

Лабораторная работа №6

Расчет нагрузки на обсадную колонну.

Нагрузки, которым обсадная колонна будет подвергаться в течение срока службы скважины, будут зависеть от выполняемых операций: во время спуска обсадной колонны; бурение следующего участка ствола; и во время эксплуатации скважины. Эти операции приведут к радиальным (разрыв и смятие) и осевым (растягивающим и сжимающим) нагрузкам на обсадные колонны. Поскольку операции, выполняемые внутри любой конкретной секции (например, кондуктора), будут отличаться от операций внутри других секций (например, производственная колонна), сценарии загрузки и последующие нагрузки будут специфичными для конкретной секции. Определение сценариев эксплуатации, которые необходимо учитывать, является одним из наиболее важных шагов в процессе проектирования обсадной колонны, и поэтому они обычно устанавливаются в качестве политики компании.

Радиальные нагрузки, которым подвергается обсадная колонна, следующие:

Давление смятия / Collapse кысым

Если внешняя радиальная нагрузка превышает внутреннюю радиальную нагрузку, обсадная колонна будет испытывать общую нагрузку при смятии (Рисунок 15). Наибольшая нагрузка при обрушении обсадной колонны возникнет, если обсадная колонна будет опорожнена (пуста) по какой-либо причине. Усилие разрушения P_c в любой точке обсадной колонны можно рассчитать по формуле:

$$P_c = P_e - P_i$$

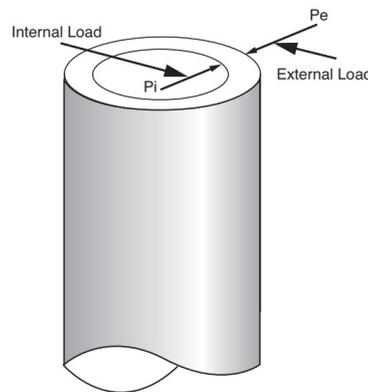


Figure 15 Radial loads on casing.

Давление на разрыв / Burst кысым

Обсадная колонна будет испытывать чистую разрывную нагрузку, если внутренняя радиальная нагрузка превышает внешнюю радиальную нагрузку. Разрывная нагрузка P_b в любой точке корпуса может быть рассчитана по формуле:

$$P_b = P_i - P_e$$

При проектировании обсадной колонны для противодействия разрывной нагрузке следует учитывать номинальное давление устья скважины и трубы противовыбросового превентора, поскольку обсадная колонна является частью системы управления скважиной.

Внутренние, P_i и внешние, P_e нагрузки, которые используются при определении разрывных и сминающих нагрузок на обсадную колонну, получены из анализа сценариев эксплуатации.

Внешние нагрузки, P_e :

- Пластовое давление
- Плотность бурового раствора, в которую погружена обсадная колонна
- Давление от столба воды затворения цементного раствора
- Давление от столба цементного раствора
- Закупорка в затрубном пространстве

Внутренние нагрузки, P_i :

- Буровой раствор на устье
- Давление притока
- Полное потеря циркуляции (поглощение)
- Приток в НКТ
- Давление разрыва открытого пласта

Чистая (действительная) радиальная нагрузка (нагрузка на разрыв или смятие)

Когда внутренняя и внешняя нагрузки были определены количественно, максимальная чистая радиальная нагрузка на обсадную колонну определяется путем количественной оценки разницы между внутренней и внешней нагрузкой во всех точках вдоль обсадной колонны. Если чистая радиальная нагрузка направлена наружу, обсадная колонна подвергается разрывной нагрузке. Если чистая нагрузка направлена внутрь, то обсадная труба подвергается нагрузке смятия. Внутренние и внешние нагрузки, используемые при определении чистой нагрузки, должны быть совместимы с эксплуатационной точки зрения, то есть они должны иметь возможность сосуществовать одновременно.

Осевая нагрузка / Øстік жүктеме

Осевая нагрузка на обсадную колонну может быть растягивающей или сжимающей, в зависимости от условий эксплуатации (Рисунок 16). Осевая нагрузка на кожух будет изменяться по длине кожуха. Обсадная труба подвергается широкому диапазону осевых нагрузок во время установки и последующего бурения и добычи. Осевые нагрузки, которые будут возникать во время любой конкретной операции, должны быть вычислены и сложены, чтобы определить общую осевую нагрузку на обсадную колонну.

