



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Самарский государственный технический университет»  
(ФГБОУ ВПО «СамГТУ»)**

**Методические указания по практическим занятиям**

**Крепление нефтяных и газовых скважин**

**Направление подготовки,  
профиль**

1. Направление 131000 «Нефтегазовое дело»  
профиль «Бурение нефтяных и газовых скважин»
- 

**Квалификация (степень) выпускника** бакалавр

---

**Форма обучения** Очная (7 семестр)

---

**Кафедра-разработчик рабочей программы** Бурение нефтяных и газовых скважин

---

# РАСЧЁТ РАВНОПРОЧНЫХ ОБСАДНЫХ КОЛОНН

## 1. Расчёт эксплуатационной колонны нефтяной скважины.

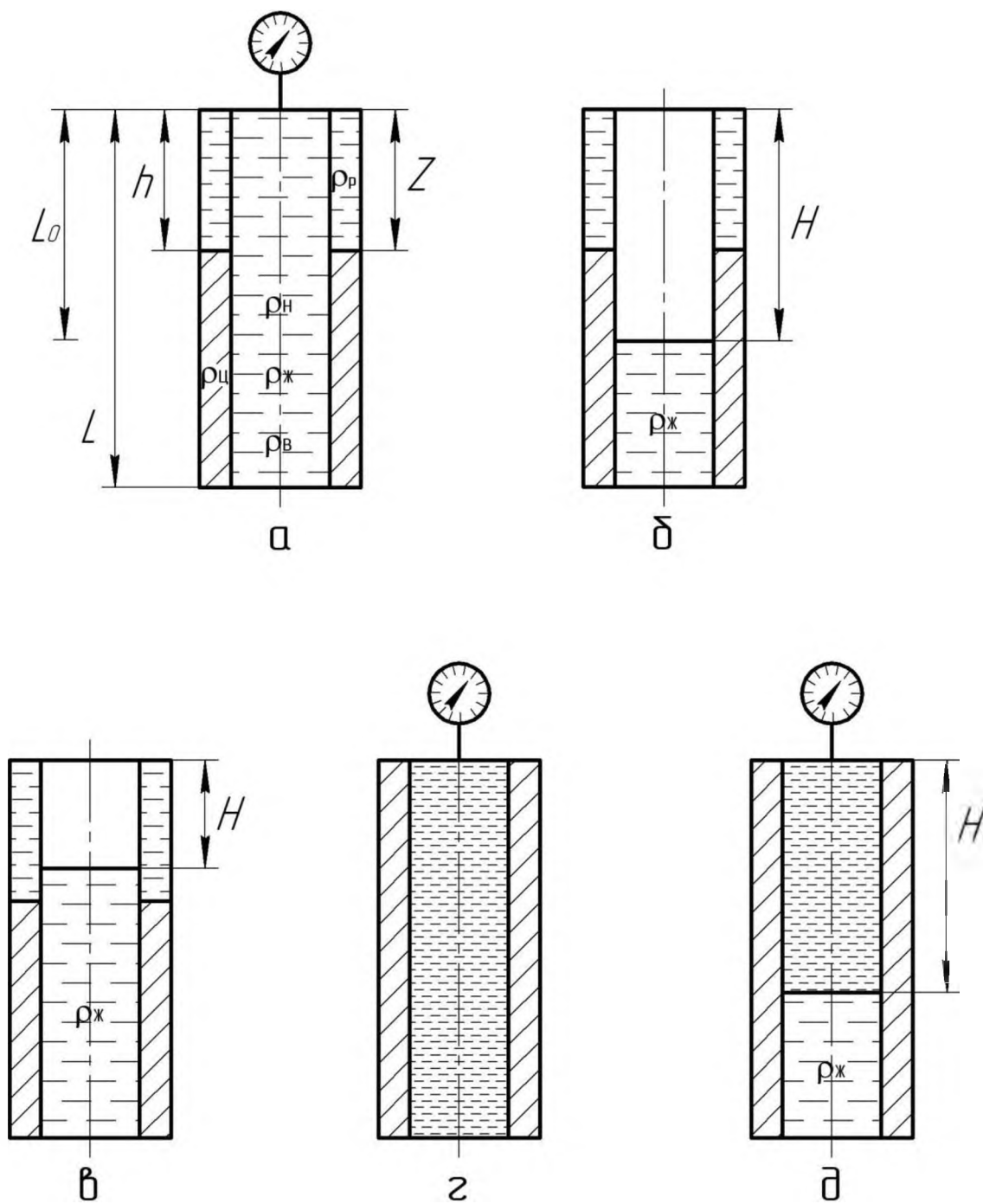


Рис. 1

## РАСЧЁТНЫЕ СХЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

На рис. 1 представлены схемы для определения давлений:

**а, б, в** – нефтяные скважины;

**а** – период ввода в эксплуатацию при закрытом устье;

**б, в** – при освоении, испытании на герметичность снижением уровня жидкости и при окончании эксплуатации;

**г** – газовые скважины;

**д** – газоконденсатные.

**L** – глубина подошвы продуктивного горизонта, *м*;

**L<sub>0</sub>** – глубина спуска предыдущей колонны, *м*;

**H** – глубина снижения уровня жидкости в колонне, *м*;

**h** – высота подъёма цементного раствора, *м*;

**Z** – расстояние от устья скважины до рассматриваемого сечения, *м*;

**ρ<sub>р</sub>, ρ<sub>ц</sub>, ρ<sub>в</sub>, ρ<sub>н</sub>, ρ<sub>ж</sub>** – плотности: промывочной жидкости, цементного раствора, воды, нефти, жидкости в колонне, *кг/м<sup>3</sup>*.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЙ И НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ КОЛОННУ

#### 1. Внутреннее давление

а) Максимальное внутреннее давление при вводе скважины в эксплуатацию или при нагнетании жидкости:

- для периода эксплуатации:

$$P_{BHZ} = P_{пл} - 10^{-5} \cdot \rho_H \cdot (L - Z), \quad (1)$$

- для нагнетательных скважин:

$$P_{BHZ} = P_{пл} - 10^{-5} \cdot \rho_B \cdot (L - Z) + \Delta P_3 + \Delta P_B, \quad (2)$$

где: **ΔP<sub>3</sub>** – перепад давления на забое (2 -3 МПа)

**ΔP<sub>B</sub>** – гидравлическое сопротивление на длине (L-Z).

б) минимальные внутренние давления (при освоении или в конце эксплуатации) от 0 до H; P<sub>BHZ</sub>=0; H=(0,3-0,4) L

$$P_{BHZ} = 10^{-5} \cdot \rho_{ж} \cdot (Z - H), \quad (3)$$

#### 2. Наружное давление

а) в незацементированной части:

$$P_{HZ} = 10^{-5} \cdot \rho_P \cdot Z, \quad (4)$$

б) в зацементированной части:

Наружное давление в интервале, закреплённом предыдущей колонной, определяют по составному давлению столбов бурового раствора и гидростатического давления столба воды полностью ρ<sub>ГВ</sub>=1,1·ρ<sub>в</sub> высотой от башмака предыдущей колонны, до «головы» цемента.

$$P_{HZ} = 10^{-5} \cdot [\rho_P \cdot h + \rho_{ГВ} \cdot (Z - h)], \quad (5)$$

В необсаженной зоне P<sub>HZ</sub> определяется по пластовым промежуточным и конечным давлениям. Пластовое давление в пластах мощностью до 200 м определяют в середине пласта:

$$P_{пл} = \frac{P_{кр} + P_{п}}{2}, \quad (6)$$

где **P<sub>кр</sub>** и **P<sub>п</sub>** – давление в кровле и подошве горизонта.

Если мощность пласта больше 200 м, то распределение давления в пласте происходит по линейному закону (Рис. 2).

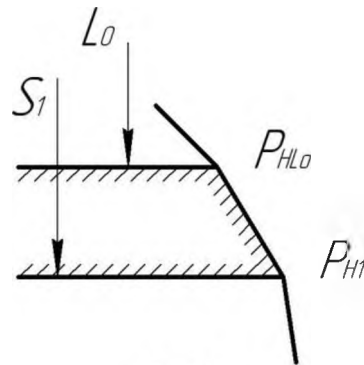


Рис. 2

Таким образом, если  $S_1$  – глубина залегания первого проницаемого горизонта, то в интервале  $L_0 \leq Z \leq S_1$  наружное давление определяется формулой:

$$P_{HZ} = P_{HL_0} + \frac{P_{П/IS_1} - P_{П/IS_0}}{S_1 - L_0} \cdot (Z - L_0), \quad (6a)$$

Если имеется два проницаемых горизонта с глубинами залегания  $S_1$  и  $S_2$ , как изображено на рис. 3, наружное давление будет равно:

$$P_{HZ} = P_{П/IS_1} + \frac{P_{П/IS_2} - P_{П/IS_1}}{S_2 - S_1} \cdot (Z - S_1),$$

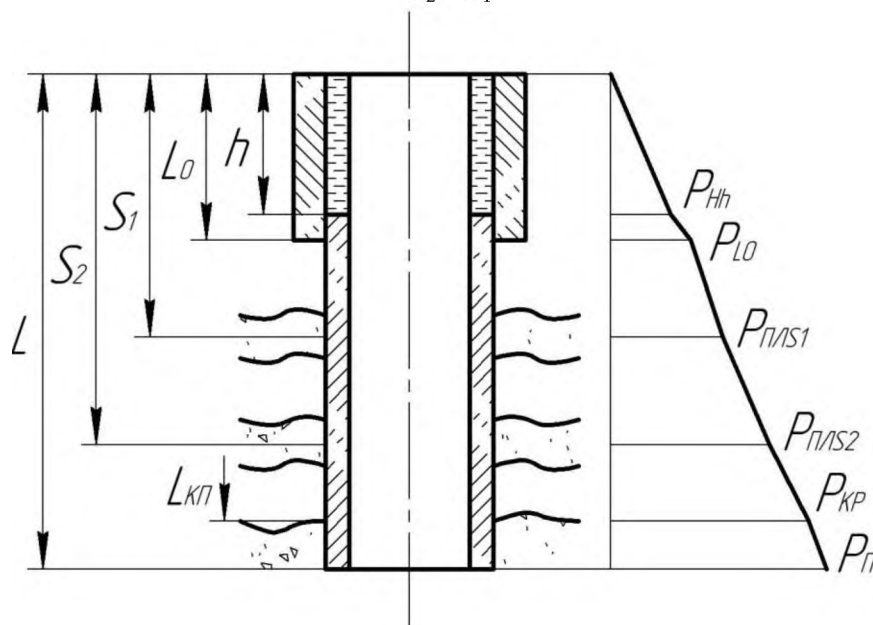


Рис. 3. Схема определения наружных давлений при наличие проницаемых горизонтов

В общем случае, формула для определения наружного давления между проницаемыми горизонтами будет иметь вид:

$$P_{HZ} = P_{П/IS_{(i-1)}} + \frac{P_{S_i} - P_{S_{(i-1)}}}{S_i - S_{(i-1)}} \cdot (Z - S_{(i-1)}),$$

где  $i = 2, 3$  и т.д.

Расчёт наружного давления в интервале залегания пород, склонных к текучести производится по горному давлению:

$$P_{\text{гг}} = 10^{-5} \cdot \rho_{\text{гг}} \cdot Z, \quad (7)$$

где:  $\rho_{\text{гг}}$  – плотность горных пород.

Плотность горных пород определяется для первых двух-трёх разведочных скважин по кривым уплотнения, приведённым на рис. 4, в зависимости от глубины их залегания.

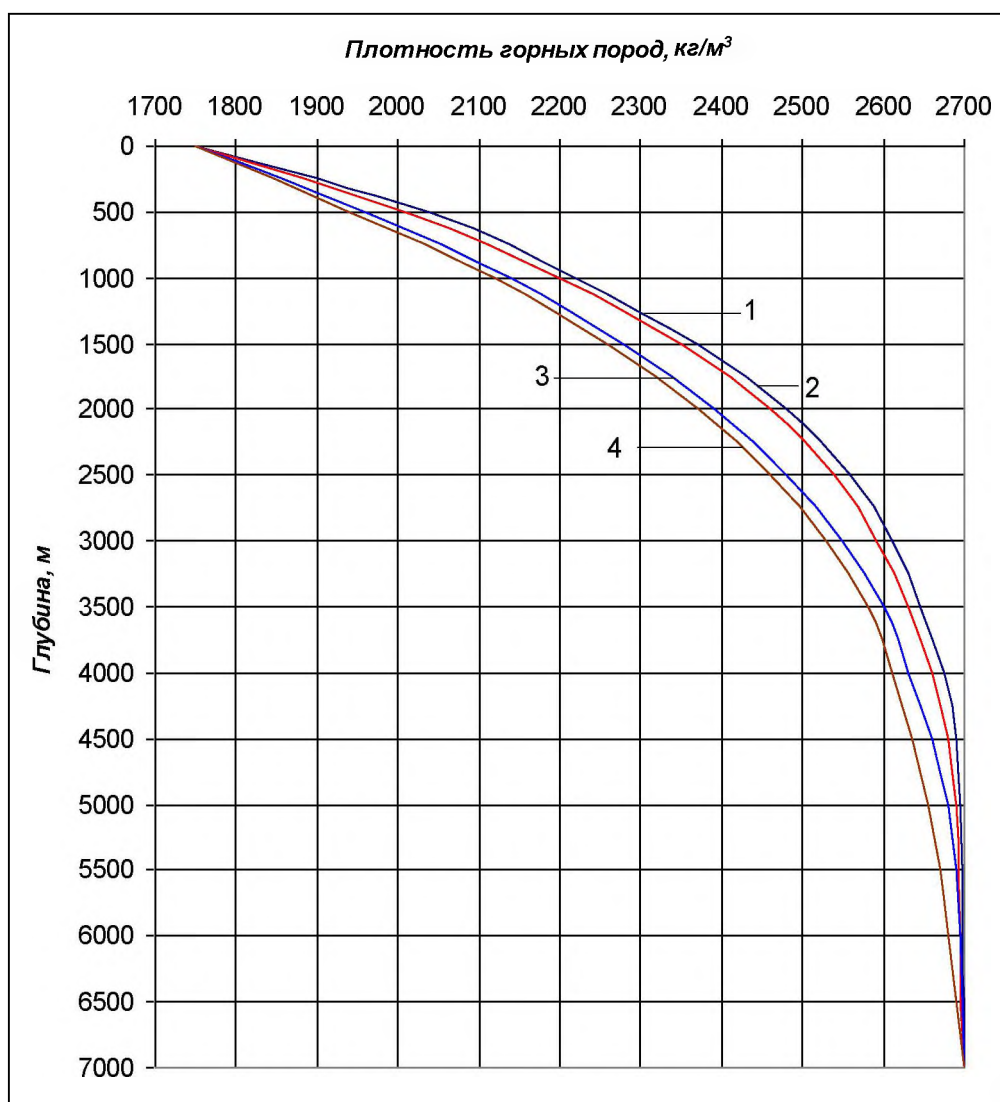


Рис. 4. Кривые уплотнения горных пород в различных регионах:  
1 – Волгоградская область и Поволжье; 2 – Тюменская область; 3 – Предкавказье; 4 – Туркмения, Азербайджан.

