

# Расчет равнопрочной обсадной колонны

## Материал обсадных труб

Трубы готовят из углеродистых и легированных сталей. Предпочтение отдается углеродистым сталям группы прочности *D*, как более дешевым и, что важнее, колонна получается с большей толщиной стенки, а значит у нее больше **запас на коррозию**.

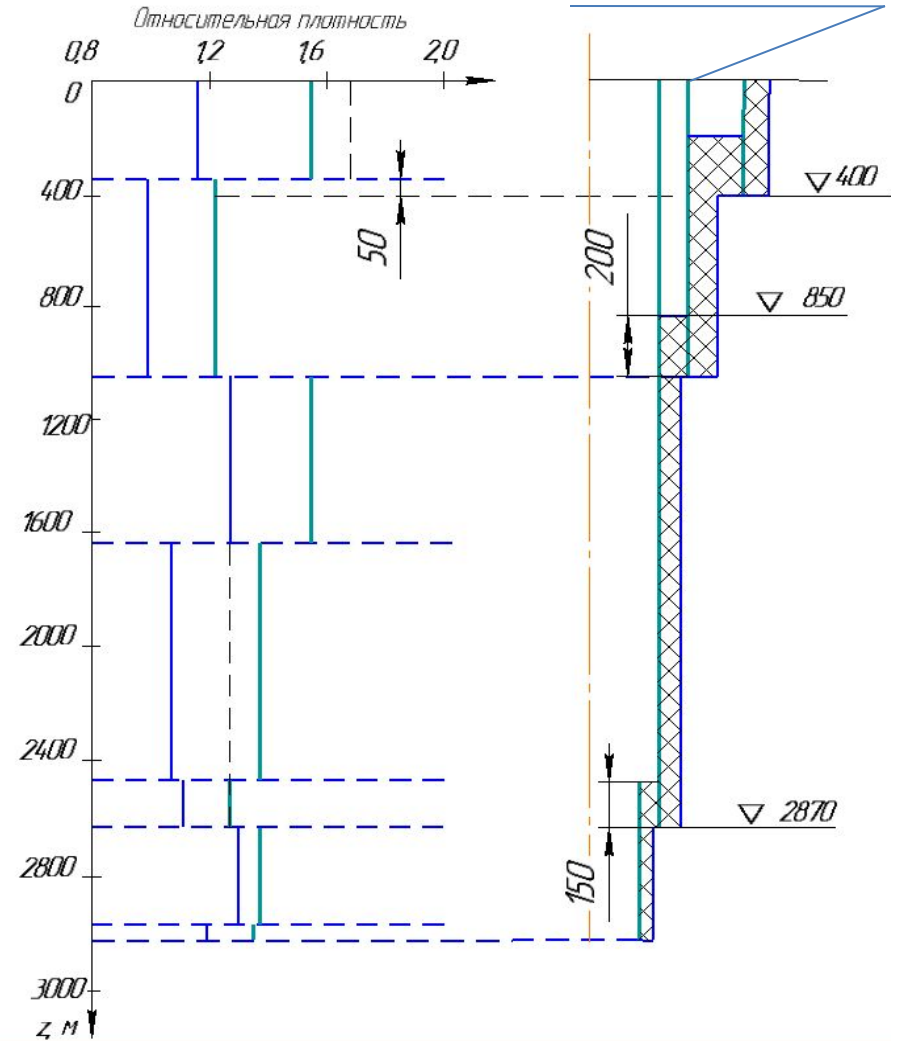
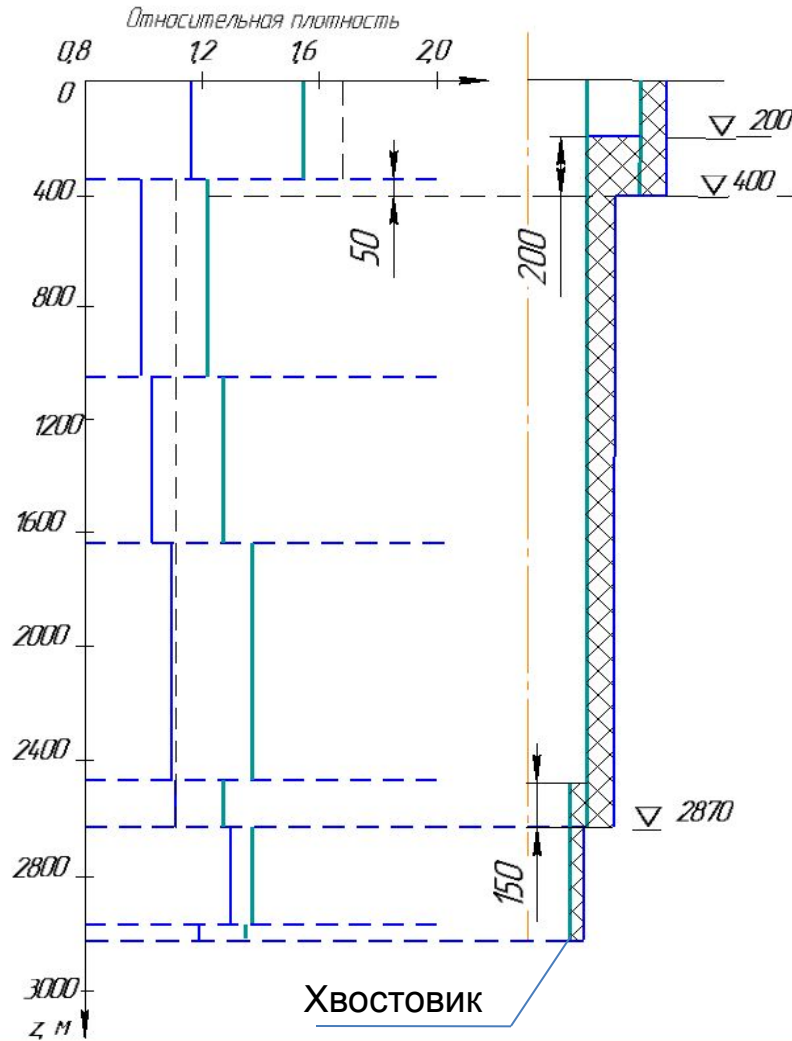
Группа прочности	<i>D</i>	<i>K</i>	<i>E</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>P</i>
предел текучести стали, $\sigma_s$ , МПа	<b>373</b>	490	539	637	735	930

# Варианты конструкций скважины

С хвостовиком  
ХВОСТОВИК

С технической колонной и  
ХВОСТОВИК

Техническая колонна



## Понятие о равнопрочной колонне

Для обеспечения минимального веса обсадной колонны ее выполняют равнопрочной, т.е. по всей длине запас прочности должен быть равным допускаемому. Поскольку колонна испытывает разные виды нагрузок, то расчет ведется по основной нагрузке для рассматриваемой части колонны и проверяется на другие виды нагрузок.

Сначала трубы проверяются на **внутреннее избыточное давление**.

Нижняя часть колонны испытывает высокие сминающие давления. Поэтому сначала делают расчет на **смятие**, а потом проверяют на растяжение и внутреннее избыточное давление.

Верхняя часть колонны испытывает высокие растягивающие нагрузки от собственного веса. Эта часть колонны рассчитывается на **растяжение**.

# Проверка колонны на внутреннее избыточное давление

Технические расчеты делятся на два вида: проектировочные и проверочные. Для осадных труб до диаметра 193,7 мм на внутреннее избыточное давление чаще всего достаточно выполнить проверочный расчет, т.к., как правило, эти трубы даже с минимальной толщиной стенки обеспечивают достаточный запас прочности.

Условие предупреждения разрыва трубы внутренним избыточным давлением  $p_{вн}$  имеет вид

$$p_{вн} \leq p_{вп} / [k_{вн}] \quad (3.1)$$

где  $p_{вп}$  – предельное для трубы внутреннее давление;  $[k_{вн}]$  – допускаемый запас прочности при действии внутреннего давления.