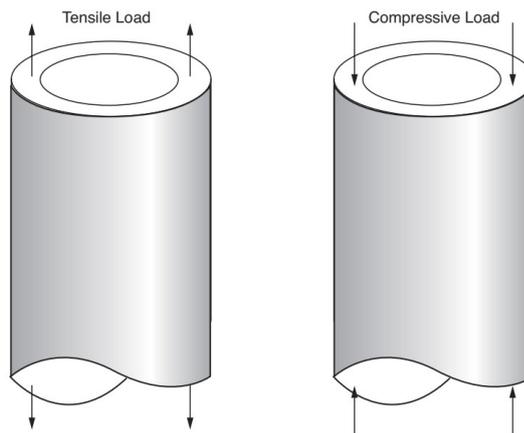


Figure 16 Axial Loads on Casing.

Источники осевых нагрузок на обсадную колонну зависят от ряда переменных:

W - сухой вес обсадной колонны;

ϕ угол ствола скважины;

A_o площадь поперечного сечения наружной части ОК;

A_i - площадь поперечного сечения внутренней части ОК;

DLS - степень изгиба скважины в любой точке (градусов на фут);

P_i - поверхностное давление, приложенное к внутреннему давлению обсадной колонны;
 Как площадь поперечного сечения тела трубы;
 ΔT изменение температуры в любой точке скважины;
 dP_i и dP_e - изменение внутреннего и внешнего давления на ок; и ν коэффициент Пуассона для стали.
 v скорость обсадной колонны
 P_{surf} - давление, приложенное к внутренней части обсадной колонны на поверхности при испытании обсадной колонны после удара по цементной пробке.

Двухосная и трехосная нагрузка

Как теоретически, так и экспериментально можно продемонстрировать, что осевая нагрузка на обсадную колонну может влиять на характеристики разрыва и смятия этой обсадной колонны. Это представлено на фиг. 18. Можно видеть, что по мере того, как растягивающая нагрузка, прикладываемая к трубному элементу, увеличивается, степень смятия уменьшается, а рейтинг разрыва увеличивается. Из этой диаграммы также видно, что по мере увеличения сжимающей нагрузки рейтинг разрыва уменьшается, а рейтинг разрушения увеличивается. Приведенные в API рейтинги на разрыв и сжатие обсадной колонны предполагают, что обсадная труба испытывает нулевую осевую нагрузку. Однако, поскольку обсадные колонны очень часто подвергаются одновременно сочетанию нагрузки на растяжение и обрушение, API установил взаимосвязь между этими нагрузками.

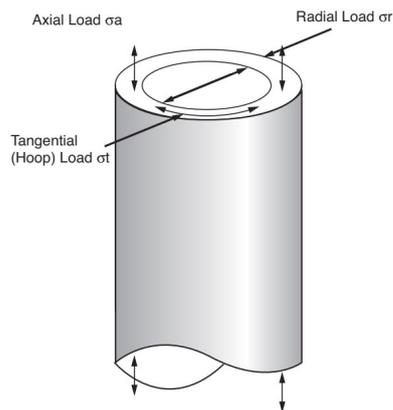


Figure 17 Tri-axial loading on casing.

Эллипс, показанный на рисунке 18, на самом деле является двухмерным представлением трехмерного явления. На самом деле обсадная колонна будет испытывать сочетание трех нагрузок (трехосное нагружение). Это радиальные, осевые и тангенциальные нагрузки (рис. 17). Последний является результатом двух других. Трехосное нагружение и разрушение обсадной колонны из-за сочетания этих нагрузок очень необычно, поэтому расчет трехосных нагрузок на обсадную колонну нечасто проводится. В случае спуска обсадных колонн в экстремальных условиях (скважины > 12 000 psi, высокое содержание H₂S) следует провести трехосный анализ.

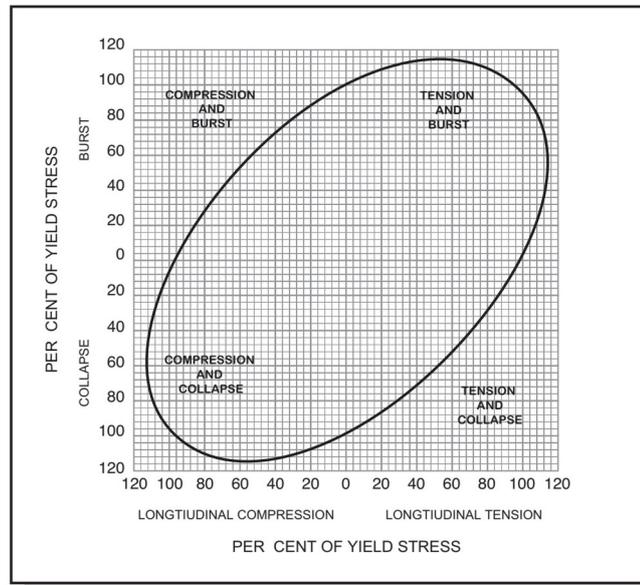


Figure 18 Tri-axial loading ellipse.