Расчёт давлений по пластовому и горному давлениям производится для интервалов равных мощности пласта  $N + 100$  м (50 м выше кровли и 50 м ниже подошвы).

### 3. Избыточные наружные давления

*Избыточное наружное давление* - это разность между наружным и внутренним давлениями, для одних и тех же работ в скважине и для одного и того же периода времени.

$$P_{\text{ннз}} = P_{\text{нз}} - P_{\text{внз}}, \quad (8)$$

Избыточное наружное давление наибольшее тогда, когда наименьшее внутреннее.

а) в незацементированной части

- если  $h < H$ , в интервале  $0 \leq Z \leq h$

$$P_{НИЗ} = 10^{-5} \cdot \rho_p \cdot Z;$$

- если  $h > H$ , в интервале  $0 \leq Z \leq H$

$$P_{НИЗ} = 10^{-5} \cdot \rho_p \cdot Z;$$

в интервале  $H \leq Z \leq h$

$$P_{НИЗ} = 10^{-5} \cdot [\rho_p \cdot Z - \rho_H \cdot (Z - H)];$$

б) в зацементированной части

На башмаке предыдущей колонны, а также против пластовых давлений  $P_{НИЗ}$  определяется:

$$P_{НИЗ} = P_{HZ} - P_{ВНЗ}, \quad (11)$$

В момент окончания цементирования:

$$P_{НИЗ} = 10^{-5} \cdot [\rho_p \cdot h - \rho_{Ц} \cdot (Z - h) - \rho_{Ж} \cdot Z], \quad (12)$$

#### 4. Избыточные внутренние давления

**Избыточные внутренние давления** - это разность между внутренними и наружными давлениями, когда внутреннее давление наибольшее. Это в период опрессовки колонны или при проведении ремонтно-изоляционных работ на скважине.

$$P_{ВНИЗ} = P'_{ВНЗ} - P_{HZ}, \quad (13)$$

Внутренние давления при определении герметичности колонны (опрессовка) определяются:

$$P'_{ВНИЗ} = 1,1 \cdot P_{ВНУ} + 10^{-5} \cdot \rho_B \cdot Z, \quad (14)$$

Вместо  $1,1 \cdot P_{ВНУ}$  может быть подставлено  $P_{ОПР}$ , если оно больше, т.е.  $P_{ОПР} > 1,1 \cdot P_{ВНУ}$ , тогда:

$$P'_{ВНИЗ} = P_{ОПР} + 10^{-5} \cdot \rho_B \cdot Z, \quad (15)$$

$P_{ОПР}$  или  $1,1 \cdot P_{ВНУ}$  не должно быть меньше минимального внутреннего давления при опрессовке указанного в таблице 1.

Таблица 1

Наружный диаметр колонны, мм	Минимальное опрессовочное давление, МПа
114 – 127	15,0
140 – 146	12,5
168	11,5
178 – 194	9,5
219 – 245	9,0
273 – 351	7,5
377 – 508	6,5

## ПРОЧНОСТЬ ОБСАДНЫХ ТРУБ

### 1. Прочность труб на смятие

**Критическое давление** – это давление, при котором напряжения в теле трубы достигают предела текучести и при повышении которого наступит смятие трубы от наружного давления.

Критическое давление на смятие трубы определяется по формуле Саркисова (АзНИИ):

$$P_{кр(сзм)} = 1,1 \cdot K_{\min} \cdot \left\{ \sigma_T + E \cdot K_0^2 \cdot \rho \cdot \left( 1 + \frac{3 \cdot e}{2 \cdot \rho^3 \cdot K_{\min}} \right) - \sqrt{\left[ \sigma_T + E \cdot K_0^2 \cdot \rho \cdot \left( 1 + \frac{3 \cdot e}{2 \cdot \rho^3 \cdot K_{\min}} \right) \right]^2 - 4 \cdot E \cdot K_0^2 \cdot \rho \cdot \sigma_T} \right\}, \quad (16)$$

При определении критического давления, учитывается, что труба может быть овальной. Овальность труб учитывается коэффициентом ( $e$ ).

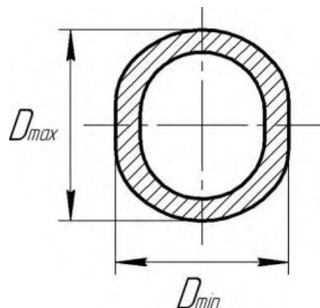


Рис. 5

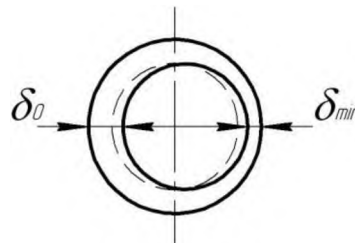


Рис. 6

$$e = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{ср}} = 2 \cdot \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\max} + D_{\min}}$$

Для труб исполнения «Е» до диаметра 245 мм,  $e=0,01$ , для больших диаметров  $e=0,015$ .

Коэффициенты  $K_{\min}$ ,  $K_0$  и  $\rho$  учитывают равновесность труб

$$K_{\min} = \frac{\delta_{\min}}{D_H}; \quad \delta_{\min} = 0,875 \cdot \delta_H;$$

$$K_0 = \frac{\delta_0}{D_H}; \quad \delta_0 = 0,905 \cdot \delta_H;$$

$D_H$  – наружный диаметр трубы, см;

$\delta_H$  – номинальная толщина стенки трубы, см;

$\delta_0$  – расчётная величина стенки трубы, см;

$\delta_{\min}$  – минимальная толщина стенки, см.

$$\rho = \frac{K_0}{K_{\min}} = \frac{\delta_0}{\delta_{\min}} = \frac{0,905}{0,875} = 1,034.$$

$E$  – модуль упругости Юнга;

$\delta_T$  – предел текучести, МПа.

## II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ТРУБ ПРИ ДВУХОСНОМ НАГРУЖЕНИИ С УЧЁТОМ РАСТЯЖЕНИЯ ТРУБ

Критическое давление с учётом растягивающих нагрузок при двухосном нагружении, т.е. при совместном действии давления смятия и веса труб определяется по следующему выражению:

$$P'_{кр} = P_{кр} \cdot \left( 1 - 0,3 \cdot \frac{Q}{Q_T} \right), \quad (17)$$

где:  $P_{кр}$  – сминающее давление, определяемое по формуле Саркисова;

$Q$  – вес нижних секций труб;

$$Q = q \cdot l_1 + q_2 \cdot l_2 + \dots$$

$Q_T$  – растягивающая нагрузка, при которой напряжения в теле трубы достигают предела текучести;

$$\sigma_T = \frac{Q_T}{F}; \quad Q_T = \sigma_T \cdot F; \quad (18)$$

$$F = 0,785 \cdot (D_H^2 - d_{BH}^2); \quad d_{BH} = D_H - 2 \cdot \delta_0.$$

Избыточное наружное давление для труб должно быть не выше допустимого:

$$P_{HHZ} = \frac{P_{KP}}{n_1}, \quad (19)$$

$$P_{HHZ} = \frac{P'_{KH}}{n_1}.$$

$n_1$  – коэффициент запаса прочности на наружное избыточное давление (на смятие). Для секций, находящихся в зоне эксплуатационного объекта  $n_1=1,0-1,3$  (в зависимости от устойчивости объекта). Для вышенаходящихся секций  $n_1=1,0$ .

### III. ВНУТРЕННЕЕ ДАВЛЕНИЕ

Внутреннее давление, при котором напряжение в теле трубы достигает предела текучести, определяется по формуле Барлоу:

$$P_T = \frac{2 \cdot \delta_{min}}{D_H} = 0,875 \cdot \frac{2 \cdot \delta_H \cdot \delta_T}{D_H}, \quad (20)$$

Избыточное внутреннее давление не должно превышать допустимого:

$$P_{BHIZ} = \frac{P_T}{n_2}, \quad (21)$$

$n_2$  – коэффициент запаса прочности на внутреннее давление. Для труб диаметром до 219 мм  $n_2=1,15$ ; свыше 219 мм,  $n_2=1,45$ .

### IV. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРАГИВАЮЩИХ НАГРУЗОК

**Страгивающая нагрузка** – это нагрузка от осевых сил (веса обсадной колонны), при которой напряжение в резьбовой части труб достигает предела текучести.

Определяется страгивающая нагрузка по формуле Яковлева-Шумилова:

$$P_{СТР} = \frac{\pi \cdot D_P \cdot b \cdot \sigma_T}{1 + \eta \cdot \frac{D_P}{2 \cdot l}} \cdot ctg(\alpha + \varphi), \quad (22)$$

$D_P$  – расчётный диаметр, см;

$b$  – толщина стенки трубы по впадине первой полной нитке (5-ой);

$$b = \delta_H - h,$$

$$D_{CP} = D_H - 2 \cdot h - b.$$

$h$  – высота профиля резьбы, см;

$l$  – длина полных ниток резьбы, см;

$\alpha$  – угол профиля резьбы ( $60^\circ$ );

$\varphi$  – угол трения стали по стали –  $5^\circ - 9^\circ$  ( $7^\circ$ );

$\eta$  – коэффициент разгрузки.

$$\eta = \frac{b}{\sigma_H + b}$$



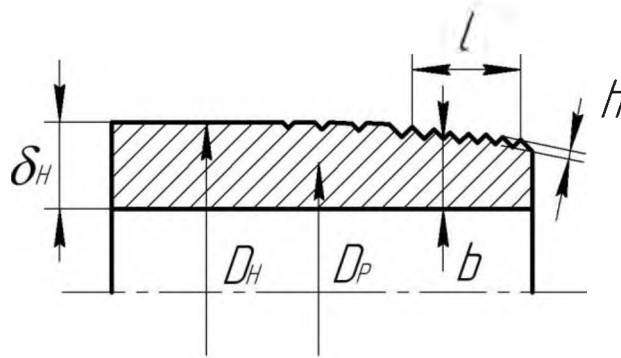


Рис. 7

Вес колонны не должен быть выше допустимого:

$$Q_d = \frac{P_{СТР}}{n_3},$$

$n_3$  – коэффициент запаса прочности на страгивание (указан в таблице 2).

Таблица 2

Диаметр трубы, мм	Длина колонны, м	Запас прочности на страгивание	
		Вертикальная скв.	Н/направленная скв.
114 – 168	до 3000	1,15	1,3
	свыше 3000	1,3	1,45
178 – 245	до 1500	1,3	1,45
	свыше 1500	1,45	1,45
273 – 324	до 1500	1,45	1,6
	свыше 1500	1,6	1,6
> 324	до 1500	1,6	1,75
	свыше 1500	1,75	1,75

Для трапециидальной резьбы  $n_3 = 1,8$ .

## Порядок расчёта эксплуатационных колонн.

1. На основании исходных данных выбирают расчётную схему и определяют значения внутренних, наружных и избыточных наружных и внутренних избыточных давлений на устье ( $P_V$ ) и на глубинах  $h$ ,  $L_0$ ,  $H$ ,  $S_i$ ,  $L$ .

2. При мощности продуктивного горизонта свыше 200 м (при расчётах по пластовому давлению) дополнительно определяют  $P_{НИЗ}$  на кровле и подошве пластов.

3. Строятся эпюры этих давлений, причём для  $P_{НИЗ}$  строится обобщённый эпюр.

4. Определившись в запасе прочности на смятие ( $n_1$ ) для первой (нижней) секции определяют требуемое наружное давление для этой секции  $P_{1ТР} = P_{НИЗ} \cdot n_1$ . По таблице 2 или конструкции по расчёту обсадных колонн (1989г. изд.) подбирают трубы для секции 1 с учётом  $P_{1КР} > P_{1ТР}$ .

5. Выбирают длину 1 секции ( $l_1$ ), которая принимается равной мощности продуктивного горизонта ( $N$ ) плюс длина зумпфа ( $l_3$ ) и длина деталей низа эксплуатационной колонны  $l_H$ .

$$l_1 = N + 50 + l_3 + l_H;$$

$$l_3 = 10 \div 25 \text{ м};$$

$$l_H = 10 \div 25 \text{ м}.$$

где 50 м – выше кровли продуктивного горизонта.

6. Для выбранных труб определяют запас прочности на внутренне давление  $n_2$  и проверяют первую секцию на внутреннее давление на глубине «головы» первой секции. Если запас прочности окажется меньше допустимого, то подбор труб для первой секции производят по внутреннему давлению.

$$n_2 = \frac{P_{1Т}}{P_{ВННЗ}};$$

( $P_{1Т}$  – определяют по табл. 4 инструкции)

7. По эпюру  $P_{НИЗ}$  на «голове» нижней секции (1-ой) или на подошве второй и поэтому давлению по табл. 2 инструкции подбирают трубы для второй секции с  $P_{2КР} > P_{2НИЗ}$ .

8. Определяют вес первой секции

$$Q_1 = q_1 \cdot l_1$$

где  $q_1$  – вес 1 погонного метра труб 1 секции, определяют по таблице 2 инструкции.

9. Определяют  $P'_{2КР}$  для труб 2 секции по формуле 17 для двухосного нагружения с учётом веса первой секции. Если  $P'_{2КР} > P_{НН}$ , то 2-ю секцию оставляют, если нет, то заменяют на более прочную.