**Допускаемый запас прочности на внутреннее давление для труб диаметром меньше и равным 219,1 принять  $[k_{вн}] = 1,15$ , а для труб диаметром больше 219,1 мм -  $[k_{вн}] = 1,45$ .**

*Приложение А*  
 Характеристики обсадных труб из стали групп прочности *D* и *E*

Диаметр, <i>d</i> , мм	Толщина стенки, $\delta$ , мм	Вес 1 м трубы, <i>f</i> , Н/м	Сминающее давление, $p_{см}$ , МПа		Внутреннее предельное давление, $p_{вн}$ , МПа	
			<i>D</i>	<i>E</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
139,7	6,2	200	17,3	21,1	28,9	38,0
	7,0	232	21,9	27,8	32,6	42,9
	7,7	254	25,9	34,1	36,0	47,3
	9,2	297	34,5	47,5	42,9	56,5
	10,5	337	41,8	58,9	49,0	64,5
146,0	6,5	219	17,4	21,2	29,0	42,9
	7,0	243	20,1	25,2	31,3	46,2
	7,7	265	24,0	31,1	34,3	50,8
	8,5	290	28,4	37,9	37,9	56,1
	9,5	322	33,8	46,6	42,4	62,7
	10,7	358	40,2	56,7	47,7	70,6
168,3	7,3	284	16,4	19,9	28,2	41,9
	8,0	323	19,7	24,7	31,0	45,8
	8,9	344	24,1	31,3	34,5	51,0
	10,6	404	32,3	44,0	41,1	60,7
	12,1	456	39,2	55,0	46,9	69,3
177,8	6,9	285	12,8	15,1	25,3	37,4
	8,1	330	18,1	22,4	29,7	43,9
	9,2	375	23,2	29,9	33,4	49,9
	10,4	420	28,6	38,3	38,1	56,4

# Расчет ожидаемого внутреннего давления на устье скважины

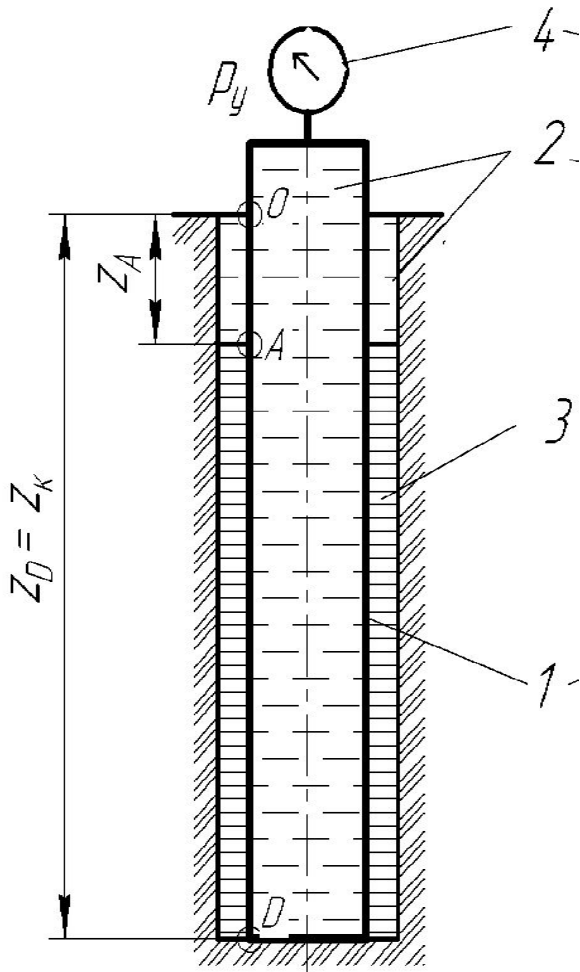
Максимальное внутреннее избыточное давление имеет место на устье скважины, где наружным (атмосферным) давлением можно пренебречь.

В курсовой работе рассмотреть два случая высокого внутреннего давления на устье скважины:

- 1) в конце цементирования;
- 2) при испытании скважины на приток пластового флюида.