Расчетные коэффициенты

Неопределенность, связанная с условиями, используемыми при расчете описанных выше внешних, внутренних, сжимающих и растягивающих нагрузок, учитывается путем увеличения разрыва и осевых нагрузок с помощью расчетного коэффициента. Эти коэффициенты применяются для увеличения фактических значений нагрузки для получения расчетных нагрузок. Факторы проектирования в значительной степени определяются опытом и зависят от последствий разрушения обсадной колонны. Также необходимо учитывать степень неопределенности (например, для разведочной скважины могут потребоваться более высокие проектные факторы, чем для разрабатываемой скважины). Обычно используются следующие диапазоны факторов:

- Расчетные коэффициенты разрыва 1,0–1,33
- Расчетные факторы смятия 1,0–1,125
- Расчетные коэффициенты растяжения 1,0 - 2,0
- Трехосный расчетный коэффициент 1,25

Проектирование обсадной колонны

Пример проектирования ОК: Таблица ниже представляет собой набор данных из реальной скважины. Как инженер по бурению, вам необходимо рассчитать разрывные и смятие нагрузки, которые будут использоваться для выбора подходящего веса и марки обсадной колонны для Кондуктора, Промежуточной и Эксплуатационной колонн в скважине:

Кондуктор (20" @ 3000 FT). Из программы бурения видно, что для проектирования должны использоваться следующие данные:

DRILLING ENGINEERING

Глубина отверстия (футы)	Диаметр ОК (in.)	Ожидаемый Мин. / Макс. Давление пор (PPG)	Ожидаемое ЛОТ давление Град. PPG)	Плотность БР (PPG)	Cementing data				Потенциальные проблемы
					ТОС		Верхняя граница цементного моста (PPG)	Вода затворения (PPG)	
Driven 100	30"	-	-	-	-		-	-	
26" 3000	20"	8.6	13.0 @ 3000	9.0	морское дно		15.88 500ft	8.5	неконсолидированный
17 1/2" 6000	13 3/8"	8.6/9.5	16.0 @ 6000	11.00	4300		15.88 500ft	8.5	Каверн / осыпи
12 1/4" 10000	9 5/8"	9.5/11.0	16.5 @ 10000'	14.00	7500		15.88 500ft	8.5	Возможно потеря цирк.
8 1/2" 9500 - 12000	7" L	11.0/14.0		15.00	9500		15.88 500ft	8.5	Нестабильные сланцы

Данные производственных испытаний:

- Плотность жидкости для завершения скважинных испытаний: 8,60 ppg
- глубина испытательного пакера: 11000 футов TVD RKB (роторная втулка Квадрата);
- Глубины перфорации: 11250 футов TVD RKB;
- Давление в верхней части перфорации 14,0 ppg
- Скважинный градиент жидкости при испытании скважины: 0,15 psi/ft.
- Подъем газа может потребоваться

Предположения:

- Плотность газа выше 10000 футов: 0,1 psi/ft
- Расчетный коэффициент (Разрыв): 1,1
- Расчетный коэффициент (Смятия) 1,0

Кондуктор (20" @ 3000 FT)