10. Для определения длины 2-ой секции, выбирают трубы для 3-ей секции с меньшей прочностью, чем вторая (на группу прочности ниже или 1 мм тоньше по стенке), из таблицы 2 инструкции с  $P_{ЗКР}$  и по эпюре  $P_{НИЗ}$  определяют на какую глубину ( $Z_3$ ) эти трубы можно спустить. Разность между глубиной спуска второй секции ( $Z_2$ ) (головы первой секции) и глубиной спуска третьей будет длина 2-ой секции.

$$L_2 = Z_2 - Z_3;$$

$$l'_2 = \frac{l_2}{\cos \alpha_2}.$$

11. Определяют вес второй секции по таблице 12 инструкции находят  $q_2$ :

$$Q_2 = q_2 \cdot l_2$$

12. Определяют величину  $P'_{ЗКР}$  для труб 3-ей секции по формуле 17 для условий двухосного нагружения с учётом влияния растягивающих нагрузок от веса первой и второй секции:

$$Q_{1-2} = Q_1 + Q_2$$

13. Далее производят проверочный расчёт второй секции на внутренне давление:

$$n_2 = \frac{P_{2T}}{P_{ВНИЗ}}$$

( $P_{2T}$  – определяют по табл. 4 инструкции)

14. Для определения длины 3-ей секции, необходимо выбрать трубы 4-ой секции менее прочные, чем 3-я (по таблице 2 инструкции).

15. По эюру  $P_{НИЗ}$  определяют глубину спуска 4 секции ( $Z_4$ ) для условий двухосного нагружения от веса 3-х секций ( $P'_{4КР}$ ). По этому давлению по эюру  $P_{НИЗ}$  уточняют глубину спуска четвёртой секции.

16. Определяют глубину третьей секции:

$$l_3 = L - Z_4 - l_1 - l_2$$

и вес  $Q_3$ .

17. Производится проверочный расчёт 3-ей секции на внутреннее давление.

18. Примерно на 4-ой секции расчёт  $P_{НИЗ}$  заканчивают и предполагают, что колонна будет завершена 4-ой секцией.

19. Определяют вес 4-х секций, т.е. всей колонны:

$$Q_{1-4} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + q_4 \cdot l_4$$

20. Проверяют подобранную колонну на страгивание

$$n_3 = \frac{P_{4СТР}}{Q_{1-4}}$$

Если запас прочности ниже допустимого, то длина четвёртой секции определяется из условия страгивания:

$$l_4 \leq \frac{1}{q_4} \cdot \left( \frac{P_{4СТР}}{n_3} - Q_{1-3} \right)$$

21. Проверяется 4-я секция на внутреннее давление.

22. Определяются длины следующих 5, 6 (более прочных, чем 4-ая), и т.д. на условиях страгивания до завершения колонны.

23. Проверяются 5, 6 и т.д. секции на внутреннее давление.

24. Составляется итоговая таблица:

№ секции	Длина секции, м	Вес секции, кН	Запас прочности						
			на смятие, $n_1$		на внутр. давление, $n_2$		на страгивание, $n_3$		
			треб.	факт.	треб.	факт.	треб.	факт.	
1									
2									
и т.д.									

### Особенности расчёта обсадных колонн наклонно-направленных скважин

Проблема состоит в том, что в изогнутой части скважины обсадные трубы испытывают, в дополнение к описанным силам и давлениям, усилия изгиба. Увеличение нагрузок можно учесть соответствующим увеличением запаса прочности.

Для определения наружных и внутренних давлений применяются те же формулы, что и для вертикальных скважин.

Разница заключается в том, что расчётные глубины определяются на проекциях профиля скважины на вертикальную плоскость. Это легко объяснить: давление зависит от уровня жидкости в канале, а не от его формы.

Проекцию ствола скважины  $Z'$  на вертикальную плоскость  $Z$  согласно инструкции [1] определяют по формуле:

$$Z' = Z - \Delta Z',$$

где  $\Delta Z'$  - удлинение ствола скважины на глубине  $Z'$ .

Если удлинение ствола скважины не больше 50 м, допускается производить расчёт давлений, как для вертикальной скважины.

Пример построения эпюры давлений для наклонно-направленной скважины приводится на рис. 8.

Эпюра давлений в наклонной скважине строится для глубин, являющихся их проекциями на вертикальную плоскость.

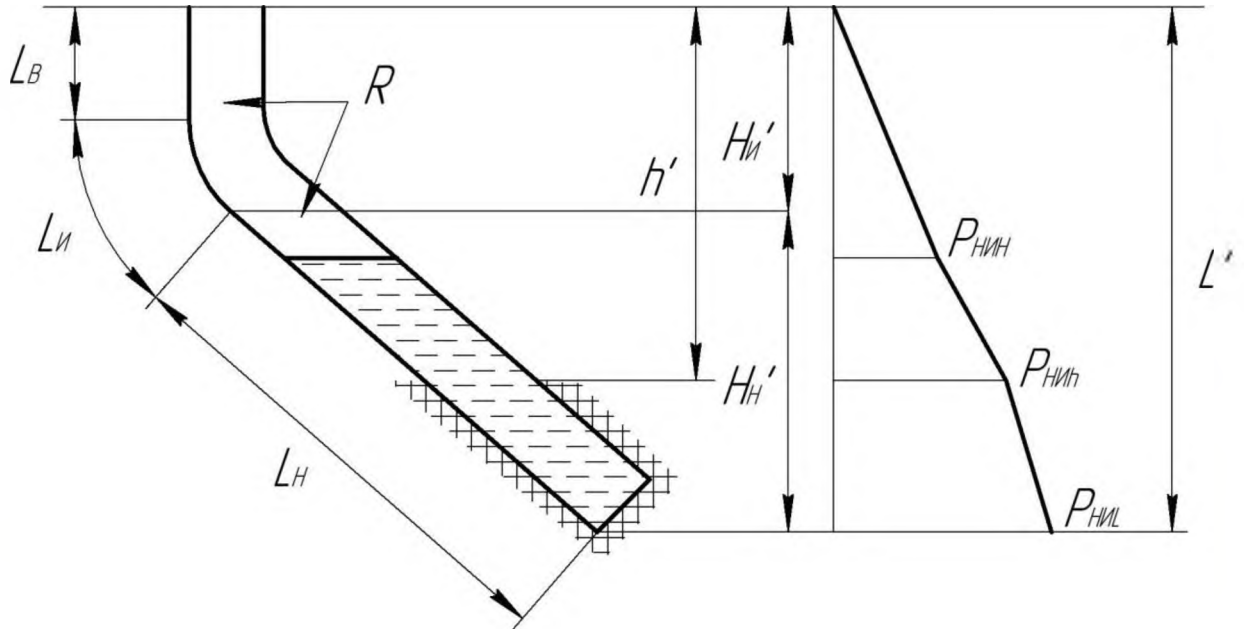


Рис. 8. Построение эпюры давлений для наклонно-направленной скважины

Из геометрии известно соотношение между длиной дуги, углом и радиусом:

$$l = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot \alpha}{360}, \quad (65)$$

$$\text{откуда } R = \frac{360 \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot \alpha} \approx \frac{l}{0,01745 \cdot \alpha} \quad (66)$$

Используя формулу (66), можно найти проекцию искривлённого участка:

$$H_{II} = R \cdot \sin \alpha, \quad (67)$$

Проекция глубины конца искривлённого участка (начала наклонного) на вертикальную плоскость определится как сумма:

$$H'_{II} = L_B + H_{II} \quad (68)$$

Проекция длины наклонного участка:

$$H'_{H} = L_H \cdot \cos \alpha. \quad (69)$$

Проекция всего ствола скважины:

$$L' = H'_{II} + H'_{H}. \quad (70)$$

Удлинение составит:

$$\Delta L = L - L'. \quad (71)$$

В том случае, если  $\Delta L > 50$  м, то при расчёте давлений необходимо учитывать искривление скважины и характерные глубины определить как проекции по формуле:

$$Z' = (Z - L_B - L_{II}) \cdot \cos \alpha + H'_{II}, \quad (72)$$

где  $Z$  – характерные глубины ( $h$ ,  $L_0$ ,  $H$ ,  $S_i$ ,  $L$ ), м.

По этим глубинам строится эпюра давлений, необходимая для расчёта колонны.

Стоит заметить, что проекция глубин используется только для расчёта давлений. Для определения веса колонны и её секций необходимо подставлять в формулы истинную длину труб  $H$ ,  $L$  и т.д.

### **Особенности расчёта обсадных колонн горизонтальных скважин**

Поскольку горизонтальная скважина является частным случаем наклонно-направленной, расчёт наружных и внутренних давлений производится по формулам для вертикальных скважин по глубинам, приведённым к вертикальной плоскости.

Запас прочности на избыточное наружное давление для участка колонны, расположенного в горизонтальной части, принимается равным  $1,30 \div 1,50$ .

## ПРИМЕР

**Рассчитать равнопрочную эксплуатационную колонну для нефтяной скважины.**

### *Исходные данные*

№ п.п.	Наименование параметра	Обозначение	Значение
1	Глубина подошвы продуктивного горизонта, <i>м</i>	L	3000
2	Высота подъема цементного раствора от устья, <i>м</i>	h	1750
3	Глубина спуска предыдущей колонны, <i>м</i>	L <sub>0</sub>	1800
4	Уровень жидкости в колонне при испытании на герметичность, <i>м</i>	H <sub>Г</sub>	1000
5	Уровень жидкости в колонне при освоении, в конце эксплуатации, <i>м</i>	H <sub>ос</sub>	1500
6	Интервал залегания промежуточного нефтегазоносного горизонта, <i>м</i>		2500–2600
7	Расчётная глубина промежуточного нефтегазоносного горизонта, <i>м</i>	S <sub>1</sub>	2550
8	Пластовое давление в промежуточном нефтегазоносном горизонте на расчётной глубине, <i>МПа</i>	P <sub>ПИС1</sub>	35,5
9	Интервал залегания продуктивного горизонта, <i>м</i>		2900–3000
10	Давление у кровли (S <sub>2</sub> ) пласта, <i>МПа</i>	P <sub>ПИС2</sub>	40,6
11	Давление у подошвы (L) пласта, <i>МПа</i>	P <sub>ПДЛ</sub>	42
12	Мощность продуктивного горизонта, <i>м</i>	N	100
13	Плотность промывочной жидкости, <i>кг/м<sup>3</sup></i>	ρ <sub>Р</sub>	1400
14	Плотность цементного раствора, <i>кг/м<sup>3</sup></i>	ρ <sub>Ц</sub>	1850
15	Плотность воды, <i>кг/м<sup>3</sup></i>	ρ <sub>В</sub>	1000
16	Плотность нефти, <i>кг/м<sup>3</sup></i>	ρ <sub>Н</sub>	850
17	Плотность жидкости в колонне в конце эксплуатации, <i>кг/м<sup>3</sup></i>	ρ <sub>Ж</sub>	950
18	Диаметр обсадной колонны, <i>мм</i>	D	146

# РАСЧЁТ ДАВЛЕНИЙ

## 1. Внутреннее давление

а) В начале эксплуатации:

$$P_{BHZ} = P_{ПДЛ} - 10^{-5} \cdot \rho_H \cdot (L - Z);$$

$$Z=0 \rightarrow P_{BHZ} = P_{ПДЛ} - 10^{-5} \cdot \rho_H \cdot (L - 0) = 42 - 10^{-5} \cdot 850 \cdot (3000 - 0) = 16,5 \text{ МПа.}$$

$$Z=3000 \text{ м} \rightarrow P_{BHL} = P_{ПДЛ} = 42 \text{ МПа.}$$

(Строится эюр 1а)

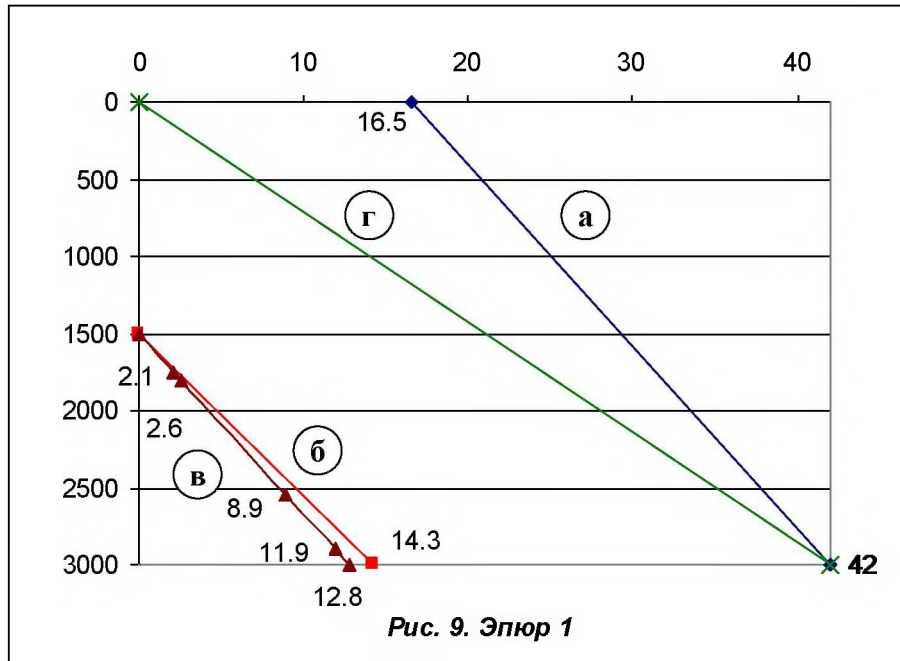


Рис. 9. Эюр 1

б) В конце эксплуатации:

$$P_{BHZ} = 10^{-5} \cdot \rho_{ж} \cdot (Z - H);$$

$$Z \text{ от } 0 \text{ до } H=1500 \text{ м} \rightarrow P_{BHZ}=0.$$

$$Z=L=3000 \text{ м} \rightarrow P_{BHL} = 10^{-5} \cdot \rho_{ж} \cdot (L - H) = 10^{-5} \cdot 950 \cdot (3000 - 1500) = 14,3 \text{ МПа.}$$

(Строится эюр 1б)

в) В конце освоения:

$$P_{BHZ} = 10^{-5} \cdot \rho_H \cdot (Z - H);$$

$$Z \text{ от } 0 \text{ до } H=1500 \text{ м} \rightarrow P_{BHZ}=0.$$

$$Z=h=1750 \text{ м} \rightarrow P_{BHz} = 10^{-5} \cdot \rho_H \cdot (h - H) = 10^{-5} \cdot 850 \cdot (1750 - 1500) = 2,1 \text{ МПа.}$$

$$Z=L_0=1800 \text{ м} \rightarrow P_{BHL0} = 10^{-5} \cdot \rho_H \cdot (L_0 - H) = 10^{-5} \cdot 850 \cdot (1800 - 1500) = 2,6 \text{ МПа.}$$

$$Z=S_1=2550 \text{ м} \rightarrow P_{BHS1} = 10^{-5} \cdot \rho_H \cdot (S_1 - H) = 10^{-5} \cdot 850 \cdot (2550 - 1500) = 8,9 \text{ МПа.}$$

$$Z=S_2=2900 \text{ м} \rightarrow P_{BHS2} = 10^{-5} \cdot \rho_H \cdot (S_2 - H) = 10^{-5} \cdot 850 \cdot (2900 - 1500) = 11,9 \text{ МПа.}$$

$$Z=L=3000 \text{ м} \rightarrow P_{BHL} = 10^{-5} \cdot \rho_H \cdot (L - H) = 10^{-5} \cdot 850 \cdot (3000 - 1500) = 12,8 \text{ МПа.}$$

(Строится эюр 1в)

г) В конце цементирования:

$$P_{BHZ} = 10^{-5} \cdot \rho_p \cdot Z;$$

$$Z=0 \rightarrow P_{BHZ}=0;$$

$$Z=L=3000 \text{ м} \rightarrow P_{BHL} = 10^{-5} \cdot \rho_p \cdot L = 10^{-5} \cdot 1400 \cdot 3000 = 42 \text{ МПа.}$$

(Строится эюр 1г)

## 2. Наружное давление

а) В незацементированной части:

$$P_{HZ} = 10^{-5} \cdot \rho_P \cdot Z;$$

$$Z=0 \rightarrow P_{HY}=10^{-5} \cdot \rho_P \cdot 0=0;$$

$$Z=h=1750 \text{ м} \rightarrow P_{Hh}=10^{-5} \cdot \rho_P \cdot h=10^{-5} \cdot 1400 \cdot 1750=24,5 \text{ МПа.}$$

(Строится эюор 1а)

б) В зацементированной части (по пластовому давлению):

- в зоне перекрытой промежуточной колонной:

$$P_{HZ} = 10^{-5} \cdot [\rho_P \cdot h + \rho_{ГВ} \cdot (Z - h)];$$

$$\rho_{ГВ} = 1,1 \cdot \rho_B.$$

$$Z=L_0=1800 \text{ м} \rightarrow P_{HL0}=10^{-5} \cdot [1400 \cdot 1750 + 1,1 \cdot 1000 \cdot (1800 - 1750)]=25,1 \text{ МПа.}$$

- в не перекрытой зоне:

$$Z=S_1=2550 \text{ м} \rightarrow P_{HS1}=35,5 \text{ МПа.}$$

$$Z=S_2=2900 \text{ м} \rightarrow P_{HS2}=40,6 \text{ МПа.}$$

$$Z=L=3000 \text{ м} \rightarrow P_{HL}=42 \text{ МПа.}$$

(Строится эюор 1б)

в) В конце цементирования:

$$P_{HZ} = 10^{-5} \cdot [\rho_P \cdot h + \rho_{Ц} \cdot (Z - h)];$$

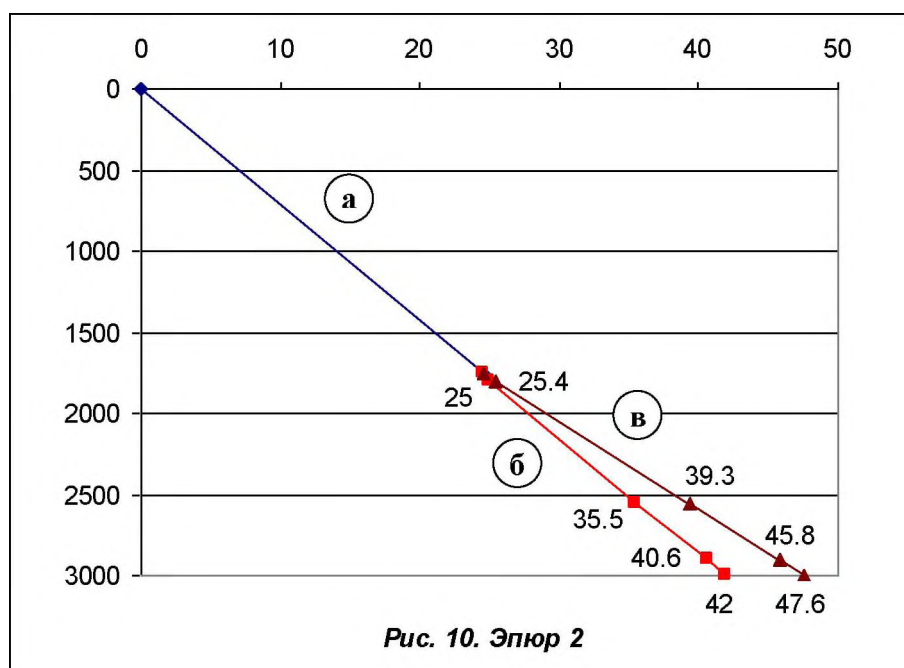
$$Z=L_0=1800 \text{ м} \rightarrow P_{HL0}=10^{-5} \cdot [\rho_P \cdot h + \rho_{Ц} \cdot (L_0 - h)]=10^{-5} \cdot [1400 \cdot 1750 + 1850 \cdot (1800 - 1750)]=25,4 \text{ МПа.}$$

$$Z=S_1=2550 \text{ м} \rightarrow P_{HS1}=10^{-5} \cdot [\rho_P \cdot h + \rho_{Ц} \cdot (S_1 - h)]=10^{-5} \cdot [1400 \cdot 1750 + 1850 \cdot (2550 - 1750)]=39,3 \text{ МПа.}$$

$$Z=S_2=2900 \text{ м} \rightarrow P_{HS2}=10^{-5} \cdot [\rho_P \cdot h + \rho_{Ц} \cdot (S_2 - h)]=10^{-5} \cdot [1400 \cdot 1750 + 1850 \cdot (2900 - 1750)]=45,8 \text{ МПа.}$$

$$Z=L=3000 \text{ м} \rightarrow P_{HL}=10^{-5} \cdot [\rho_P \cdot h + \rho_{Ц} \cdot (L - h)]=10^{-5} \cdot [1400 \cdot 1750 + 1850 \cdot (3000 - 1750)]=47,6 \text{ МПа.}$$

(Строится эюор 1в)





### 3. Наружное избыточное давление

$$P_{\text{НИЗ}} = P_{\text{НЗ}} - P_{\text{ВНЗ}}$$

а) При окончании цементирования:

$$P_{\text{НИЗ}} = 10^{-5} \cdot (Z - h) \cdot (\rho_{\text{ц}} - \rho_{\text{р}});$$

$$Z=0 \rightarrow P_{\text{НИЗ}}=0;$$

$$Z=h=1750 \text{ м} \rightarrow P_{\text{НИЗ}}=0;$$

$$Z=L=3000 \text{ м} \rightarrow P_{\text{НИЗ}}=10^{-5} \cdot (3000-1750) \cdot (1850-1400)=5,6 \text{ МПа.}$$

(Строится эюр 3а)

б) При освоении:

- в незацементированной части скважины

- если  $h < H$ , в интервале  $0 \leq Z \leq h$

$$P_{\text{НИЗ}} = 10^{-5} \cdot \rho_{\text{р}} \cdot Z;$$

- если  $h > H$ , в интервале  $0 \leq Z \leq H$

$$P_{\text{НИЗ}} = 10^{-5} \cdot \rho_{\text{р}} \cdot Z;$$

в интервале  $H \leq Z \leq h$

$$P_{\text{НИЗ}} = 10^{-5} \cdot [\rho_{\text{р}} \cdot Z - \rho_{\text{н}} \cdot (Z - H)];$$

$$Z=0, H=0 \rightarrow P_{\text{НИЗ}}=0;$$

$$Z=H=1500 \text{ м} \rightarrow P_{\text{НИЗ}}=10^{-5} \cdot 1400 \cdot 1500=21 \text{ МПа};$$

$$Z=h=1750 \text{ м} \rightarrow P_{\text{НИЗ}}=10^{-5} \cdot [1400 \cdot 1750 - 850 \cdot (1750 - 1500)]=22,4 \text{ МПа.}$$

- в зацементированной части (от пластового давления):

$$P_{\text{НИЗ}} = P_{\text{НЗ}} - 10^{-5} \cdot \rho_{\text{н}} \cdot (Z - H);$$

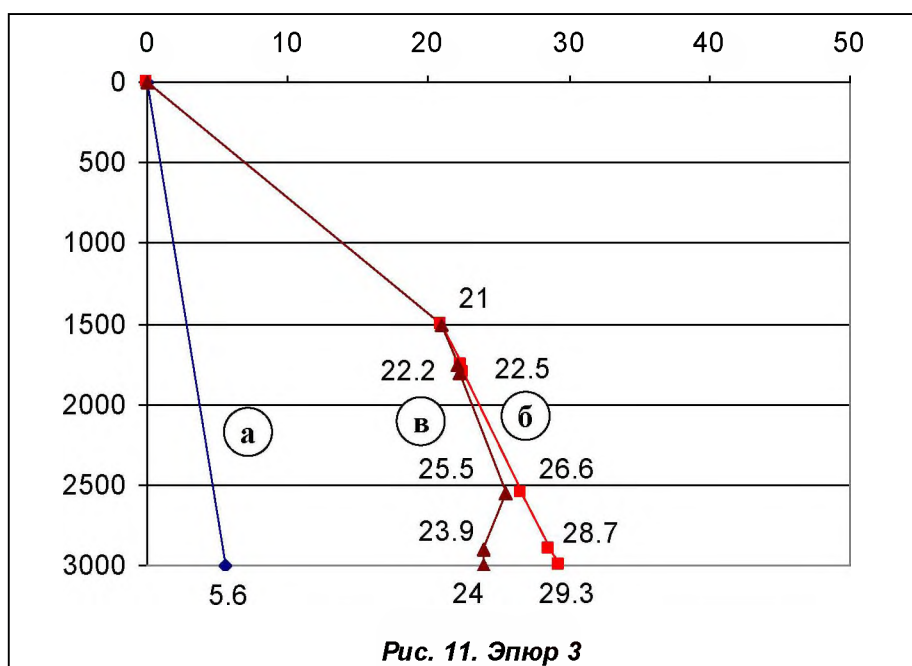
$$Z=L_0=1800 \text{ м} \rightarrow P_{\text{НИЗ}}=P_{\text{НЗ}} - 10^{-5} \cdot \rho_{\text{н}} \cdot (L_0 - H)=25 \cdot 10^{-5} \cdot 850 \cdot (1800 - 1500)=22,5 \text{ МПа.}$$

$$Z=S_1=2550 \text{ м} \rightarrow P_{\text{НИЗ}}=P_{\text{НЗ}} - 10^{-5} \cdot \rho_{\text{н}} \cdot (S_1 - H)=35,5 \cdot 10^{-5} \cdot 850 \cdot (2550 - 1500)=26,6 \text{ МПа.}$$

$$Z=S_2=2900 \text{ м} \rightarrow P_{\text{НИЗ}}=P_{\text{НЗ}} - 10^{-5} \cdot \rho_{\text{н}} \cdot (S_2 - H)=40,6 \cdot 10^{-5} \cdot 850 \cdot (2900 - 1500)=28,7 \text{ МПа.}$$

$$Z=L=3000 \text{ м} \rightarrow P_{\text{НИЗ}}=P_{\text{НЗ}} - 10^{-5} \cdot \rho_{\text{н}} \cdot (L - H)=42 \cdot 10^{-5} \cdot 850 \cdot (3000 - 1500)=29,3 \text{ МПа.}$$

(Строится эюр 3б)



в) В период окончания эксплуатации:

- для незацементированной зоны:

$$P_{HIZ} = 10^{-5} \cdot [\rho_p \cdot h - \rho_{ж} \cdot (Z - H)];$$

$$Z=0 \rightarrow P_{HIZ0}=0;$$

$$Z=H=1500 \text{ м} \rightarrow P_{HIZH}=10^{-5} \cdot 1400 \cdot 1500=21 \text{ МПа};$$

$$Z=h=1750 \text{ м} \rightarrow P_{HIZh}=10^{-5} \cdot [1400 \cdot 1750 - 950 \cdot (1750 - 1500)]=22,1 \text{ МПа}.$$

- для зацементированной зоны:

$$P_{HIZ} = P_{LIZ} - 10^{-5} \cdot \rho_{ж} \cdot (Z - H);$$

$$Z=L_0=1800 \text{ м} \rightarrow P_{HIZL_0}=25 - 10^{-5} \cdot 950 \cdot (1800 - 1500)=22,2 \text{ МПа};$$

$$Z=S_1=2550 \text{ м} \rightarrow P_{HIZS_1}=35,5 - 10^{-5} \cdot 950 \cdot (2550 - 1500)=25,5 \text{ МПа};$$

- в зоне продуктивного горизонта (по гидростатическому давлению):

$$Z=S_2=2900 \text{ м} \rightarrow P'_{LIZS_2}=10^{-5} \cdot [1400 \cdot 1750 + 1100 \cdot (2900 - 1750)]=37,2 \text{ МПа};$$

$$P_{HIZS_2}=37,2 - 10^{-5} \cdot 950 \cdot (2900 - 1500)=23,9 \text{ МПа}.$$

$$Z=L=3000 \text{ м} \rightarrow P'_{LIZL}=10^{-5} \cdot [1400 \cdot 1750 + 1100 \cdot (3000 - 1750)]=38,3 \text{ МПа};$$

$$P_{HIZL}=38,3 - 10^{-5} \cdot 950 \cdot (3000 - 1500)=24,1 \text{ МПа}.$$

(Строится эюр 3в)

#### 4. Внутреннее избыточное давление (при опрессовке)

а) в незацементированной части:

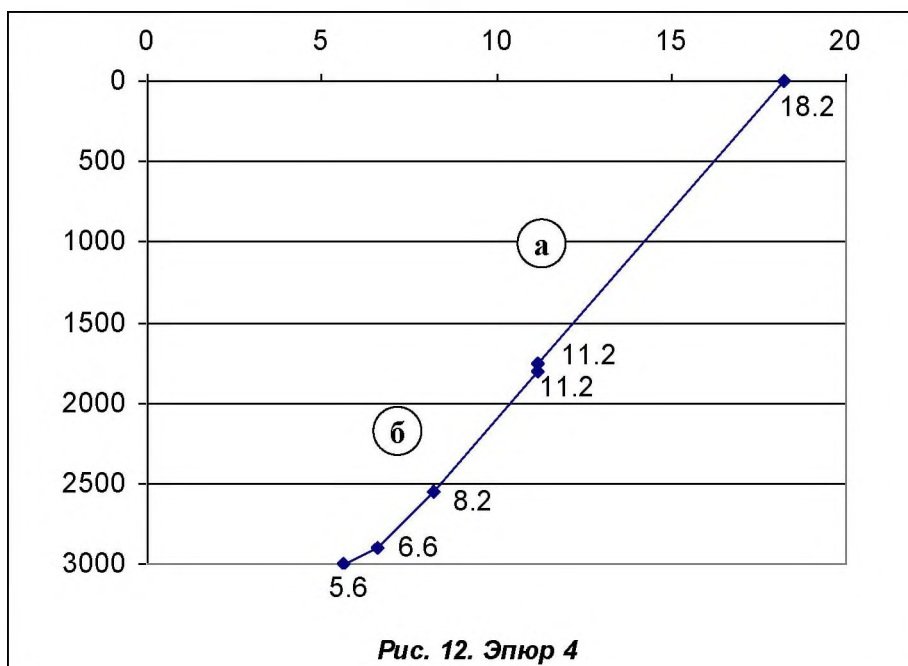
$$P_{BHIZ} = P_{BHZ} - P_{HIZ}$$

$$P_{BHIZ} = 1,1 \cdot P_{BHV} (P_{OIP}) + 10^{-5} \cdot (\rho_B - \rho_p) \cdot Z;$$

$$Z=0 \rightarrow P_{BHIZ0}=1,1 \cdot 16,5=18,2 \text{ МПа};$$

$$Z=h=1750 \text{ м} \rightarrow P_{BHIZh}=1,1 \cdot 16,5 + 10^{-5} \cdot (1000 - 1400) \cdot 1750=11,2 \text{ МПа}.$$

(Строится эюр 4а)



б) в зацементированной части:

$$P_{BHIZ} = 1,1 \cdot P_{BHV} + 10^{-5} \cdot \rho_B \cdot Z - P_{LIZ};$$

$$\begin{aligned} Z=L_0=1800 \text{ м} &\rightarrow P_{\text{ВНИЛ}0}=1,1 \cdot 16,5 + 10^{-5} \cdot 1000 \cdot 1800 - 25 = 11,2 \text{ МПа}; \\ Z=S_1=2550 \text{ м} &\rightarrow P_{\text{ВНИС}1}=1,1 \cdot 16,5 + 10^{-5} \cdot 1000 \cdot 2550 - 35,5 = 8,2 \text{ МПа}; \\ Z=S_2=2900 \text{ м} &\rightarrow P_{\text{ВНИС}2}=1,1 \cdot 16,5 + 10^{-5} \cdot 1000 \cdot 2900 - 40,6 = 6,6 \text{ МПа}; \\ Z=L=3000 \text{ м} &\rightarrow P_{\text{ВНИЛ}}=1,1 \cdot 16,5 + 10^{-5} \cdot 1000 \cdot 3000 - 42,6 = 5,6 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

*(Строится эюр 4б)*

## РАСЧЁТ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

1. По  $P_{НИЛ}$  выбирают трубы первой (снизу) секции с учётом запаса прочности на смятие ( $n_1$ ).

Требуемое давление для первой секции определяется:

$$P_{1ТР} = P_{НИЛ} \cdot n_1 = 29,25 \cdot 1,15 = 33,6 \text{ МПа}$$

По таблице 2 инструкции 1989г. выбираем трубы группы прочности «К» с  $\delta_H = 8,5$  мм, для которых  $P_{1КР} = 35$  МПа.

Уточняется запас прочности на смятие:

$$n_1 = \frac{P_{1КР}}{P_{НИЛ}} = \frac{35}{29,25} = 1,20.$$

2. Выбор первой секции. Т.к. мощность продуктивного горизонта  $N = 100$  м (в интервале 2900 – 3000 м), то длина первой секции выбирается равной:

$$l_1 = N + 50 + l_3 + l_{И};$$

$l_3$  – длина зумпфа  $10 \div 25$  м;

$l_{И}$  – длина деталей низа обсадной колонны  $10 \div 25$  м;

$$l_1 = 100 + 50 + 25 + 25 = 200 \text{ м};$$

В интервале глубин 2850 – 3050 м.

3. Определяется запас прочности труб первой секции на внутренне давление у «головы» первой секции, т.е. на глубине 2850 м.

$$n_2 = \frac{P_{1Т}}{P_{1ВНИ}};$$

$P_{1Т}$  для труб «К» - 8,5 по таблице 4 инструкции равно 49,9 МПа.

$P_{1ВНИ}$  на глубине 2850 м определяем по эпюру  $P_{ВНИЗ}$  или по формуле:

$$P_{ВНИЗ} = P_{ВНИС_1} + \frac{P_{ВНИС_2} - P_{ВНИС_1}}{S_2 - S_1} \cdot (Z - S_1);$$

$$P_{1ВНИ} = 8,2 + \frac{6,6 - 8,2}{2900 - 2550} \cdot (2850 - 2550) = 6,8 \text{ МПа.}$$

$$n_2 = \frac{49,9}{6,8} = 7,34 > 1,15.$$

4. Выбираются трубы для второй секции.

Определяется  $P_{НИЗ}$  на глубине 2850 м по эпюру или по формуле:

$$P_{НИЗ} = P_{НИС_1} + \frac{P_{НИС_2} - P_{НИС_1}}{S_2 - S_1} \cdot (Z - S_1);$$

$$P_{НИЗ} = 26,6 + \frac{28,7 - 26,6}{2900 - 2550} \cdot (2850 - 2550) = 28,4 \text{ МПа.}$$

Требуемое давление для труб второй секции:

$$P_{2ТР} = P_{НИЗ} \cdot n_1 = 28,4 \cdot 1 = 28,4 \text{ МПа}$$

По таблице 2 инструкции по этому давлению можно выбрать трубы группы прочности «К»  $\delta_H = 7,7$  мм, для которых  $P_{2КР} = 28,9$  МПа.

5. Определяется вес первой секции:

$$Q_1 = q_1 \cdot l_1;$$

$q_1$  – вес 1 погонного метра по таблице 12,  $q_1 = 0,290$  кН/м;

$$Q_1 = 0,290 \cdot 200 = 58 \text{ кН.}$$

6. Определяется значение  $P'_{2КР}$  для труб второй секции по формуле 17 для условия двухосного нагружения с учётом растягивающих нагрузок от веса первой секции:

$$P'_{2КР} = P_{2КР} \cdot \left( 1 - 0,3 \cdot \frac{Q_1}{Q_{2Т}} \right);$$

где  $Q_{2Т}$  – растягивающая нагрузка для «К» - 7,7 по таблице 3.

$$P'_{2КР} = 28,9 \cdot \left( 1 - 0,3 \cdot \frac{58}{1646} \right) = 28,6 \text{ МПа.}$$

Т.к.  $28,6 > 28,4$  МПа, то длина первой секции равная 200 м в интервале 2850-3050 м остаётся.

Если бы  $P'_{2КР} < P_{2ТР}$ , то нужно увеличить  $L$  до полученного  $P'_{2КР}$  или для второй секции взять более прочные трубы.

7. Для выбора длины второй секции выбираются трубы третьей секции менее прочные, чем второй, а именно, «Д» - 7,7 с  $P_{3КР}=24$  МПа.

По эпюру этому давлению с запасом прочности  $n_1=1$  соответствует глубина 2075 м.

$$Z = \frac{(P_{НИЗ} - P_{НИЛ_0}) \cdot (S_1 - L_0)}{P_{НИС_1} - P_{НИЛ_0}} + L_0;$$

$$Z = \frac{(24 - 22,5) \cdot (2550 - 1800)}{26,6 - 22,5} + 1800 \approx 2075 \text{ м.}$$

Следовательно, длина второй секции определится:

$$l_2 = 2850 - 2075 = 775 \text{ м.}$$

8. Вес второй секции определится:

$$Q_2 = q_2 \cdot l_2 = 0,265 \cdot 775 = 205 \text{ кН.}$$

9. Определяется значение  $P'_{3КР}$  для труб третьей секции для условия двухосного нагружения:

$$P'_{3КР} = P_{3КР} \cdot \left( 1 - 0,3 \cdot \frac{Q_{1-2}}{Q_{3Т}} \right);$$

$$Q_{1-2} = Q_1 + Q_2 = 58 + 205 = 263 \text{ кН;}$$

$$P'_{3КР} = 24 \cdot \left( 1 - 0,3 \cdot \frac{263}{1254} \right) = 22,5 \text{ МПа.}$$

По полученному  $P'_{3КР}$  по эпюру  $P_{НИЗ}$  находится глубина спуска третьей секции. Она определится на отметке 1800 м. Следовательно, длина второй секции будет не 775 м, а  $l_2 = 2850 - 1800 = 1050$  м.

10. Определяется вес второй секции:

$$Q_2 = q_2 \cdot l_2 = 0,265 \cdot 1050 = 278 \text{ кН;}$$

$$Q_{1-2} = Q_1 + Q_2 = 58 + 278 = 336 \text{ кН.}$$

11. Определяется запас прочности труб второй секции на внутренне давление у «головы» второй секции, т.е. на глубине 1800 м.

$$n_2 = \frac{P_{2Т}}{P_{2ВНИ}};$$

$P_{2Т}$  для труб «Д» - 7,7 по таблице 4 инструкции равно 34,3 МПа.

$P_{2ВНИ}$  на глубине 1800 м определяем по эпюру  $P_{ВНИЗ}$ :  $P_{2ВНИ} = 11,2$  МПа.

$$n_2 = \frac{34,3}{11,2} = 3,06 > 1,15.$$

12. Длина третьей секции определяется после выбора труб четвертой секции (менее прочных).

Например, «Д» - 7, с  $P_{4КР}=20,1$  МПа.

Глубина спуска труб определяется либо по эпюру  $P_{НИЗ}$ , либо по формуле:

$$Z = \frac{P_{НИЗ} \cdot H_{OC}}{P_{НИНOC}};$$

$$Z = \frac{20,1 \cdot 1500}{21} = 1435,7 \approx 1436 \text{ м};$$

Следовательно, длина второй секции определится:

$$l_3 = 1800 - 1436 = 364 \text{ м}.$$

13. Вес третьей секции:

$$Q_3 = q_3 \cdot l_3 = 0,265 \cdot 364 = 96,5 \text{ кН}$$

14. С учётом двухосного нагружения от веса 3-х секций приведённое  $P'_{4КР}$  определится:

$$P'_{4КР} = P_{4КР} \cdot \left( 1 - 0,3 \cdot \frac{Q_{1-3}}{Q_{4Г}} \right);$$

$$Q_{1-3} = Q_{1-2} + Q_3 = 336 + 96,5 = 432,5 \text{ кН};$$

$$P'_{4КР} = 20,1 \cdot \left( 1 - 0,3 \cdot \frac{432,5}{1136} \right) = 17,8 \text{ МПа}.$$

По полученному  $P'_{3КР}$  по эпюру  $P_{НИЗ}$  четвертая секция может быть спущена на глубину 1271 м.

$$Z = \frac{P_{НИЗ} \cdot H_{OC}}{P_{НИНOC}};$$

$$Z = \frac{17,8 \cdot 1500}{21} = 1271,4 \approx 1271 \text{ м},$$

15. Длина третьей секции определится:

$$l_3 = 1800 - 1271 = 529 \text{ м}.$$

Вес третьей секции:

$$Q_3 = q_3 \cdot l_3 = 0,265 \cdot 529 = 140,2 \text{ кН}.$$

Вес трёх секций:

$$Q_{1-3} = Q_{1-2} + Q_3 = 336 + 140,2 = 476,2 \text{ кН};$$

16. Определяется запас прочности труб третьей секции на внутренне давление у «головы» третьей секции, т.е. на глубине 1271 м.

$$n_2 = \frac{P_{3Г}}{P_{3ВНИ}};$$

$P_{3Г}$  для труб «Д» - 7,7 по таблице 4 инструкции равно 34,3 МПа.

$P_{3ВНИ}$  на глубине 1271 м определяем по эпюру  $P_{ВНИЗ}$  или по формуле:

$$P_{ВНИЗ} = P_{ВНИУ} + \frac{P_{ВНИh} - P_{ВНИУ}}{h} \cdot Z;$$

$$P_{3ВНИ} = 18,2 + \frac{11,2 - 18,2}{1750} \cdot 1271 = 13,1 \text{ МПа}.$$

$$n_2 = \frac{34,3}{13,1} = 2,62 > 1,15.$$

17. Предположим, что колонна будет завершена 4-ой секцией.

Вес 4-х секций, т.е. всей колонны:

$$Q_{1-4} = Q_{1-3} + Q_4 = Q_{1-3} + q_4 \cdot l_4 = 476,2 + 0,243 \cdot 1271 = 785 \text{ кН};$$

18. Проверка подобранной колонны на страгивание:

$$n_3 = \frac{P_{4СТР}}{Q_{1-4}};$$

$P_{4СТР}$  по таблице 5 равно 696 кН.

$$n_3 = \frac{696}{785} = 0,89 < 1,15.$$

19. Т.к. запас прочности ниже допустимого, то длина четвёртой секции определяется из условия страгивания:

$$l_4 = \frac{1}{q_4} \cdot \left( \frac{P_{4СТР}}{n_3} - Q_{1-3} \right);$$

$$l_4 = \frac{1}{0,243} \cdot \left( \frac{696}{1,15} - 476,2 \right) = 531 \text{ м}.$$

Вес четвёртой секции:

$$Q_4 = q_4 \cdot l_4 = 0,243 \cdot 531 = 129 \text{ кН}.$$

Вес четырёх секций:

$$Q_{1-4} = Q_{1-3} + Q_4 = 476,2 + 129 = 605,2 \text{ кН};$$

Для завершения колонны не хватает:  $1271 - 531 = 740 \text{ м}$ .

20. Определяется запас прочности труб четвёртой секции на внутренне давление у «головы» третьей секции, т.е. на глубине 740 м.

$$n_2 = \frac{P_{4Т}}{P_{4ВНИ}};$$

$P_{4Т}$  для труб «Д» - 7 по таблице 4 инструкции равно 31,3 МПа.

$P_{4ВНИ}$  на глубине 740 м определяем по эпюру  $P_{ВНИЗ}$  или по формуле:

$$P_{ВНИЗ} = P_{ВНИУ} + \frac{P_{ВНИН} - P_{ВНИУ}}{h} \cdot Z;$$

$$P_{4ВНИ} = 18,2 + \frac{11,2 - 18,2}{1750} \cdot 740 = 15,2 \text{ МПа}.$$

$$n_2 = \frac{31,3}{15,2} = 2,1 > 1,15.$$

21. Пятую секцию подбирают из более прочных труб (на группу прочности или 1 мм больше по толщине стенки) на страгивание. Например, «Д» - 7,7 с  $P_{5СТР} = 774 \text{ кН}$ .

22. Длина пятой секции определяется:

$$l_5 = \frac{1}{q_5} \cdot \left( \frac{P_{5СТР}}{n_{СТР}} - Q_{1-4} \right);$$

$$l_5 = \frac{1}{0,265} \cdot \left( \frac{774}{1,15} - 605,2 \right) = 256 \text{ м}.$$

Вес пятой секции:

$$Q_5 = q_5 \cdot l_5 = 0,265 \cdot 256 = 67,8 \text{ кН.}$$

Вес пяти секций:

$$Q_{1-5} = Q_{1-4} + Q_5 = 605,2 + 67,8 = 673 \text{ кН;}$$

Для завершения колонны не хватает:  $740 - 256 = 484 \text{ м.}$

23. Определяется запас прочности труб пятой секции на внутренне давление у «головой» пятой секции, т.е. на глубине 484 м.

$$n_2 = \frac{P_{5T}}{P_{5ВНИ}};$$

$P_{5T}$  для труб «Д» - 7,7 по таблице 4 инструкции равно 34,3 МПа.

$P_{5ВНИ}$  на глубине 484 м определяем по эюру  $P_{ВНИЗ}$  или по формуле:

$$P_{ВНИЗ} = P_{ВНИУ} + \frac{P_{ВНИh} - P_{ВНИУ}}{h} \cdot Z;$$

$$P_{5ВНИ} = 18,2 + \frac{11,2 - 18,2}{1750} \cdot 484 = 16,3 \text{ МПа.}$$

$$n_2 = \frac{34,3}{16,3} = 2,10 > 1,15.$$

24. Шестую секцию выбирают из более прочных труб. Например «Д» - 8,5 с  $P_{6СТР} = 872 \text{ кН.}$

Длина шестой секции определяется:

$$l_6 = \frac{1}{q_6} \cdot \left( \frac{P_{6СТР}}{n_{СТР}} - Q_{1-5} \right);$$

$$l_5 = \frac{1}{0,29} \cdot \left( \frac{872}{1,15} - 673 \right) = 294 \text{ м.}$$

Вес шестой секции:

$$Q_6 = q_6 \cdot l_6 = 0,29 \cdot 294 = 85,3 \text{ кН.}$$

Вес шести секций:

$$Q_{1-6} = Q_{1-5} + Q_6 = 673 + 85,3 = 758,3 \text{ кН;}$$

Для завершения колонны не хватает:  $484 - 294 = 190 \text{ м.}$

25. Определяется запас прочности труб шестой секции на внутренне давление у «головой» шестой секции, т.е. на глубине 190 м.

$$n_2 = \frac{P_{6T}}{P_{6ВНИ}};$$

$P_{6T}$  для труб «Д» - 8,5 по таблице 4 инструкции равно 37,9 МПа.

$P_{6ВНИ}$  на глубине 190 м определяем по эюру  $P_{ВНИЗ}$  или по формуле:

$$P_{ВНИЗ} = P_{ВНИУ} + \frac{P_{ВНИh} - P_{ВНИУ}}{h} \cdot Z;$$

$$P_{6ВНИ} = 18,2 + \frac{11,2 - 18,2}{1750} \cdot 190 = 17,4 \text{ МПа.}$$

$$n_2 = \frac{37,9}{17,4} = 2,18 > 1,15.$$

26. Для седьмой секции выбирают трубы «Е» - 6,5 с  $P_{7СТР} = 931 \text{ кН, } q_7 = 0,226 \text{ кН/м.}$   
Длина шестой секции определяется:



$$l_7 = \frac{1}{q_7} \cdot \left( \frac{P_{7СТР}}{n_{СТР}} - Q_{1-6} \right);$$

$$l_7 = \frac{1}{0,226} \cdot \left( \frac{931}{1,15} - 758,3 \right) = 227 \text{ м.}$$

Для завершения колонны не хватает 190 м, следовательно, седьмая секция будет длиной  $l_7=190$  м.

Вес седьмой секции:

$$Q_7 = q_7 \cdot l_7 = 0,226 \cdot 190 = 42,9 \text{ кН.}$$

Вес семи секций (общий вес колонны):

$$Q_{1-7} = Q_{1-6} + Q_7 = 758,3 + 42,9 = 801,2 \text{ кН;}$$

27. Определяется запас прочности труб седьмой секции на внутренне давление у «головы» седьмой секции, т.е. на устье.

$$n_2 = \frac{P_{7ВН}}{P_{7ВНИ}};$$

$P_{7Т}$  для труб «Е» - 6,5 по таблице 4 инструкции равно 42,9 МПа.

$P_{7ВНИ}$  на устье скважины определяем по эпюру  $P_{ВНИЗ}$ :

$$P_{7ВНИ} = P_{ВНУ} = 18,2 \text{ МПа.}$$

$$n_2 = \frac{42,9}{18,2} = 2,36 > 1,15.$$

Таблица 3

№ секции	Группа прочности и толщина стенки	Длина секции, м	Вес секции, кН	Запас прочности					
				на смятие, $n_1$		на внутр. давление, $n_2$		на страгивание, $n_3$	
				треб.	факт.	треб.	факт.	треб.	факт.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	К – 8,5	200	58	1,15	1,20	1,15	7,34	-	-
2	К – 7,7	1050	278	-	-	1,15	3,06	-	-
3	Д – 7,7	529	140,2	-	-	1,15	2,62	-	-
4	Д – 7	531	129	-	-	1,15	2,0	1,15	1,15
5	Д – 7,7	256	67,8	-	-	1,15	2,10	1,15	1,15
6	Д – 8,5	294	85,3	-	-	1,15	2,18	1,15	1,15
7	Е – 6,5	190	42,9	-	-	1,15	2,36	1,15	1,15
Вся колонна		3050	801,2						

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соловьёв Е.М. Заканчивание скважин. М.: недра, 1979.
2. Подгорнов В.М. Практикум по заканчиванию скважин. М.: Недра, 1984.
3. Булатов А.И. Формирование и работа цементного камня в скважине. М.: Недра, 1990.
4. Соловьёв Е.М. Задачник по заканчиванию скважин. М.: Недра, 1979.
5. Данюшевский В.С. и др. Справочное руководство по тампонажным материалам. М.: Недра, 1987.
6. Инструкция по расчёту обсадных колонн для нефтяных и газовых скважин. Руководящий документ. М., 1997.
7. Методические указания по курсу «Заканчивание скважин», Волостнов С.А., Пчёлкин В.Н., СамГТУ, 1999.

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

Таблица П1

**Критическое давление для обсадных труб по ГОСТ 632-80, МПа**

Условный диаметр трубы, мм	Толщина стенки, мм	Группа прочности					
		Д	Е	Л	М	Р	Т
Трубы исполнения А							
114	5,2	20,3	-	-	-	-	-
	5,7	24,2	-	-	-	-	-
	6,4	29,5	38,6	42,7	45,9	-	-
	7,4	36,9	50,3	57,1	62,7	70,1	-
	8,6	45,3	63,4	73,4	82,4	95,5	102,1
	10,2	-	-	93,7	106,9	127,4	138,6
127	5,6	19,0	-	-	-	-	-
	6,4	24,6	31,1	33,6	35,5	-	-
	7,5	32,2	42,7	47,7	51,7	56,6	58,6
	9,2	43,0	60,0	69,2	77,4	88,8	94,4
	10,7	52,3	74,1	86,7	98,3	116,4	126,0
140	6,2	19,3	-	-	-	-	-
	7,0	24,4	30,7	33,2	35,0	-	-
	7,7	28,8	37,4	41,3	44,2	47,6	49,1
	9,2	37,7	51,7	58,8	64,9	72,8	76,5
	10,5	45,2	63,3	73,3	82,4	95,3	101,9
146	6,5	19,4	-	-	-	-	-
	7,0	22,4	27,7	29,8	31,3	-	-
	7,7	26,7	34,2	37,4	39,7	-	-
	8,5	31,4	41,6	46,3	50,0	54,5	56,5
	9,5	37,1	50,7	57,5	63,2	70,8	74,2
	10,7	43,7	61,0	70,4	78,8	90,7	96,6
168	7,3	18,3	21,9	-	-	-	-
	8,0	22,1	27,3	-	-	-	-
	8,9	26,9	34,4	37,6	40,0	42,8	44,0
	10,6	35,4	47,9	54,2	59,3	65,9	68,7
	12,1	42,6	59,3	68,3	76,3	87,4	92,9
178	5,9	9,8	-	-	-	-	-
	6,9	14,4	-	-	-	-	-
	8,1	20,3	24,6	26,3	-	-	-
	9,2	25,9	32,8	35,8	37,9	40,4	41,5
	10,4	31,7	42,1	46,9	50,6	55,2	57,3
	11,5	36,9	50,2	57,0	62,6	69,9	73,2
324	11,0	10,4	11,6	12,0	12,3	-	-
	12,4	13,9	15,9	16,6	17,1	17,6	17,8
	14,0	18,2	21,7	22,9	23,8	24,8	25,2
340	8,4	4,5	-	-	-	-	-
	9,7	6,7	7,2	7,3	-	-	-
	10,9	9,0	9,9	10,2	-	-	-
	12,2	12,0	13,4	13,9	14,3	-	-
	13,1	14,1	16,3	17,0	17,4	18,0	18,2
	14,0	16,5	19,2	20,3	21,0	21,8	22,1
	15,4	20,1	24,3	26,0	-	-	-
351	9,0	-	-	-	-	-	-

	10,0	6,6	7,1	7,3	-	-	-	
	11,0	8,4	9,2	9,5	9,7	-	-	
	12,0	10,6	11,8	12,2	12,4	-	-	
377	9,0	4,0	-	-	-	-	-	
	10,0	5,4	5,8	-	-	-	-	
	11,0	7,1	7,5	7,7	-	-	-	
	12,0	8,8	9,7	9,9	-	-	-	
406	9,5	3,8	-	-	-	-	-	
	11,1	5,9	6,3	-	-	-	-	
	12,6	8,2	9,0	-	-	-	-	
	16,7	16,4	19,1	-	-	-	-	
426	10,0	3,9	-	-	-	-	-	
	11,0	5,0	5,4	-	-	-	-	
	12,0	6,4	6,9	-	-	-	-	
473	11,1	3,7	-	-	-	-	-	
508	11,1	3,1	-	-	-	-	-	
	12,7	4,6	-	-	-	-	-	
	16,1	8,7	-	-	-	-	-	
<b>Трубы исполнения Б</b>								
Условный диаметр трубы, мм	Толщина стенки, мм	Группа прочности						
		Д	К	Е	Л	М	Р	Т
Овальность 0,01								
114	6,4	26,7	32,6	35,2	-	-	-	-
	7,4	33,6	42,3	46,2	52,3	-	-	-
	8,6	41,8	53,4	59,0	68,0	76,2	87,8	93,7
127	6,4	22,1	26,4	28,1	-	-	-	-
	7,5	29,1	36,0	39,0	43,5	-	-	-
	9,2	39,6	50,5	55,7	63,9	71,2	81,5	86,6
140	6,2	17,3	20,0	21,1	-	-	-	-
	7,0	21,9	26,1	27,8	-	-	-	-
	7,7	25,9	31,7	34,1	37,5	40,3	43,6	45,1
	9,2	34,5	43,4	47,5	53,9	59,3	66,6	70,0
	10,5	41,8	53,3	58,9	67,9	76,0	87,6	93,5
146	6,5	17,4	20,1	21,2	-	-	-	-
	7,0	20,1	23,7	25,2	27,2	-	-	-
	7,7	24,0	28,9	31,1	34,0	-	-	-
	8,5	28,4	35,0	37,9	42,2	45,6	50,0	51,9
	9,5	33,8	42,5	46,6	52,6	57,8	64,7	67,9
	10,7	40,2	51,3	56,7	65,1	72,6	83,2	88,6
168	7,3	16,4	18,9	19,9	21,2	-	-	-
	8,0	19,7	23,2	24,7	26,6	-	-	-
	8,9	24,1	29,1	31,3	34,2	36,6	39,3	40,5
	10,6	32,3	40,3	44,0	49,5	54,2	60,2	63,0
	12,1	39,2	49,9	55,0	63,0	70,2	80,2	85,2
178	6,9	12,8	14,5	15,1	-	-	-	-
	8,1	18,1	21,2	22,4	24,0	-	-	-
	9,2	23,2	27,9	29,9	32,5	34,6	37,2	38,2
	10,4	28,6	35,4	38,3	42,6	46,2	50,6	52,5
	11,5	33,6	42,2	46,1	52,2	57,3	63,9	67,1
	12,7	38,8	49,4	54,4	62,4	69,4	79,2	84,0

194	7,6	13,2	14,9	15,5	-	-	-	-
	8,3	16,0	18,4	19,3	20,5	-	-	-
	9,5	21,0	24,9	26,6	28,7	30,4	32,3	33,1
	10,9	26,9	32,9	35,5	39,3	42,3	46,0	47,6
	12,7	34,3	43,1	47,3	53,5	58,8	66,0	69,3
219	7,7	10,2	11,3	11,7	-	-	-	-
	8,9	14,2	16,2	17,0	17,8	18,5	-	-
	10,2	19,0	22,3	23,5	25,3	26,6	28,1	28,7
	11,4	23,4	28,2	30,2	33,0	35,1	37,6	38,8
	12,7	28,2	34,8	37,6	41,9	45,2	49,4	51,4
245	7,9	8,2	9,0	9,3	-	-	-	-
	8,9	11,1	12,4	12,7	13,3	13,7	-	-
	10,0	14,5	16,5	17,3	18,2	18,9	19,7	20,1
	11,0	18,0	21,1	22,3	23,7	24,9	26,3	26,9
	12,0	21,1	25,0	26,6	28,7	30,4	32,4	33,2
273	7,1	4,7	5,0	5,1	-	-	-	-
	8,9	8,4	9,2	9,5	-	-	-	-
	10,2	11,8	13,1	13,6	14,3	14,8	15,3	15,6
	11,4	15,1	17,2	18,1	19,2	20,0	20,9	21,3
	12,6	18,6	21,9	23,0	24,7	26,0	27,4	28,0
299	8,5	6,0	6,4	6,6	-	-	-	-
	9,5	7,9	8,6	8,9	9,2	9,4	9,7	9,8
	11,1	11,7	12,9	13,5	14,1	14,6	15,1	15,4
	12,4	15,0	17,1	17,9	18,9	19,7	20,6	21,0
	14,8	21,5	25,5	27,2	29,5	31,2	33,2	34,1
324	9,5	6,5	7,0	7,2	-	-	-	-
	11,0	9,4	10,3	10,6	11,1	11,4	11,7	11,9
	12,4	12,4	14,0	14,5	15,3	15,8	16,4	16,7
	14,0	16,3	18,8	19,7	21,0	21,9	22,9	23,4
340	9,7	6,1	6,5	6,6	-	-	-	-
	10,9	8,1	8,8	9,1	-	-	-	-
	12,2	10,7	11,9	12,4	-	-	-	-
	13,1	12,6	14,2	14,8	-	-	-	-
	14,0	14,7	16,8	17,5	-	-	-	-
351	9,0	4,5	4,8	-	-	-	-	-
	10,0	6,0	6,5	-	-	-	-	-
	11,0	7,6	8,3	-	-	-	-	-
	12,0	9,5	10,5	-	-	-	-	-
377	9,0	3,7	3,9	-	-	-	-	-
	10,0	5,0	5,3	-	-	-	-	-
	11,0	6,4	6,9	-	-	-	-	-
	12,0	7,9	8,6	-	-	-	-	-
406	9,5	3,5	3,7	-	-	-	-	-
	11,1	5,4	5,7	-	-	-	-	-
	12,6	7,4	8,0	-	-	-	-	-
426	10,0	3,5	3,7	-	-	-	-	-
	11,0	4,6	4,9	-	-	-	-	-
	12,0	5,8	6,3	-	-	-	-	-
473	11,1	3,5	3,7	-	-	-	-	-

508	11,1	2,9	3,0	-	-	-	-	-
Овальность 0,015								
245	7,9 8,9 10,0 11,1 12,0 13,8	7,4 9,9 12,8 16,0 18,6 24,0	8,2 11,2 14,8 18,8 22,3 29,5	8,6 11,7 15,6 20,0 23,8 32,0	- 12,4 16,7 21,7 26,0 35,5	- 12,8 17,5 22,8 27,7 38,5	- 13,4 - 24,5 29,9 42,4	- 13,7 - 25,2 31,0 44,2
273	7,1 8,9 10,2 11,4 12,6 13,8	4,3 7,6 10,5 13,4 16,5 19,6	4,6 8,4 11,9 15,5 19,5 23,6	4,8 8,8 12,4 16,4 20,7 25,4	- - 13,1 17,5 22,4 27,8	- - 13,8 18,4 23,8 29,8	- - 14,5 19,6 25,5 32,3	- - 14,8 20,1 26,3 33,4
299	8,5 9,5 11,1 12,4 14,8	5,4 7,2 10,4 13,2 19,0	6,0 7,9 11,8 15,4 22,7	6,1 8,2 12,4 16,2 24,3	- 8,6 13,0 17,4 26,7	- 8,9 13,6 18,2 28,4	- 9,3 14,3 19,3 30,8	- 9,4 14,6 19,8 31,8
324	9,5 11,0 12,4 14,0	5,9 8,4 11,1 14,4	6,5 9,4 12,6 16,9	6,7 9,8 13,2 17,8	- 10,3 14,1 19,2	- 10,7 14,7 20,2	- 11,7 15,5 21,5	- 11,4 15,8 22,1
340	9,7 10,9 12,2 13,1 14,0	5,5 7,4 9,6 11,3 13,0	6,0 8,1 10,8 12,8 15,1	6,2 8,4 11,3 13,5 15,9	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -
351	9,0 10,0 11,0 12,0	4,1 5,5 7,0 8,5	4,5 6,0 7,6 9,5	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -
377	9,0 10,0 11,0 12,0	3,4 4,5 5,8 7,2	3,7 4,9 6,4 7,9	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -
406	9,5 11,1 12,6	3,2 4,9 6,8	3,4 5,3 7,4	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
426	10,0 11,0 12,0	3,3 4,2 5,3	3,5 4,6 5,8	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
473	11,1	3,2	3,5	-	-	-	-	-
508	11,1	2,7	2,8	-	-	-	-	-

**Растягивающие нагрузки, при которых напряжения в теле трубы по ГОСТ 632-80 достигают предела текучести, кН.**

Условный диаметр трубы, мм	Толщина стенки, мм	Группа прочности						
		Д	К	Е	Л	М	Р	Т
114	5,2	666	-	-	-	-	-	-
	5,7	744	-	-	-	-	-	-
	6,4	824 (804)	- (1058)	1196	1412	1646	-	-
	7,4	940 (920)	- (1216)	1372	1628	1882	2314	-
	8,6	1078 (1058)	- (1392)	1568	1862	2156	2646	2942
	10,2	-	-	-	2176	2530	3098	3452
127	5,6	804	-	-	-	-	-	-
	6,4	920 (902)	- (1176)	1332	1588	1842	-	-
	7,5	1058 (1038)	- (1372)	1548	1842	2138	2608	2902
	9,2	1294 (1274)	- (1666)	1882	2236	2568	3156	3510
	10,7	1490	-	2156	2548	2960	3628	4040
140	6,2	980 (960)	- (1274)	1430	-	-	-	-
	7,0	1098 (1078)	- (1430)	1608	1902	2216	-	-
	7,7	1216 (1196)	- (1568)	1764	2078	2412	2960	3294
	9,2	1430 (1412)	- (1842)	2078	2470	2862	3510	3902
	10,5	1608 (1588)	- (2078)	2352	2784	3236	3962	4412
146	6,5	1078 (1058)	- (1392)	1568	-	-	-	-
	7,0	1156 (1136)	- (1490)	1686	2000	2314	-	-
	7,7	1274 (1254)	- (1646)	1842	2196	2530	-	-
	8,5	1392 (1372)	- (1804)	2020	2412	2784	3412	3804
	9,5	1548 (1510)	- (2000)	2234	2666	3078	3784	4216
	10,7	1726 (1686)	- (2234)	2510	2980	3452	4236	4706
168	7,3	1392 (1372)	- (1804)	2040	2412	-	-	-
	8,0	1510 (1490)	- (1962)	2216	2628	-	-	-
	8,9	1686	-	2450	2922	3372	4138	4608

	10,6	(1666) 1980	(2176) (2568)	2882	3432	3980	4884	5432
	12,1	2254 (2216)	(2902)	3274	3811	4490	5510	6138
178	5,9	1216	-	-	-	-	-	-
	6,9	1412 (1372)	(1804)	2038	-	-	-	-
	8,1	1626 (1608)	(2118)	2372	2824	-	-	-
	9,2	1842 (1842)	(2392)	3020	3568	4138	5080	5648
	10,4	2078 (2038)	(2686)	3020	3568	4138	5080	5648
	11,5	2274 (2234)	(2942)	3314	3922	4550	5588	6216
	12,7	2490 (2450)	(3216)	3628	4314	4980	6118	6806
	13,7	-	-	3882	4682	5354	6570	7296
	15,0	-	-	-	4980	5766	7100	7884
194	7,6	1686 (1646)	(2176)	2450	-	-	-	-
	8,3	1824 (1804)	(2372)	2666	3156	3666	4490	5000
	9,5	2078 (2038)	(2586)	3020	3588	4158	5118	5688
	10,9	2372 (2334)	(3058)	3452	4098	4746	5824	6472
	12,7	2744 (2686)	(3530)	3980	4726	5472	6706	7472
	15,1	-	-	-	5550	6412	7884	8766
219	6,7	1686	-	-	-	-	-	-
	7,7	1940 (1902)	(2510)	2824	-	-	-	-
	8,9	2234 (2196)	(2196)	2882	3236	4452	-	-
	10,2	2530 (2490)	(3274)	3686	4372	5060	6216	6922
	11,4	2824 (2764)	(3648)	4098	4864	5628	6922	7688
	12,7	3118 (3058)	(4040)	4530	5392	6236	7648	8512
	14,2	3470 (3392)	(4470)	5040	5982	6922	8492	9452
245	7,9	2216 (2176)	(2882)	3236	-	-	-	-
	8,9	2490 (2450)	(3236)	3628	4314	4980	-	-
	10,0	2784 (2744)	(3608)	4060	4824	5570	6844	7610
	11,1	3078 (3020)	(3980)	4470	5334	6158	7570	8414



	12,0	3314 (3254)	(4294)	4824	5746	6628	8158	9060
	13,8	3784 (3726)	(4902)	5510	6550	7570	9296	10336
	15,9	-	-	-	7472	8648	10610	11806
273	7,1	2254 (2216)	(2902)	3274	-	-	-	-
	8,9	2804 (2744)	(3608)	4060	4844	5584	-	-
	10,2	3196 (3138)	(4118)	4648	5510	6374	7924	8708
	11,4	3550 (3490)	(4588)	5158	6138	7100	8708	9688
	12,6	3902 (3844)	(5060)	5688	6746	7806	9590	10670
	13,8	4256 (4176)	(5510)	6198	7354	8512	10454	11630
	15,1	-	-	6746	8002	9276	11376	12650
	16,5	-	-	-	8708	10080	12376	13748
299	8,5	2942 (2882)	(3784)	4256	-	-	-	-
	9,5	3274 (3216)	(4216)	4746	5648	6530	8022	8924
	11,1	3804 (3726)	(4926)	5510	6550	7590	9316	10356
	12,4	4216 (4158)	(5452)	6138	7296	8434	10356	11532
	14,8	5000 (4902)	(6472)	7256	8630	9982	12258	13630
324	8,5	3196	-	-	-	-	-	-
	9,5	3550 (3490)	(4588)	5158	-	-	-	-
	11,0	4098 (4020)	(5294)	5962	7080	8198	10060	11178
	12,4	4608 (4510)	(5942)	6688	7942	9198	11278	12552
	14,0	5178 (5060)	(6668)	7512	8924	10316	12670	14102
340	8,4	3314	-	-	-	-	-	-
	9,7	3804 (3764)	(4922)	5530	6590	-	-	-
	10,9	4274 (4196)	(5510)	6198	7374	-	-	-
	12,2	4766 (4668)	(6158)	6904	8218	9512	-	-
	13,1	5098 (5000)	(6590)	7394	8806	10178	12494	13906
	14,0	5432 (5334)	(7020)	7884	9374	10846	13316	14808
	15,4	-	-	-	10276	11886	14592	16220
351	9,0	3666 (3608)	(4746)	-	-	-	-	-

	10,0	4060 (3980)	(5256)	5902	7020	-	-	-
	11,0	4452 (4372)	(5746)	6472	7688	8904	-	-
	12,0	4844 (4766)	(6256)	7040	8374	9688	-	-
377	9,0	3962 (3862)	(5098)	-	-	-	-	-
	10,0	4372 (4294)	(5648)	6354	-	-	-	-
	11,0	4804 (4706)	(6198)	6962	8276	-	-	-
	12,0	5216 (5118)	(6746)	7570	9002	-	-	-
406	9,5	4490 (4412)	(5804)	-	-	-	-	-
	11,1	5236 (5138)	(6746)	7590	-	-	-	-
	12,6	5902 (5804)	(7628)	8590	-	-	-	-
	16,7	7746	-	11258	-	-	-	-
426	10,0	4962 (4864)	(6394)	-	-	-	-	-
	11,0	5432 (5334)	(7020)	7904	-	-	-	-
	12,0	5922 (5804)	(7648)	8590	-	-	-	-
473	11,1	6098 (6000)	(7884)	-	-	-	-	-
508	11,1	6570 (6452)	(8492)	-	-	-	-	-
	12,7	7492	-	-	-	-	-	-
	16,1	9434	-	-	-	-	-	-

*Примечание:* Значения прочностных показателей, взятые в скобки, относятся только к трубам исполнения Б. Значения прочностных показателей без скобок относятся к трубам исполнения А и Б.

**Внутренние давления, при которых напряжения в теле трубы по ГОСТ 632-80 достигают предела текучести, МПа.**

Условный диаметр трубы, мм	Толщина стенки, мм	Группа прочности						
		Д	К	Е	Л	М	Р	Т
114	5,2	30,2	-	-	-	-	-	-
	5,7	33,1	-	-	-	-	-	-
	6,4	37,2 (36,5)	- (48,0)	54,0	64,2	74,2	-	-
	7,4	42,9 (42,3)	- (55,5)	62,4	74,2	85,9	105,4	-
	8,6	50,0 (49,0)	- (64,5)	72,5	86,3	99,8	122,5	136,2
	10,2	-	-	-	102,3	102,3	145,3	161,6
127	5,6	29,3	-	-	-	-	-	-
	6,4	33,4 (32,8)	- (43,2)	48,6	57,7	66,9	-	-
	7,5	39,2 (38,5)	- (50,7)	57,0	67,6	78,3	96,2	106,9
	9,2	48,1 (47,3)	- (62,2)	69,8	83,0	96,1	117,9	131,1
	10,7	56,0	-	81,3	96,6	111,8	137,2	152,5
140	6,2	29,5 (28,9)	- (38,0)	42,7	-	-	-	-
	7,0	33,2 (32,6)	- (42,9)	48,3	57,4	66,5	-	-
	7,7	36,6 (36,0)	- (47,3)	53,1	63, Д	73,1	89,7	99,8
	9,2	43,7 (42,9)	- (56,5)	63,5	75,5	87,4	107,3	119,2
	10,5	49,9 (49,0)	- (64,5)	72,4	86,2	99,7	122,4	136,1
146	6,5	29,5 (29,0)	- (38,1)	42,9	-	-	-	-
	7,0	31,8 (31,3)	- (41,1)	46,2	63,5	54,9	-	-
	7,7	35,0 (34,3)	- (45,2)	50,8	60,4	69,9	-	-
	8,5	38,6 (37,9)	- (49,9)	56,1	66,7	77,2	94,7	105,3
	9,5	43,1 (42,4)	- (55,8)	62,7	74,5	86,3	105,9	117,7
	10,7	48,6 (47,7)	- (62,8)	70,6	83,9	97,2	119,2	132,5
168	7,3	28,8 (28,2)	- (37,3)	41,9	49,7	-	-	-
	8,0	31,6 (31,0)	- (40,8)	45,8	54,4	-	-	-
	8,9	35,1	-	51,0	60,6	70,1	86,1	95,7