# Расчет максимального внутреннего давления в конце цементировании

Расчетная схема:



- 1 – колонна труб диаметром 146 мм;
- 2 – промывочная жидкость с плотностью, на которой было закончено бурение под эту колонну (1,18);
- 3 – цементный раствор. 4 – манометр.

## Характерные точки:

0 – устье скважины (начало отсчета);

A – глубина уровня цемента за колонной. В рассматриваемом примере  $z_A = 200$  м;

D – глубина спуска колонны.

В рассматриваемом примере

$z_A = 200$  м;  $z_D = 2870$  м;  $\rho_{\text{ц}} = 1850$  кг/м<sup>3</sup>.



# Максимальное давление на устье в конце цементирования

## Расчет

Условие равновесия давлений в т.  $D$

$$p_y + \rho g z_D = \rho g z_A + \rho_{\text{ц}} g (z_D - z_A). \quad (1)$$

Отсюда давление на устье в конце цементирования

$$p_y = \rho g z_A + \rho_{\text{ц}} g (z_D - z_A) - \rho g z_D.$$

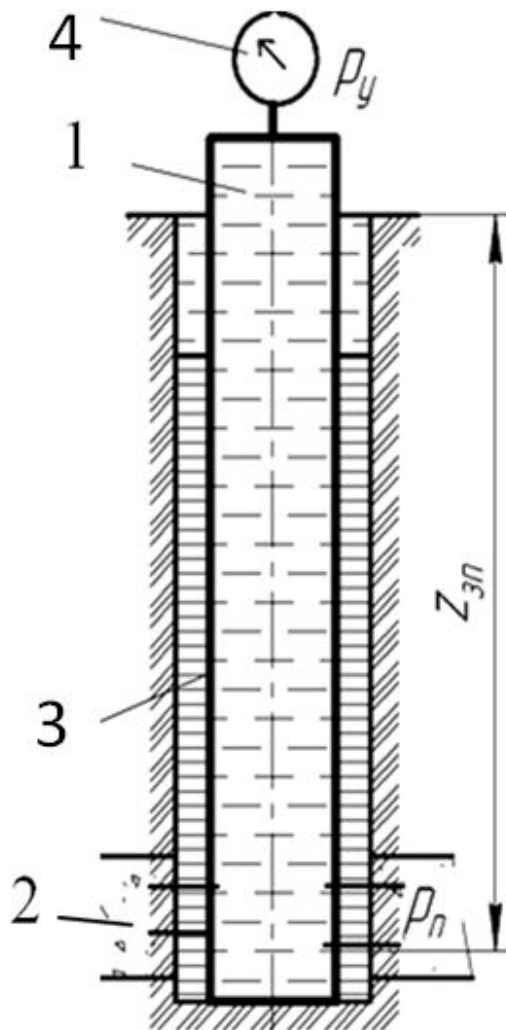
$$p_{y\text{ц}} = 1,18 * 9,81 * 0,2 + 1,85 * 9,81 * (3,0 - 0,2) - 1,18 * 9,81 * 3,0 = 20,2 \text{ МПа}.$$

Для краткости все слагаемые сокращены на  $10^{-6}$ , т.е плотность подставлена в относительных величинах, а глубина в км.

Уравнение (1) удобно просчитать по частям, как показано на следующем слайде и подсчитать внутреннее избыточное давление

$$p_{\text{вни}} = p_{\text{вн}} - p_{\text{н}}$$

# Внутреннее давление на устье в конце ИСПЫТАНИЯ



Расчетная схема:

- 1 – нефть плотностью 800 кг/м<sup>3</sup>;
- 2 – продуктивный пласт.
- 3 – эксплуатационная колонна;
- 4 – манометр

Расчет:

$$p_{yu} = p_{пб} - \rho_n g z_{эп}.$$

В формулу следует подставлять **пластовое давление и глубину замера** в продуктивном (6-м) пласте не зависимо от конструкции скважины:

$$p_{yu} = 31 - 0,8 * 9,81 * 2,8 = 9,02 \text{ МПа}$$

# Принятие решения

Выбираем из двух расчетов больший результат ( $p_{\text{вmax}}$ ).  
Большим оказалось давление в конце цементирования.

Давление опрессовки должно быть на **10 %** больше максимального,  
т. е.

$$p_{\text{опр}} = k p_{\text{max}} = 1,1 * 20,2 = 22,2 \text{ МПа},$$

где  $k$  – коэффициент запаса при опрессовке.

Полученный результат сопоставить с требуемым для  
рассчитываемой колонны минимальным давлением  
опрессовки.

Минимальные давления опрессовки:

диаметр колонны, мм	139,7-146,0	168,3	177,8-193,7	219,1-244,5
$p_{\text{опр.мин}}$ , МПа	<b>12,5</b>	11,5	9,5	9,0

Из двух полученных результатов выбрать большее, т.е. **22,2 МПа**.

# Итоги проверки обсадной колонны на внутреннее давление

В рассматриваемом примере  $d_3 = 146$  мм. Минимальная толщина стенки этих труб **6,5 мм**. В приложении А находим, что предельное внутреннее давление для этих труб составляет

$$p_{вп} = 29 \text{ МПа.}$$

Для колонны диаметром 146 мм допускаемый запас прочности  $[k_{вн}] = 1,15$  (см. слайд 5), а  $p_{вп} = 29,0$  МПа.  
Фактический запас прочности составил

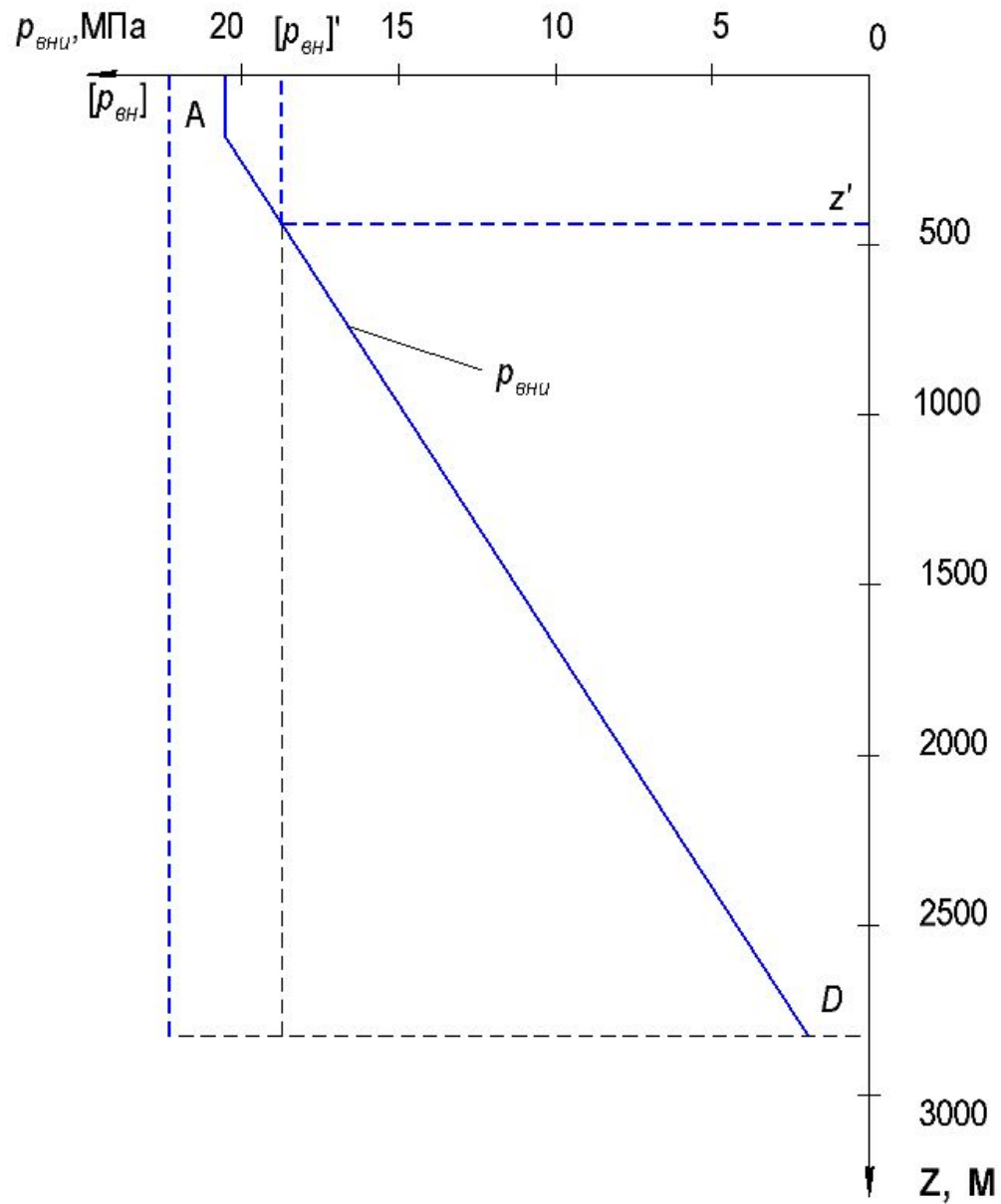
$$[p_{вн}] = 29/1,15 = 25,2 \text{ МПа, т.е. } [p_{вн}] > p_{отак} .$$

Следовательно, для колонны 146 мм проверка на внутреннее давление при дальнейших расчетах **не требуется**

## Результаты расчета внутреннего избыточного давления

<i>Обозначение точек</i>	<i>z, м</i>	<i>p<sub>вн</sub>, МПа</i>	<i>p<sub>н</sub>, МПа</i>	<i>p<sub>вни</sub> = p<sub>вн</sub> - p<sub>н</sub>, МПа</i>
<i>O</i>	0	22,2	0	22,2
<i>A</i>	200	24,6	2,4	22,2
<i>D</i>	2870	55,4	53,1	2,3

# График внутреннего избыточного давления



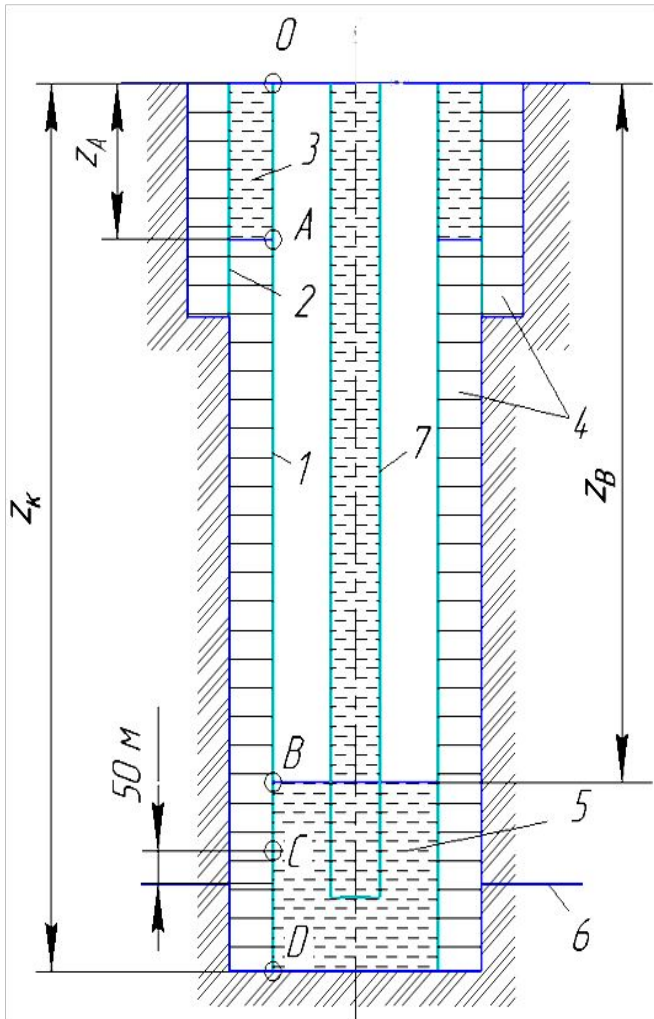
## Особенности расчета сминающего давления на обсадную колонну

1 За обсадной колонной находится не жидкий цементный раствор, а **цементный камень**, т.к. расчет ведется для эксплуатируемой скважины на момент максимального понижения в ней уровня жидкости.