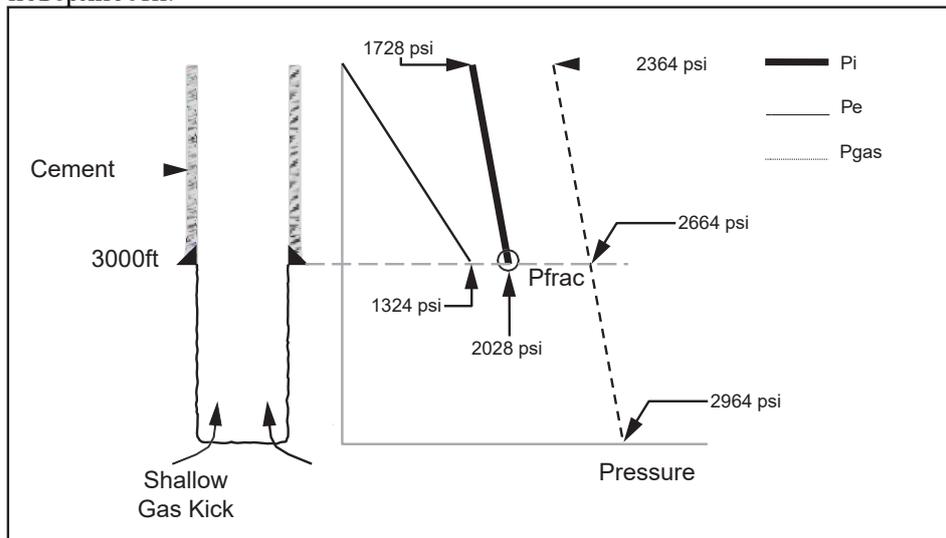
Из программы бурения видно, что для проектирования должны использоваться следующие данные:

- Диаметр ОК : 20"
- Глубина : 3000 ft
- Пластовое давление над 3000 ft : 8.6 ppg
- Масса бурового раствора, в котором должна эксплуатироваться обсадная колонна : 9.0 ppg
- Глубина следующего (17 1/2 ") отверстия : 6000 ft
- Максимальное пластовое давление на забое 17: 9.5 ppg
1/2 "отверстия
- Градиент давления Гидроразрыва на 20 " башмаке : 13 ppg.
- Ожидаемый газовый градиент: : 0.1 psi/ft

Факторы: (разрыв) 1,1
(смятие) 1,0

Разрыв – Бурение - Burst:

Внутренняя нагрузка: при условии, что произошел приток газа, и скважина заполнена газом на поверхности.



Пластовое давление на дне отверстия 17 1/2 " = $9,5 \times 0,052 \times 6000 = 2964$ psi
 Давление на поверхности = Давление на дне отверстия 17 1/2 " - давление, обусловленное столбом газа
 = $2964 - (0,1 \times 6000) = 2364$ psi
 Давление в 20" обсадной колонне = $2964 - (0,1 \times 3000) = 2664$ psi
 LOT Давление на 20 "башмаке обсадной колонны = $13 \times 0,052 \times 3000 = 2028$ psi
 Порода в башмаке обсадной колонны будет разрушаться при 2028 psi и, следовательно, будет разрушаться, если к ней приложено давление 2664 psi. Таким образом, максимальное давление внутри поверхности ОК на башмаке составит 2028 psi.
 Максимальное давление на устье будет равно давлению на башмаке минус столба газа на устье:
 = $2028 - (0,1 \times 3000) = 1728$ psi
Внешняя нагрузка: при условии, что пластовое давление действует на башмак обсадной колонны и равно нулю давление на устье.
 Пластовое давление на башмак обсадной колонны = $8,6 \times 0,052 \times 3000 = 1342$ psi
 Внешнее давление на устье = 0 psi

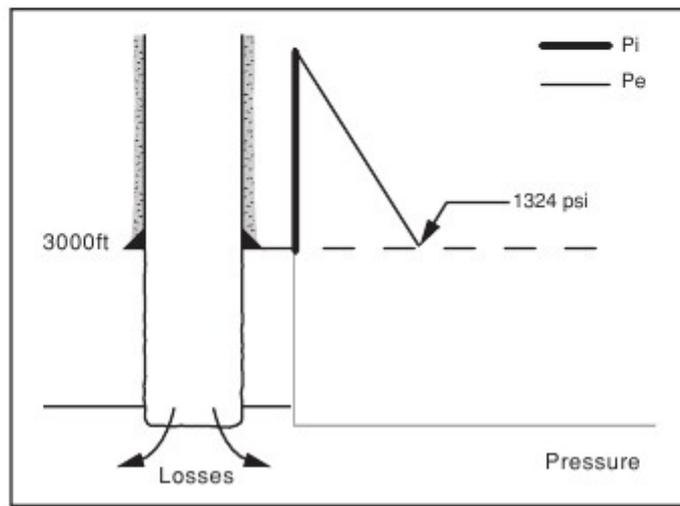
Краткое описание предельных нагрузок (разрывающая)

Глубина	Внешняя нагрузка	Внутренняя нагрузка	Действительная нагрузка	Расчётная нагрузка (ДН x 1.1)
Устье	0	1728	1728	1901
Башмак (3000 ft)	1342	2028	686	755

Смятие - Бурение:

Внутренняя нагрузка: при условии, что у нас скважина полностью откачена из-за потери циркуляции или поглощения бурового раствора.

$P_c = P_e - P_i$



Внутреннее давление на поверхности = 0 psi

Внутреннее давление в башмаке = 0 psi

Внешняя нагрузка: при условии, что поровое давление действует на башмак обсадной колонны и равно нулю давление на поверхности.

Поровое давление на башмак обсадной колонны = $8,6 \times 0,52 \times 3000 = 1342$ psi

Внешнее давление на поверхности = 0 psi

Краткое описание предельных нагрузок (разрушающая)

Глубина	Внешняя нагрузка	Внутренняя нагрузка	Действительная нагрузка	Расчётная нагрузка (ДН x 1.0)
Устье	0	0	0	0
Башмак (3000 ft)	1342	0	1342	1342

Промежуточная ОК (13 3/8" @ 6000 FT)

Из программы бурения видно, что для проектирования должны использоваться следующие данные:

- Диаметр ОК : 13 3/8"
- Глубина : 6000 ft
- Мин пластовое давление над 6000 ft : 8.6 ppg
- Макс пластовое давление над 6000 ft : 9.5 ppg
- Масса бурового раствора, в котором должна эксплуатироваться обсадная колонна : 11.0 ppg
- Глубина следующего (12 1/4") отверстия : 10000 ft
- Максимальное пластовое давление на забое 12 1/4" отверстия : 11.0 ppg

Градиент давления Гидроразрыва на 13 3/8" башмаке

: 16 ppg.

Ожидаемый газовый градиент:

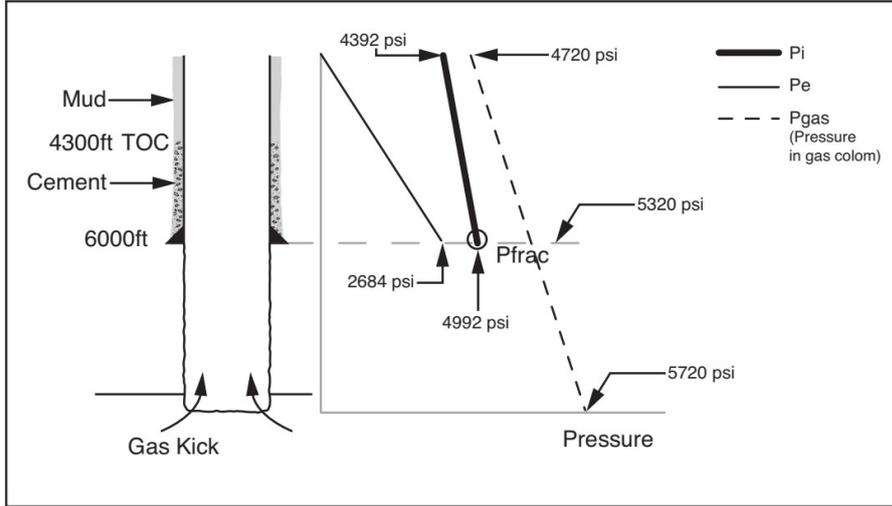
: 0.1 psi/ft

Факторы: (разрыв) 1,1

(смятие) 1,0

Проектирование на разрыв - бурение:

Внутренняя нагрузка: предполагается, что произошел приток газа, и скважина заполнена газом на поверхности.



Пластовое давление на забое скважины 12 1/4 дюйма

$$= 11 \times 0,052 \times 10000$$

$$= 5720 \text{ psi}$$

Давление на устье = Давление на забое скважины 12 1/4 дюйма - давление за счет столба газа

$$= 5720 - (0,1 \times 10000)$$

$$= 4720 \text{ psi}$$

Давление на башмаке обсадной колонны 13 3/8 дюйма

$$= 5720 - (0,1 \times 4000)$$

$$= 5320 \text{ psi}$$

LOT Давление на башмаке обсадной колонны 13 3/8 дюйма

$$= 16 \times 0,052 \times 6000$$

$$= 4992 \text{ psi}$$

Поэтому пласт на башмаке обсадной колонны разрушится, когда скважина закроется после того, как газ выйдет на поверхность. Максимальное давление внутри ОК у башмака будет 4992 psi.

Максимальное давление на поверхности будет равно давлению на башмаке за вычетом столба газа на поверхности:

$$= 4992 - (0,1 \times 6000)$$

$$= \mathbf{4392 \text{ psi}}$$

Внешняя нагрузка: предполагается, что минимальное поровое давление действует на башмак обсадной колонны и нулевое давление на поверхности.

Поровое давление на башмаке обсадной колонны

$$= 8,6 \times 0,052 \times 6000$$

$$= 2684 \text{ psi.}$$

Внешнее давление на устье = 0 psi.

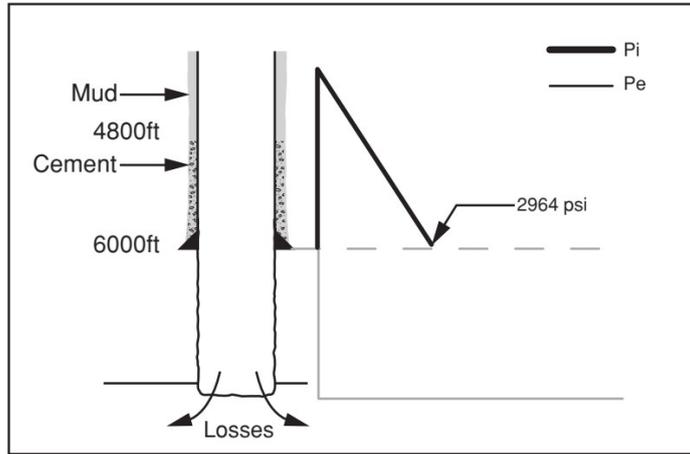
Сумма нагрузок на разрыв

Глубина	Внешняя нагрузка	Внутренняя нагрузка	Действительная нагрузка	Расчётная нагрузка (ДН x
---------	------------------	---------------------	-------------------------	--------------------------

				1.1)
Поверхность	0	4392	4392	4831
Башмак (3000 ft)	2684	4992	2308	2539

Проектирование смятия - бурение

Внутренняя нагрузка: предполагается, что обсадная колонна полностью откачана из-за потерь бурового раствора.



Внутреннее давление на поверхности = 0 psi.

Внутреннее давление на башмаке = 0 psi.

Внешняя нагрузка: предполагается, что максимальное поровое давление действует на башмак обсадной колонны и нулевое давление на поверхности. башмак и нулевое давление на поверхности.

Поровое давление на башмаке обсадной колонны = $9,5 \times 0,052 \times 6000$
= 2964 psi.

Внешнее давление на поверхности = 0 psi.

Сумма нагрузок на смятие

Глубина	Внешняя нагрузка	Внутренняя нагрузка	Действительная нагрузка	Расчётная нагрузка (ДН x 1.0)
Устье	0	0	0	0
Башмак ОК (6000ft)	2964	0	2964	2964

Эксплуатационная ОК ((9 5/8" @ 10000 FT)

Из программы бурения видно, что для проектирования должны использоваться следующие данные:

Диаметр ОК	: 9 5/8"
Глубина	: 10000 ft
Верх of 7" хвостовика	: 9500 ft
Глубина перфорации	: 11250 ft
Давление в верхней части перфорации	: 14.0 ppg
Мин пластовое давление над 6000 ft	: 9.5 ppg
Макс пластовое давление над 6000 ft	: 11.0 ppg
Масса бурового раствора, в котором должна эксплуатироваться обсадная колонна	: 14.0 ppg

Density of Completion/Packer fluid	: 9.6 ppg
Глубина пакера	: 11 000
Ожидаемый газовый градиент:	: 0.15 psi/ft

