

(11)

**ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
(ВНИИМС)**

Reg. № ПСТ 41-99 Группа УДК 622.32:665.6:621.643.2:624.154.68
12

**ПРОМЫШЛЕННОСТЬ НЕФТЯНАЯ И ГАЗОВАЯ.
ФОРМУЛЫ И РАСЧЕТЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ
ХАРАКТЕРИСТИК ОБСАДНЫХ, НАСОСНО-
КОМПРЕССОРНЫХ, БУРИЛЬНