_{кр} = 7,3 \cdot He^{0,58} + 2100, \quad (5)$$

где: He – безразмерный параметр Хедстрема,

$$He = \frac{\tau_0 \cdot \rho_{ж} \cdot (D_c - D_o)^2}{\mu^2}. \quad (6)$$

Здесь: μ – коэффициент динамической вязкости;

τ_0 – динамическое напряжение сдвига, которое, в зависимости от выбранного реологического типа жидкости, определяется ГОСТ 3352-80 или зависимостью (7), (см. также Приложение I).

$$\tau_0 = 0,0085 \cdot \rho_{ж} - 7 \quad (7)$$

Для случая ламинарного (слоистого) течения жидкости в затрубном пространстве $Re < Re_{\hat{e}D}$, динамическая составляющая давления потока рассчитывается по формуле Дарси-Вейсбаха*** [4]:

$$P_{дин}^л = 4 \cdot \tau_0 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\beta_i (D_c - D_o)}. \quad (8)$$

Здесь: β_i – коэффициент пропорциональности для рассматриваемого участка ОК, l_i, n – длина и количество участков с $D_{г} - idem$, где $D_{г}$ – гидравлический диаметр кольцевого участка затрубного пространства;

$$D_{\Gamma} = \frac{S_c - S_0}{\pi \cdot (D_c + D_0)}. \quad (9)$$

*** Дарси Анри, 1803–1858, фр. инж., исследователь

Вейсбах Юлиус, 1806–1871, нем. математик–мех., спец. по горному делу

Коэффициент β_i является функцией параметра Sen и находится по графикам $\beta_i = f(Sen)$, см. Приложение II, или по интерполяционным зависимостям [3]

$$\begin{aligned} 1 < Sen < 100 \quad \beta_i &= 0,06 + 0,35 \lg Sen \\ 100 < Sen < 1000 \quad \beta_i &= 0,76 + 0,056 \lg Sen. \end{aligned} \quad (10)$$

Параметр Sen (число Сен-Венана-Илюшина*) характеризует гидродинамическую обстановку в затрубном пространстве и определяется зависимостью:

$$Sen = \frac{\tau_0(D_c - D_0)}{\mu \cdot \omega_{ж}}, \quad (11)$$

где $\omega_{ж} = \frac{Q_{\Gamma}}{S_c - S_0}$ - среднерасходная скорость жидкости в кольцевом пространстве.

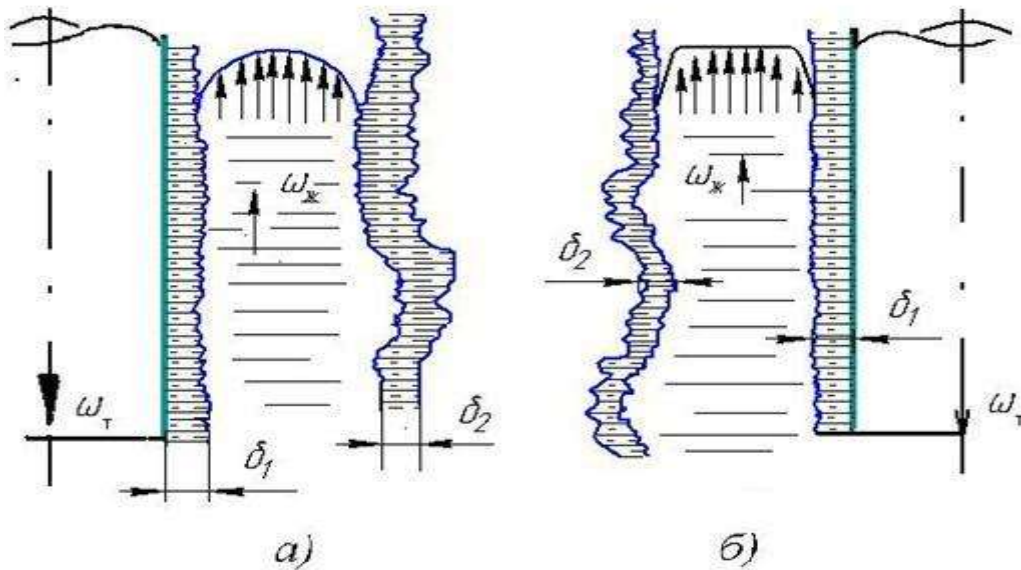


Рис.2. Схема формирования ядра потока в кольцевом зазоре при различных режимах течения промывочной жидкости;

а) для случая $Re < Re_{KP}$; б) для случая $Re > Re_{KP}$; δ_1 – толщина пограничного слоя у стенки трубы; δ_2 – толщина пограничного слоя у стенки скважины

* Сен-Венан, Барре, 1797–1886, фр. механик, инж., чл. Парижской АН с 1868 г.

Для случая турбулентного режима течения жидкости, вытесняемой в затрубное пространство, $Re > Re_{кр}$, гидродинамическая составляющая давления потока определяется зависимостью:

$$P_{дин}^T = \frac{\rho_{ж} \cdot \lambda}{2} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{l_i \cdot \omega_{ж}^2}{D_{ir}} \quad (12)$$

Здесь λ – коэффициент гидравлического сопротивления трения рассчитывается по формуле:

$$\lambda = 0,106 \frac{1,46K_3}{D_k} + \frac{100}{Re} + \frac{6,72^{0,25}}{Re^4} [3],$$

где $K_3 = 3 \cdot 10^{-4}$ м – шероховатость элементов циркуляционной системы;

$D_k = K \cdot D_c - D_o$, где $K = 1,1$ – коэффициент кавернозности.

Или по рекомендациям [2], где $\lambda = f(Re; \Delta)$, Δ – относительная шероховатость поверхности.

По приведенным уравнениям (3÷12) строится график изменения давления $P = f(\omega_T)$ откуда, зная $P_{гр}$, находим предельную скорость спуска обсадной колонны ω_i .

В случае если давление гидроразрыва пласта неизвестно, рекомендуется теоретически оценить его значение по эмпирическим зависимостям [1;3].

$$P_{гр} = 1,7P_{пл} \quad (13)$$

$$P_{гр} = 0,0083L + 0,66P_{пл} \quad (14)$$

Для анализа степени влияния гидродинамической обстановки в скважине при смене режимов течения жидкости, рекомендуется произвести расчет критической скорости спуска обсадной колонны $\omega_{кр}$ и оценить величину возникающего в скважине давления.

При известных конструктивных параметрах скважины, свойствах и режимах течения вытесняемой среды, величина критической скорости спуска колонны определяется выражением

$$\omega_{кр} = \frac{Re_{кр} \cdot \nu}{D_c - D_o}, \quad (15)$$

где $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ – коэффициент кинематической вязкости среды.

Порядок выполнения работы.

1. По двум последним цифрам номера зачетной книжки выбрать свой вариант задания.

2. В соответствии с рекомендациями методического указания произвести расчет давления на стенку скважины при различных скоростях спуска колонны.
3. Построить график изменения давления от скорости спуска колонны (достаточно 5-7 точек).
4. Оформить и защитить отчет по лабораторной работе.

Пример расчета

Вариант № 2821-01

Рассчитать предельную скорость спуска обсадной колонны для одной из нижеприведенной скважин, см. Табл. 1.

Таблица 1

Варианты заданий

№ п/п	L, м	Dс, м	D ₀ , м	μ, мПас	ρ _ж , г/см ³	k, –	t, °С	P _{пл} , МПа
1	2730	0,2159	0,168	21	1,08	1,3	78	27,5
2	2500	0,161	0,127	22	1,06	1,05	79	28,25
3	2560	0,151	0,114	18	1,07	1,1	80	28,8
4	3010	0,19	0,14	26	1,09	1,15	84	32,6
5	3100	0,19	0,14	30	1,10	1,08	90	34,55
6	3150	0,151	0,114	28	1,11	1,09	95	35,07
7	3200	0,295	0,245	32	1,09	1,11	105	36,6
8	3190	0,195	0,146	34	1,08	1,06	106	35,49
9	2870	0,311	0,245	24	1,07	1,17	100	32,13
10	2650	0,195	0,146	27	1,11	1,16	101	29,82
11	3300	0,1556	0,114	23	1,12	1,08	98	36,65
12	2540	0,1556	0,114	19	1,06	1,12	106	30,07
13	2680	0,2159	0,168	45	1,08	1,13	96	30,14
14	2770	0,2	0,146	50	1,09	1,14	109	32,08
15	2870	0,195	0,146	41	1,06	1,25	108	31,51
16	2960	0,2223	0,178	43	1,12	1,28	110	34,08

В связи с отсутствием данных о давлении гидроразрыва и мощности пласта, рассчитаем $P_{ГР}$ по зависимостям (13), (14).

$$P_{ГР} = 1,7 \cdot 27,5 = 46,75 \text{ МПа}$$

$$P_{ГР} = 0,0083 \cdot 2730 + 0,66 \cdot 27,5 = 40,809 \text{ МПа}$$

В расчеты принимаем меньшее значение $P_{ГР} = 40,809$ МПа, как наиболее опасное.

Предельная скорость спуска обсадной колонны, ω_T определяется из условия сохранения целостности пласта, т.е. $P_{CT} + P_{ДИН} \leq P_{ГР}$.

Гидростатическую составляющую давления на глубине залегания пласта P_{CT} рассчитаем по формуле (4), учитывая, что нас интересует только избыточное давление. Ускорение свободного падения по широте г. Томска принимаем равным $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

$$P_{CT} = 1080 \cdot 9,81 \cdot 2730 = 28,92 \text{ МПа.}$$

Для расчета гидродинамической составляющей давления необходимо знать скорость и режим течения жидкости в заколонном пространстве.

Зададимся несколькими скоростями спуска колонны ω_T из ряда рекомендуемых [6].

Таблица 2

№	ω_T , м/с	$Q_T = Q_{Ж}$, м ³ /с	$\omega_{Ж}$, м/с	P_{CT} , МПа	$P'_{ДИН}$, МПа	$P''_{ДИН}$, МПа	P , МПа
1	0,4	0,009	0,8136	28,92	3,9922997	-	32,9161
2	0,6	0,013	1,218	28,92	7,8695115	-	36,79332
3	0,8	0,017	1,624	28,92	-	8,329883	37,24988
4	1	0,022	2,03	28,92	-	10,48012	39,40012
5	1,5	0,033225	3,045	28,92		15,97431	44,89431

Для каждой из скоростей, по зависимостям (2), (3), рассчитаем объемные расходы вытесняемой среды и среднерасходные скорости потока $\omega_{Ж}$ в заколонном пространстве.

Необходимые для расчетов площади поперечных сечений скважины S_C и колонны S_O определяются как:

$$S_C = 3,14 \cdot \frac{0,2159^2}{4} = 0,03659 \text{ м}^2,$$

$$S_O = \frac{3,14 \cdot 0,168^2}{4} = 0,02215 \text{ м}^2.$$

Пусть $\omega_T = 0,4 \text{ м/с}$. Тогда, учитывая, что $Q_T = Q_{Ж}$, имеем:

$$Q_{Ж} = 0,02215 \cdot 0,4 = 0,009 \text{ м}^3/\text{с}.$$

С учетом неподвижной части жидкости в области пограничных слоев колонны и скважины скорость восходящего потока составляет:

$$\omega'_{ж} = 0,4 \cdot \left(\frac{0,02215}{0,03659 - 0,02215} + 0,5 \right) = 0,8136 \text{ М/с}$$

Коэффициент b_T , учитывающий прилипшую часть жидкости, принимается равным $b_T = 0,5$ [3].

Результаты расчетов $\omega_{ж}$ для каждой из скоростей спуска колонны сведем в таблицу 2.

Установим границу гидродинамического подобия процессов, протекающих в заколонном пространстве, предполагая вязкопластичную модель жидкости. Критическое значение числа Рейнольдса определим из выражения (5).

$$Re_{кр} = 7,3 \cdot He^{0,58} + 2100,$$

Безразмерный параметр Хедстрема He и динамическое напряжение сдвига τ_0 (см. ф. 6, 7) рассчитаем для нормальных (стандартных) и эксплуатационных условий.

За стандартные условия принимаем: $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $P_0 = 1,05 \text{ кгс/см}^2$.

Для нормальных условий:

$$\tau_0 = 0,0085 \cdot 1080 - 7 = 2,18 \text{ Па}$$

$$He = \frac{2,18 \cdot 1080 \cdot (0,2159 - 0,168)^2}{441 \cdot 10^{-6}} = 12249$$

$$Re_{кр} = 7,3 \cdot 12249^{0,58} + 2100 = 3815,62$$

Оценку изменения реологических свойств жидкости в условиях эксплуатации произведем по рекомендациям [5].

С учетом одновременного изменения температуры и давления плотность жидкости определим по формуле:

$$\rho(t, P) = \rho_{20} \left[1 + b(20 - t) + \frac{P - P_0}{\kappa} \right]$$

Здесь b – коэффициент объемного расширения; $b = 0,001 \text{ град}^{-1}$;
 κ – модуль упругости вытесняемой среды, $\kappa = (0,8 \div 1,5) \cdot 10^9 \text{ Па}$.

$$\rho_3 = 1080 \left[1 + 0,001(20 - 78) + \frac{27,5 - 0,105}{1,0 \cdot 10^9 \cdot 10^{-6}} \right] = 1046,9 \text{ кг/м}^3$$

Тогда

$$\tau_0^3 = 0,0085 \cdot 1046,9 - 7 = 1,9 \text{ Па}$$

$$He^3 = \frac{1,9 \cdot 1046,9 \cdot (0,2159 - 0,168)^2}{(21 \cdot 10^{-3})^2} = 10344$$

$$Re_{кр}^3 = 7,3 \cdot 10344^{0,58} + 2100 = 3655$$

Таким образом, изменение плотности, динамического напряжения сдвига и критического значения числа $Re_{кр}$ в условиях эксплуатации произошло более чем на 3,1%, 12,8%, 4,19% соответственно.

Определим режим течения среды в заколонном пространстве. Это может быть сделано двумя путями:

- путем сравнения скоростей восходящего потока ω_j и $\omega_{кр}$;
- путем сравнения чисел Re_j и $Re_{кр}$.

Расчеты проведем по обоим вариантам для стандартных условий.

$$\omega_{кр} = \frac{Re_{кр} \cdot \mu}{\rho(D_c - D_o)} = \frac{3815,62 \cdot 21 \cdot 10^{-3}}{1080(0,2159 - 0,168)} = 1,54891 \text{ м/с}$$

$$Re_j = \frac{\omega_{ж}(D_c - D_o) \cdot \rho}{\nu} = \frac{0,8136(0,2159 - 0,168) \cdot 1080}{21 \cdot 10^{-3}} = 2004,2$$

Поскольку $\omega_{ж} < \omega_{кр}$; $0,8136 < 1,54891$ м/с;
 $Re_j < Re_{кр}$; $2004,2 < 3815,62$.

режим течения жидкости в заколонном пространстве при скорости спуска ОК $\omega_T = 0,4$ м/с - ламинарный.

Расчет гидродинамической составляющей давления произведем по формуле (8).

$$P_{дин}^n = 4 \cdot \tau_0 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\beta_i(D_c - D_o)}.$$

Однако, предварительно необходимо рассчитать гидравлический диаметр D_G , параметр Sen и коэффициент β_i (см. формулы 9, 10, 11).

$$D_{jг} = \frac{0,03659 - 0,02215}{3,14 \cdot (0,2159 + 0,168)} = 0,01198 \text{ м}$$

$$Sen = \frac{2,18 \cdot 0,01198}{21 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8136} = 1,53$$

Среднерасходная скорость глинистого раствора в затрубном пространстве не может быть использована, т.к. не учитывает величину и направление движения части среды, увлекаемой колонной и прилипшей к стенкам скважины. Поэтому, при расчете параметра Sen используем скорость восходящего потока $\omega_{ж} = 0,8136$ м/с, рассчитанную по формуле (3).

Коэффициент пропорциональности β_j в связи с малой разрешающей способностью графика $\beta_j = f(Sen)$ (Приложение II) определим по интерполяционной зависимости (10) для диапазона $1 < Sen < 100$

$$\beta_i = 0,06 + 0,35 \lg 1,53 = 0,125$$

Подставив все величины в выражение (8), имеем:

$$P_{\text{дин}}^{\text{л}} = 4 \cdot 2,18 \cdot \frac{2730}{0,125(0,2159 - 0,168)} = 3,976 \text{ МПа}$$

Таким образом, суммарное давление на пласт при скорости спуска ОК $\omega_T = 0,4 \text{ м/с}$ составит $P = 28,92 + 3,976 = 32,897 \text{ МПа}$.

Результаты расчетов заносим в таблицу 2 и график $P = f(\omega_T)$.

Пусть $\omega_T = 0,6 \text{ м/с}$. Значение числа Рейнольдса составит

$$Re_j = \frac{\omega_{\text{ж}}(D_c - D_o) \cdot \rho}{\nu} = \frac{1,218(0,2159 - 0,168) \cdot 1080}{21 \cdot 10^{-3}} = 3000,46$$

Поскольку $\omega_{\text{ж}j} < \omega_{\text{кр}}$; $1,218 < 1,54891 \text{ м/с}$;
 $Re_j < Re_{\text{кр}}$; $3000,46 < 3815,62$.

режим течения жидкости в заколонном пространстве при скорости спуска ОК $\omega_T = 0,6 \text{ м/с}$ - ламинарный.

Расчет гидродинамической составляющей давления произведем по формуле (8).

$$P_{\text{дин}}^{\text{л}} = 4 \cdot \tau_0 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\beta_i(D_c - D_o)}$$

$$Sen = \frac{2,18 \cdot 0,01198}{21 \cdot 10^{-3} \cdot 1,218} = 1,02096$$

Среднерасходная скорость глинистого раствора в затрубном пространстве не может быть использована, т.к. не учитывает величину и направление движения части среды, увлекаемой колонной и прилипшей к стенкам скважины. Поэтому, при расчете параметра Sen используем скорость восходящего потока $\omega_{\text{ж}} = 1,218 \text{ м/с}$, рассчитанную по формуле (3).

Коэффициент пропорциональности β_j в связи с малой разрешающей способностью графика $\beta_j = f(Sen)$ (Приложение II) определим по интерполяционной зависимости (10) для диапазона $1 < Sen < 100$

$$\beta_i = 0,06 + 0,35 \lg 1,02096 = 0,06315$$

Подставив все величины в выражение (8), имеем:

$$P_{\text{дин}}^{\text{л}} = 4 \cdot 2,18 \cdot \frac{2730}{0,06315(0,2159 - 0,168)} = 7,86 \text{ МПа}$$

Таким образом, суммарное давление на пласт при скорости спуска ОК $\omega_T = 0,6$ м/с составит $P = 28,92 + 7,86 = 36,79$ МПа.

Результаты расчетов заносим в таблицу 2 и график $P = f(\omega_T)$.

Пусть $\omega_T = 0,8$ м/с. Значение числа Рейнольдса составит

$$Re_j = \frac{\omega_{ж}(D_c - D_o) \cdot \rho}{\nu} = \frac{1,624(0,2159 - 0,168) \cdot 1080}{21 \cdot 10^{-3}} = 4000,61$$

Поскольку $\omega_{жj} > \omega_{КР}$; $1,624 > 1,54891$ м/с;
 $Re_j > Re_{КР}$; $4000,61 > 3815,62$.

Поскольку $Re_j > Re_{КР}$, режим течения жидкости во всем поперечном сечении кольцевого пространства – турбулентный. Расчет гидродинамической составляющей давления произведем по формуле (12).

$$P_{дин}^T = \frac{\rho_{ж} \cdot \lambda}{2} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{l_i \cdot \omega_{ж}^2}{D_{iГ}} = 8,32 \text{ МПа, где}$$

$$\lambda = 0,106 \frac{1,46K_э}{D_к} + \frac{100}{Re} + \frac{6,72^{0,25}}{Re^4} = 0,02566 ,$$

Таким образом, суммарное давление на пласт при скорости спуска ОК $\omega_T = 0,8$ м/с составит $P = 28,92 + 8,32 = 37,2499$ МПа.

Пусть $\omega_T = 1$ м/с. Значение числа Рейнольдса составит

$$Re_j = \frac{\omega_{ж}(D_c - D_o) \cdot \rho}{\nu} = \frac{2,03(0,2159 - 0,168) \cdot 1080}{21 \cdot 10^{-3}} = 5000,76$$

Поскольку $Re_j > Re_{КР}$, режим течения жидкости во всем поперечном сечении кольцевого пространства – турбулентный.

Расчет гидродинамической составляющей давления произведем по формуле (12).

$$P_{дин}^T = \frac{\rho_{ж} \cdot \lambda}{2} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{l_i \cdot \omega_{ж}^2}{D_{iГ}} = 10,4801 \text{ МПа, где}$$

$$\lambda = 0,106 \frac{1,46K_э}{D_к} + \frac{100}{Re} + \frac{6,72^{0,25}}{Re^4} = 0,02067$$

Суммарное давление на пласт при скорости спуска ОК $\omega_T = 1,0$ м/с составит $P = 28,92 + 10,4801 = 39,4001$ МПа.

Так как при скорости спуска обсадной колонны 1 м/с суммарное давление на пласт не превышает давление гидроразрыва, максимальная скорость спуска составляет 1 м/с.

Проведение дальнейших расчетов не представляет интереса, поскольку рекомендуемые скорости спуска обсадной колонны не должны превышать 1 м/с.

Рассмотрим, что произойдет при скорости спуска 1,5 м/с.

Пусть $\omega_T = 1,5$ м/с. Значение числа Рейнольдса составит

$$Re_j = \frac{\omega_{ж}(D_c - D_o) \cdot \rho}{\nu} = \frac{3,045(0,2159 - 0,168) \cdot 1080}{21 \cdot 10^{-3}} = 7501,14$$

Поскольку $Re_j > Re_{кр}$, режим течения жидкости во всем поперечном сечении кольцевого пространства – турбулентный.

Расчет гидродинамической составляющей давления произведем по формуле (12).

$$P_{дин}^T = \frac{\rho_{ж} \cdot \lambda}{2} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{l_i \cdot \omega_{ж}^2}{D_{иг}} = 15,9743 \text{ МПа, где}$$

$$\lambda = 0,106 \frac{1,46K_3}{D_k} + \frac{100}{Re} + \frac{6,72^{0,25}}{Re^4} = 0,014$$

Суммарное давление на пласт при скорости спуска ОК $\omega_T = 1,5$ м/с составит $P = 28,92 + 15,9743 = 44,8943$ МПа.

При скорости спуска 1,5 м/с сумма развиваемых давлений превысила давление гидроразрыва пласта.

Результаты расчетов заносим в таблицу 2 и график $P = f(\omega_T)$.

По построенному графику, при известном значении $P_{гр}$, определяем предельную скорость спуска обсадной колонны. $\omega_{п} = 1$ м/с.