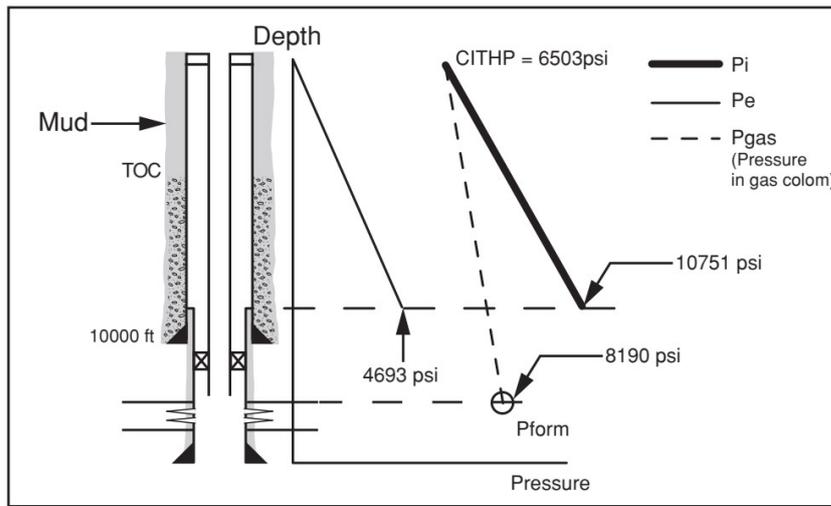
Факторы: (разрыв) 1,1

(разрушение) 1,0

Burst Design - ЭОК:

Внутренняя нагрузка: предполагается, что утечка происходит в НКТ на поверхности и что давление в устье скважины при закрытом клапане (CITHP) действует на внутреннюю часть верхней части обсадной колонны.

Затем это давление будет действовать на столб пакерной жидкости. ОК 9 5/8 дюйма подвергается этому давлению только до верха хвостовика (TOL). 7-дюймовый хвостовик защищает остальную часть ОК.



Максим. пластовое давление в верхней части производственной зоны

$$= 14 \times 0,052 \times 11250$$

$$= 8190 \text{ psi}$$

CITHP (на поверхности) = Давление наверху Perfs - давление столба газа (0,15 psi/ft)

$$= 8190 - 0,15 \times 11250$$

$$= 6503 \text{ psi}$$

Давление в верхней части хвостовика = CITHP плюс гидростатический столб пакерной жидкости

$$= 6503 + (8,6 \times 0,052 \times 9500)$$

$$= 10751 \text{ psi}$$

Внешняя нагрузка: предполагается, что минимальное поровое давление действует на глубине хвостовика и нулевое давление на поверхности.

Поровое давление в верхней части лайнера = $9,5 \times 0,052 \times 9500$

$$= 4693 \text{ psi}$$

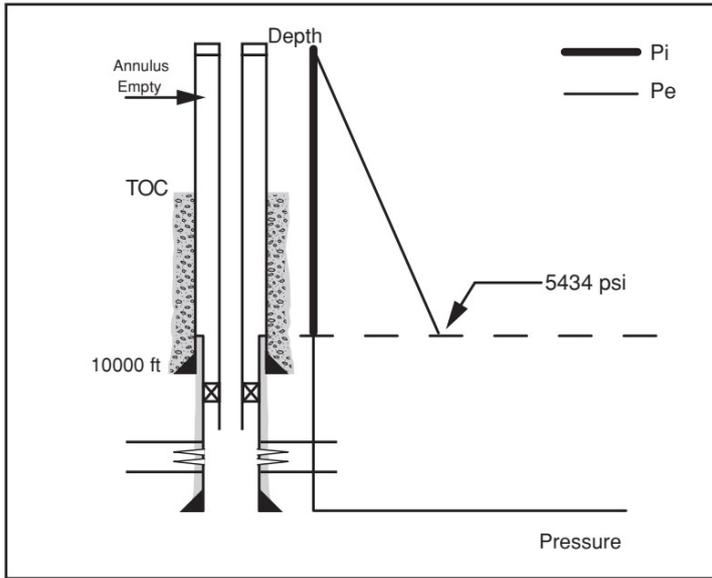
Внешнее давление на поверхности = 0 psi

Summary of Burst Loads

DEPTH	External Load	Internal Load	Net Load	Design Load (Net Load x 1.1)
Surface	0	6503	6503	7153
TOL (9500ft)	4693	10751	6058	6664

Проектирование на смятие - бурение

Внутренняя нагрузка: при условии, что обсадная колонна полностью откачана из-за операций по подъему газового подъема



Внутреннее давление на поверхности = 0 psi

Внутреннее давление в верхней части хвостовика (TOL) = 0 psi

Внешняя нагрузка: предполагается, что максимальное поровое давление действует снаружи

обсадной колонны на TOL

Поровое давление при TOL = $11 \times 0,052 \times 9500$
= 5434 psi

Внешнее давление на поверхности = 0 psi

S UMMARY OF COLLAPSE LOADS

DEPTH	EXTERNAL LOAD	INTERNAL LOAD	NET LOAD	DESIGN LOAD (LOAD x 1.0)
Surface	0	0	0	0
TOL (9500 ft)	5434	0	5434	5434