2 Рассчитывается условное (**расчетное**) наружное давление при условной плотности жидкости за колонной **1100 кг/м<sup>3</sup>**.

3 Для интервалов, не перекрытых предыдущими колоннами делается проверка на наличие аномалий давления. При этом продуктивный пласт исключается из расчета;

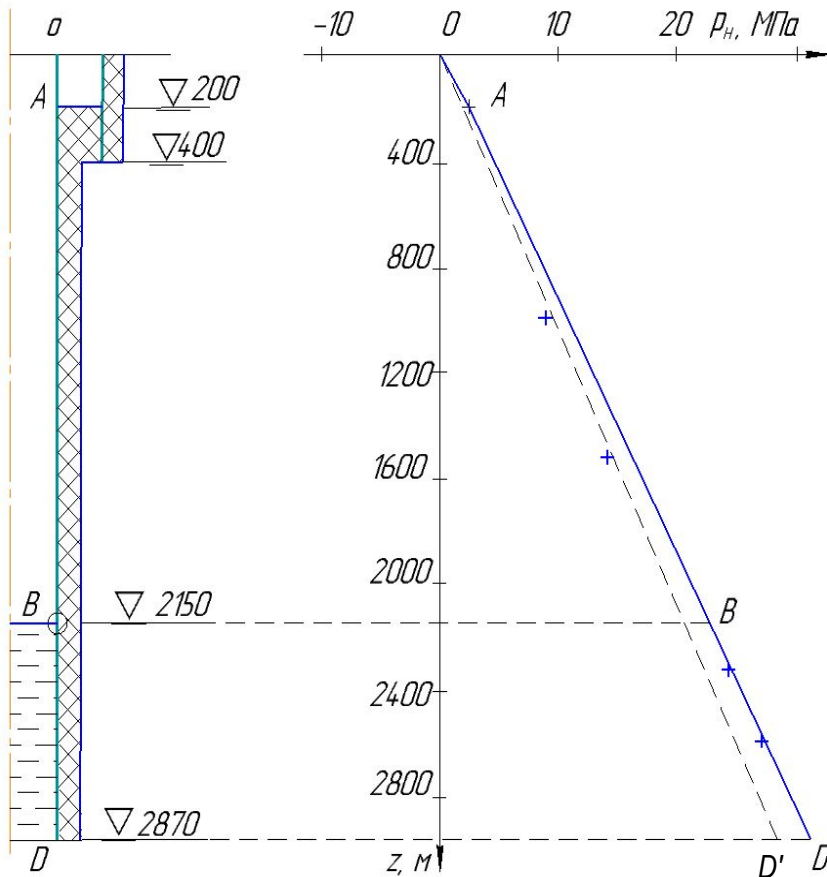
4 Если пластовое давление превышает **расчетное**, то оно рассматривается как **аномальное**. Расчеты давлений провести на глубинах замера.



Эксплуатируемая скважина

# Расчет наружного давления на обсадную колонну

## Расчетная



**Внимание:** т. А может находиться не только в кондукторе, но и в технической колонне, предшествующей эксплуатационной.

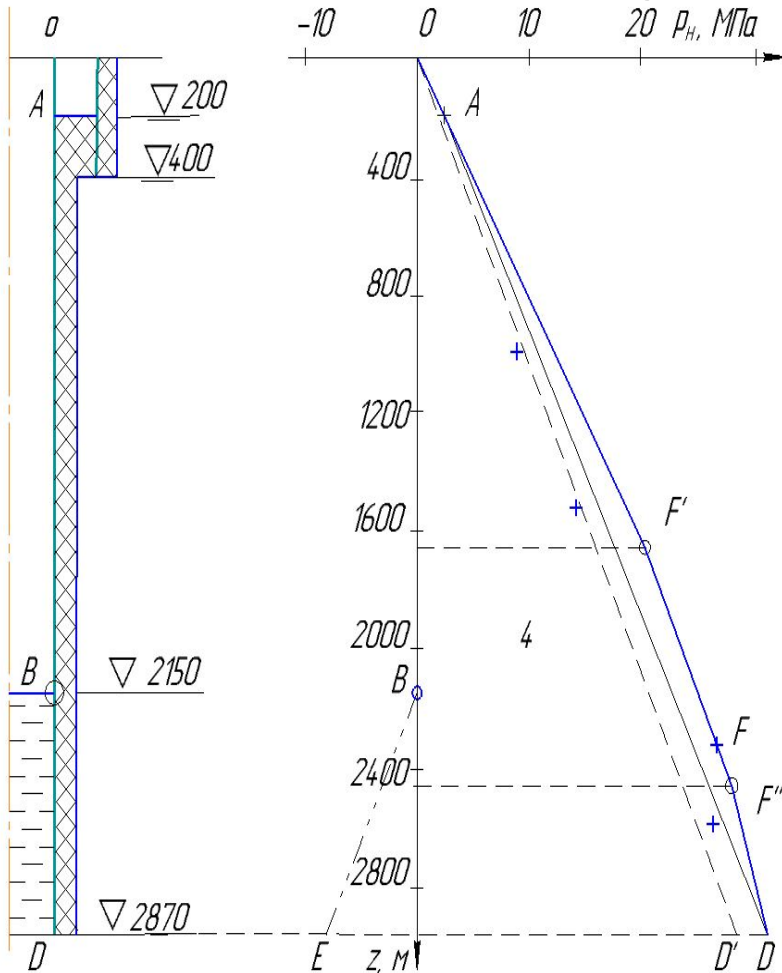
## Последовательность построения графика $p$ от $z$ :

- 1) график давления воды. Первый расчет (прямая  $OD'$  – пунктирная линия)  
 $p_B = 0,00981z = 0,00981 \cdot 2870 = 27,3$  МПа;
- 2) график давления в интервале  $OA$   
 $p_A = \rho g z_A = 1180 \cdot 981 \cdot 200 \cdot 10^{-6} = 1,18 \cdot 9,81 \cdot 0,2 = 2,32$  МПа;
- 3) в интервале цемента принимается **условная плотность жидкости**, создающей давление на колонну, равная 1,1. Тогда давление в т.  $D$ :  
 $p_D = p_A + \rho_v g(z_D - z_A) = 2,32 + 1,1 \cdot 9,81 \cdot (2,87 - 0,2) = 31,13$  МПа.  
Нанести график (прямую)  $AD$ ;
- 4) нанести пластовые давления на глубинах замера (нанесены крестиками) в интервалах, не перекрытых ранее спущенными колоннами. Поэтому давление в 1-м пласте не нанесено.  
Шестой пласт продуктивный и его то же наносить не надо, т.к. в процессе эксплуатации давление в нем будет существенно понижено.  
Из графика видно, что все точки пластовых давлений левее прямой  $AD$ . Следовательно прямая  $AD$  является окончательным графиком **наружного давления**.



# Продолжени

е



- Пусть 4-й пласт – **аномальный**, т.е. точка его давления ( $t.F$ ) находится правее прямой AD:
- 1) нанести границы аномального пласта;
  - 2) через точку F провести линию, параллельную прямой давления воды (до пересечения с границами 4-го пласта (до тт. F' и F''));
  - 3) тт. A, F', F'' и D соединить прямыми отрезками (линиями).

Полученная ломаная линия – график наружного давления.

Если аномальных пластов несколько, то проводится выпуклая огибающая линия прямыми отрезками от т. A до т. D.

# Зависимость $p_H$ от $z$

Z, м	$P_H$	$P_p$	$P_v$	$P_a$
250	4	5,1	2,45	
1000	10,5	11,9		
2000	20	20,9		
2500	28	25,5		
2800	27,5	28		
3000	29	30	29,4	
3100		30,8		
3500			34,3	
2300				26,063
2650				29,497