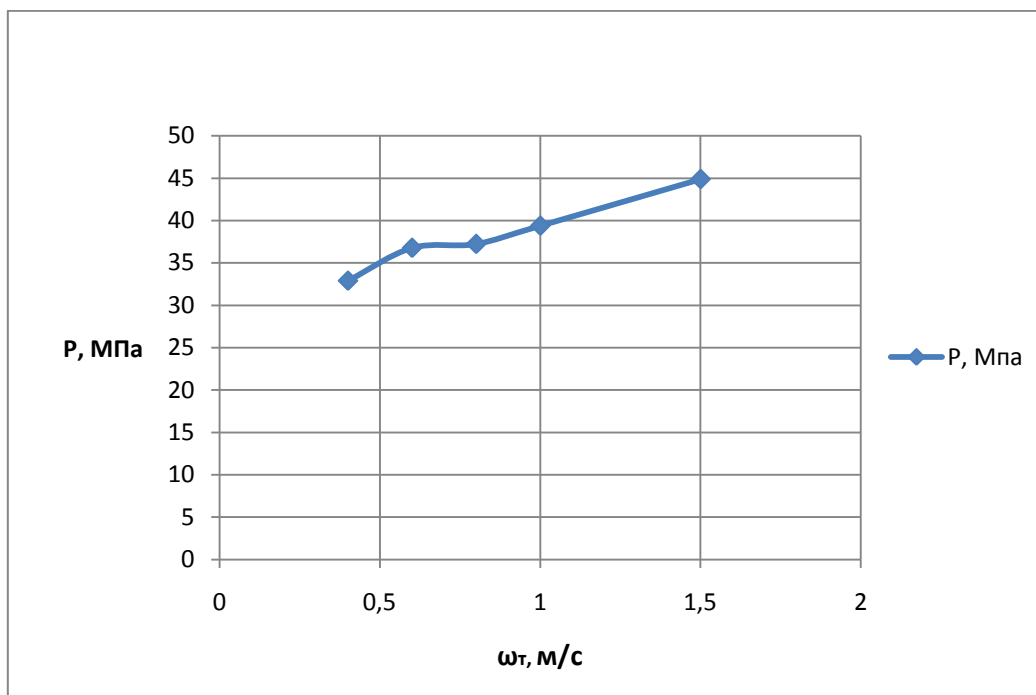


Рис. 3. График зависимости давления в скважине от скорости спуска обсадной колонны

Список литературы

1. Агзамов Ф.А. и др. Учебно-методическое пособие по заканчиванию скважин. – Уфа, 2002. – 196 с.
2. Гукасов Н.А., Кочнев А.М. Гидравлика в разведочном бурении. Справочное пособие. – М.: «Недра», 1991. – 250 с.
3. Овчинников В.П. и др. Заканчивание скважин. Учебно-справочное пособие. Тюм. ГНГУ (ИНиГ), Тюмень, 2005. – 204 с.
4. Пыхачев Г.Б., Исаев Р.Г. Подземная гидравлика. Учебное пособие. М., «Недра», 1972. – 360 с.
5. Соловьев Е.М. Задачник по заканчиванию скважин. Учебное пособие для ВУЗов. – М.: «Недра», 1989. – 251 с.
6. Справочник по креплению нефтяных и газовых скважин. Под ред. А.И. Булатова. – М.: «Недра», 1977. – 253 с.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое коэффициент кавернозности, методы и средства его определения.
2. Физический смысл δ_1, δ_2 , установить связь $\omega_{ж} = f(\delta_1, \delta_2)$.
3. Чем отличается пластическая вязкость от динамической.
4. Дать понятие абсолютного, избыточного, статического и динамического давлений.
5. Как влияет толщина пограничного слоя на режим течения жидкости в круглой (квадратной) трубе, кольцевом пространстве.
6. Чем отличается касательное напряжение трения от динамической вязкости.
7. Привести примеры, поясняющие СНС, ДНС.
8. Пояснить физический смысл и размерность коэффициента b_T .
9. Проверить размерность критерия Хедстрема.
10. Что понимается под реологическими свойствами среды.
11. Кто такой О. Рейнольдс и чем он обессмертил свое имя.
12. Давление гидроразрыва пласта, физический смысл, методы определения.
13. Физический смысл и необходимость применения в расчетах среднерасходной скорости.
14. Чем отличается $\omega_{кр}$ от $\omega_{п}$.
15. Дать пример распределения локальных скоростей в квадратной трубе при $Re < Re_{кр}$.
16. Единицы измерения кинематической вязкости в СИ, СГС, НПГ.
17. Дать понятие ламинарного, турбулентного и структурного режимов течения среды.
18. Установить зависимость объемного Q и массового G расходов среды от t, ρ, μ, P .
19. Сформулировать условия возникновения турбулентного режима течения среды.
20. Закон сохранения энергии для движущегося потока жидкости.
21. Плотность, удельный вес, физический смысл, единицы измерения.
22. Проверить размерность чисел Sen, Re .
23. Установить связь между коэффициентом кавернозности k и коэффициентом увлечения среды b_T .
24. Реологические кривые псевдопластичных и вязкопластичных сред.
25. Уравнение неразрывности потока жидкости.
26. Переходный режим течения жидкости, физический смысл.
27. Почему из расчетов $\sum(P_{ст} + P_{дин})$ исключено P_0 .
28. Как и почему температура, давление, ускорение свободного падения влияют на удельный вес и плотность вытесняемой среды.