	10,6	(34,5) 41,9	(45,4) (54,0)	60,7	72,2	83,5	102,5	114,0
	12,1	47,7 (46,9)	(61,7)	69,3	82,4	95,4	117,1	130,1
178	5,9	22,1	-	-	-	-	-	-
	6,9	25,8 (25,3)	(33,3)	37,4	-	-	-	-
	8,1	30,3 (29,7)	(39,1)	43,9	52,3	-	-	-
	9,2	34,3 (33,4)	(44,4)	49,9	59,3	68,6	84,2	93,6
	10,4	38,8 (38,1)	(50,2)	56,4	67,1	77,5	95,2	105,9
	11,5	42,9 (42,2)	(55,5)	62,4	74,1	85,8	105,3	117,1
	12,7	47,4 (46,6)	(61,3)	68,9	81,9	94,7	116,3	129,3
	13,7	-	-	74,3	88,3	102,2	125,5	139,5
	15,0	-	-	-	96,7	111,9	137,4	152,7
194	7,6	26,1 (25,6)	(38,6)	37,8	-	-	-	-
	8,3	28,4 (27,9)	(36,8)	41,3	49,1	56,9	69,8	77,5
	9,5	32,5 (32,0)	(42,1)	47,3	56,2	65,0	79,9	88,7
	10,9	37,4 (36,7)	(48,2)	54,2	64,5	74,6	91,7	101,9
	12,7	43,5 (42,7)	(56,3)	63,3	75,1	87,0	106,8	118,6
	15,1	-	-	-	89,3	103,4	127,0	141,1
219	6,7	20,3	-	-	-	-	-	-
	7,7	23,3 (22,9)	(30,2)	33,9	-	-	-	-
	8,9	27,0 (26,5)	(34,8)	39,2	46,6	53,8	-	-
	10,2	30,9 (30,4)	(39,9)	44,9	53,3	61,8	75,8	84,3
	11,4	34,5 (33,9)	(44,6)	50,2	59,6	69,0	84,7	94,2
	12,7	38,5 (37,7)	(49,7)	55,9	66,5	76,9	94,4	104,9
	14,2	43,1 (42,3)	(55,6)	62,4	74,3	86,0	105,5	177,4
245	7,9	21,5 (21,1)	(27,7)	31,2	-	-	-	-
	8,9	24,2 (23,7)	(31,3)	35,1	41,8	48,2	-	-
	10,0	27,2 (26,7)	(35,0)	39,4	46,9	54,2	66,6	74,0
	11,1	30,1 (29,6)	(38,9)	43,7	52,1	60,2	73,9	82,2

	12,0	32,5 (32,0)	(42,1)	47,4	56,3	65,1	79,9	88,8
	13,8	37,4 (36,8)	(48,4)	54,4	64,7	74,9	91,9	102,2
	15,9	-	-	-	74,5	86,3	105,9	117,7
273	7,1	17,3 (17,0)	(22,3)	25,1	-	-	-	-
	8,9	21,7 (21,3)	(27,9)	21,5	37,4	43,2	-	-
	10,2	24,8 (24,3)	(32,1)	36,0	42,8	49,5	60,8	67,6
	11,4	27,7 (27,3)	(35,8)	40,3	47,8	55,4	67,9	75,6
	12,6	30,6 (30,1)	(39,6)	44,5	52,8	61,2	5,1	83,5
	13,8	33,5 (32,9)	(43,3)	48,?	57,9	67,1	82,3	91,5
	15,1	-	-	53,3	63,3	73,3	90,0	100,1
	16,5	-	-	-	69,2	80,1	98,3	109,3
299	8,5	18,9 (18,5)	(24,4)	40,3	-	-	-	-
	9,5	81,2 (20,8)	(27,3)	30,7	36,5	42,3	51,9	57,6
	11,1	34,7 (24,2)	(31,9)	35,9	42,6	49,3	60,6	67,4
	12,4	27,5 (27,1)	(35,6)	40,1	47,6	55,1	67,6	75,2
	14,8	32,9 (32,4)	(42,5)	47,8	56,9	65,8	80,7	89,7
324	8,5	17,4	-	-	-	-	-	-
	9,5	19,5 (19,1)	(25,2)	28,2	-	-	-	-
	11,0	22,5 (22,2)	(29,1)	32,7	38,9	45,0	55,3	61,5
	12,4	25,4 (25,0)	(32,8)	37,0	43,9	50,8	62,4	69,3
	14,0	28,7 (28,1)	(37,1)	41,7	49,5	57,4	70,4	78,2
340	8,4	16,4	-	-	-	-	-	-
	9,7	18,9 (18,6)	(24,5)	27,5	32,7	-	-	-
	10,9	21,3 (20,9)	(27,5)	31,0	36,8	-	-	-
	12,2	23,8 (23,3)	(30,8)	34,6	41,2	47,6	-	-
	13,1	25,6 (25,1)	(33,0)	37,2	44,2	51,2	62,7	69,8
	14,0	27,4 (26,9)	(35,4)	39,7	47,3	54,7	67,1	74,6
	15,4	-	-	-	52,0	60,1	73,8	82,1
351	9,0	17,1 (16,8)	(22,0)	-	-	-	-	-

	10,0	18,9 (18,5)	(24,4)	27,4	32,6	-	-	-
	11,0	22,7 (22,3)	(24,4)	6472	7688	8904	-	-
	12,0	22,7 (22,3)	(29,3)	32,9	39,2	45,3	-	-
377	9,0	15,9 (15,6)	(20,5)	-	-	-	-	-
	10,0	17,6 (17,3)	(22,7)	25,6	-	-	-	-
	11,0	19,4 (19,0)	(25,0)	28,1	33,4	-	-	-
	12,0	21,2 (20,8)	(27,3)	30,7	36,5	-	-	-
406	9,5	15,5 (15,2)	(20,0)	-	-	-	-	-
	11,1	18,1 (17,8)	(23,4)	26,4	-	-	-	-
	12,6	20,6 (20,2)	(26,6)	29,9	-	-	-	-
	16,7	27,3	-	39,6	-	-	-	-
426	10,0	15,6 (15,3)	(20,1)	-	-	-	-	-
	11,0	17,2 (16,9)	(22,2)	24,9	-	-	-	-
	12,0	18,7 (18,3)	(24,1)	27,2	-	-	-	-
473	11,1	15,6 (15,3)	(20,1)	-	-	-	-	-
508	11,1	14,5 (14,2)	(18,7)	-	-	-	-	-
	12,7	16,6	-	-	-	-	-	-
	16,1	21,1	-	-	-	-	-	-

*Примечание:* Значения прочностных показателей, взятые в скобки, относятся только к трубам исполнения Б. Значения прочностных показателей без скобок относятся к трубам исполнения А и Б.

**Страгивающие нагрузки для соединения обсадных труб по ГОСТ 632-80,  
рассчитанные по формуле Яковлева-Шумилова, кН.**

Условный диаметр трубы, мм	Толщина стенки, мм	Группа прочности						
		Д	К	Е	Л	М	Р	Т
Трубы с короткой треугольной резьбой								
114	5,2	343	-	-	-	-	-	-
	5,7	421	-	-	-	-	-	-
	6,4	490 (480)	- (627)	706	-	-	-	-
	7,4	(578)	(755)	853	-	-	-	-
	8,6	(696)	(912)	1019	1216	1412	1726	1922
	10,2	-	-	-	2176	2530	3098	3452
127	5,6	441	-	-	-	-	-	-
	6,4	539 (529)	(706)	784	-	-	-	-
	7,5	666 (657)	(863)	970	1147	-	-	-
	9,2	(833)	(1098)	1235	1461	1696	2079	2314
	10,7	1490	-	2156	2548	2960	3628	4040
140	6,2	980 (960)	(1274)	1430	-	-	-	-
	7,0	1098 (1078)	(1430)	1608	1902	2216	-	-
	7,7	1216 (1196)	(1568)	1764	2078	2412	2960	3294
	9,2	1430 (1412)	(1842)	2078	2470	2862	3510	3902
	10,5	1608 (1588)	(2078)	2352	2784	3236	3962	4412
146	6,5	1078 (1058)	(1392)	1568	-	-	-	-
	7,0	1156 (1136)	(1490)	1686	2000	2314	-	-
	7,7	1274 (1254)	(1646)	1842	2196	2530	-	-
	8,5	1392 (1372)	(1804)	2020	2412	2784	3412	3804
	9,5	1548 (1510)	(2000)	2234	2666	3078	3784	4216
	10,7	1726 (1686)	(2234)	2510	2980	3452	4236	4706
168	7,3	1392 (1372)	(1804)	2040	2412	-	-	-
	8,0	1510 (1490)	(1962)	2216	2628	-	-	-

	8,9	1686 (1666)	(2176)	2450	2922	3372	4138	4608
	10,6	1980 (1960)	(2568)	2882	3432	3980	4884	5432
	12,1	2254 (2216)	(2902)	3274	3811	4490	5510	6138
178	5,9	1216	-	-	-	-	-	-
	6,9	1412 (1372)	(1804)	2038	-	-	-	-
	8,1	1626 (1608)	(2118)	2372	2824	-	-	-
	9,2	1842 (1842)	(2392)	3020	3568	4138	5080	5648
	10,4	2078 (2038)	(2686)	3020	3568	4138	5080	5648
	11,5	2274 (2234)	(2942)	3314	3922	4550	5588	6216
	12,7	2490 (2450)	(3216)	3628	4314	4980	6118	6806
	13,7	-	-	3882	4682	5354	6570	7296
	15,0	-	-	-	4980	5766	7100	7884
194	7,6	1686 (1646)	(2176)	2450	-	-	-	-
	8,3	1824 (1804)	(2372)	2666	3156	3666	4490	5000
	9,5	2078 (2038)	(2586)	3020	3588	4158	5118	5688
	10,9	2372 (2334)	(3058)	3452	4098	4746	5824	6472
	12,7	2744 (2686)	(3530)	3980	4726	5472	6706	7472
	15,1	-	-	-	5550	6412	7884	8766
219	6,7	1686	-	-	-	-	-	-
	7,7	1940 (1902)	(2510)	2824	-	-	-	-
	8,9	2234 (2196)	(2196)	2882	3236	4452	-	-
	10,2	2530 (2490)	(3274)	3686	4372	5060	6216	6922
	11,4	2824 (2764)	(3648)	4098	4864	5628	6922	7688
	12,7	3118 (3058)	(4040)	4530	5392	6236	7648	8512
	14,2	3470 (3392)	(4470)	5040	5982	6922	8492	9452
245	7,9	2216 (2176)	(2882)	3236	-	-	-	-
	8,9	2490 (2450)	(3236)	3628	4314	4980	-	-
	10,0	2784 (2744)	(3608)	4060	4824	5570	6844	7610
	11,1	3078		4470	5334	6158	7570	8414



	12,0	(3020) 3314	(3980)	4824	5746	6628	8158	9060
	13,8	(3254) 3784	(4294)	5510	6550	7570	9296	10336
	15,9	(3726) -	(4902) -	-	7472	8648	10610	11806
273	7,1	2254 (2216)	(2902)	3274	-	-	-	-
	8,9	2804 (2744)	(3608)	4060	4844	5584	-	-
	10,2	3196 (3138)	(4118)	4648	5510	6374	7924	8708
	11,4	3550 (3490)	(4588)	5158	6138	7100	8708	9688
	12,6	3902 (3844)	(5060)	5688	6746	7806	9590	10670
	13,8	4256 (4176)	(5510)	6198	7354	8512	10454	11630
	15,1	-	-	6746	8002	9276	11376	12650
	16,5	-	-	-	8708	10080	12376	13748
299	8,5	2942 (2882)	(3784)	4256	-	-	-	-
	9,5	3274 (3216)	(4216)	4746	5648	6530	8022	8924
	11,1	3804 (3726)	(4926)	5510	6550	7590	9316	10356
	12,4	4216 (4158)	(5452)	6138	7296	8434	10356	11532
	14,8	5000 (4902)	(6472)	7256	8630	9982	12258	13630
324	8,5	3196	-	-	-	-	-	-
	9,5	3550 (3490)	(4588)	5158	-	-	-	-
	11,0	4098 (4020)	(5294)	5962	7080	8198	10060	11178
	12,4	4608 (4510)	(5942)	6688	7942	9198	11278	12552
	14,0	5178 (5060)	(6668)	7512	8924	10316	12670	14102
340	8,4	3314	-	-	-	-	-	-
	9,7	3804 (3764)	(4922)	5530	6590	-	-	-
	10,9	4274 (4196)	(5510)	6198	7374	-	-	-
	12,2	4766 (4668)	(6158)	6904	8218	9512	-	-
	13,1	5098 (5000)	(6590)	7394	8806	10178	12494	13906
	14,0	5432 (5334)	(7020)	7884	9374	10846	13316	14808
	15,4	-	-	-	10276	11886	14592	16220
351	9,0	3666	-	-	-	-	-	-

	10,0	(3608) 4060	(4746)	5902	7020	-	-	-
	11,0	(3980) 4452	(5256)	6472	7688	8904	-	-
	12,0	(4372) 4844	(5746)	7040	8374	9688	-	-
		(4766)	(6256)					
377	9,0	3962		-	-	-	-	-
		(3862)	(5098)					
	10,0	4372		6354	-	-	-	-
		(4294)	(5648)					
	11,0	4804		6962	8276	-	-	-
		(4706)	(6198)					
	12,0	5216		7570	9002	-	-	-
		(5118)	(6746)					
406	9,5	4490		-	-	-	-	-
		(4412)	(5804)					
	11,1	5236		7590	-	-	-	-
		(5138)	(6746)					
	12,6	5902		8590	-	-	-	-
		(5804)	(7628)					
	16,7	7746	-	11258	-	-	-	-
426	10,0	4962		-	-	-	-	-
		(4864)	(6394)					
	11,0	5432		7904	-	-	-	-
		(5334)	(7020)					
	12,0	5922		8590	-	-	-	-
		(5804)	(7648)					
473	11,1	6098		-	-	-	-	-
		(6000)	(7884)					
508	11,1	6570		-	-	-	-	-
		(6452)	(8492)					
	12,7	7492	-	-	-	-	-	-
	16,1	9434	-	-	-	-	-	-

*Примечание:* Значения прочностных показателей, взятые в скобки, относятся только к трубам исполнения Б. Значения прочностных показателей без скобок относятся к трубам исполнения А и Б.