Приложение I

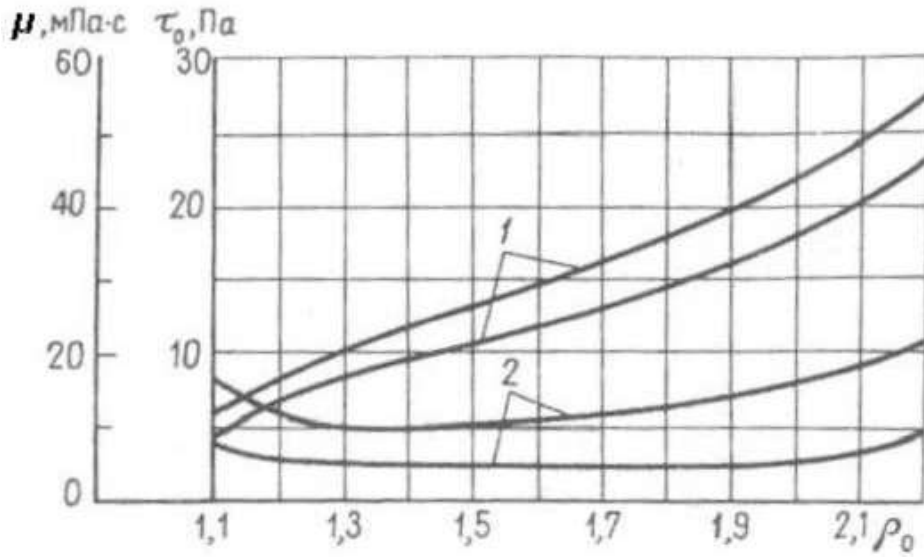


Рис. 4. Оптимальное соотношение динамической вязкости (1), динамического напряжения сдвига (2) и относительной плотности промывочной жидкости на водной основе

Приложение II

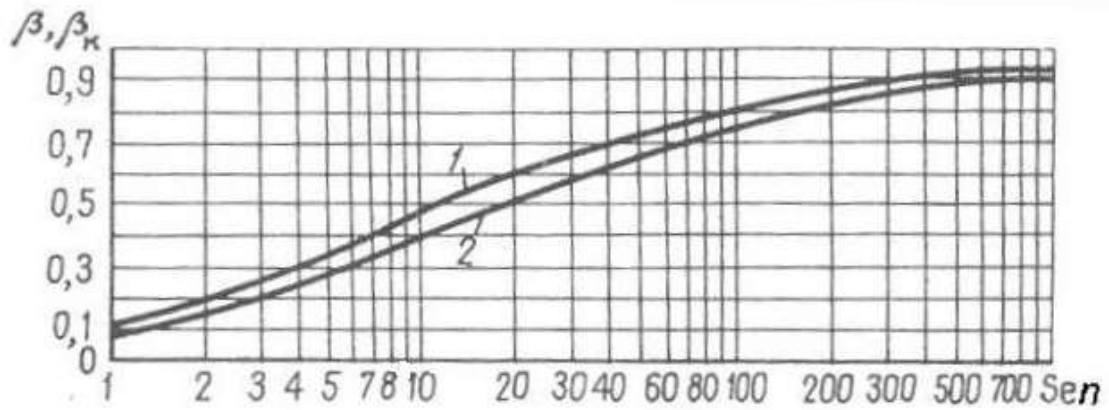


Рис. 5. Кривые зависимости коэффициентов β и β_k от числа Сен-Венана-Илюшина.: 1 – для труб круглого сечения; 2 – для концентрического кольцевого пространства

Учебное издание

РАСЧЕТ СКОРОСТИ СПУСКА ОБСАДНОЙ КОЛОННЫ

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Заканчивание скважин»
для студентов, обучающихся по специальности 130504 «Разра-
ботка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» на-
правления 130500 «Нефтегазовое дело»

Купреков Владимир Степанович

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать XEROX. Усл.печ.л. Уч.-изд.л.

Заказ Тираж 100 экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.
Тел/факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru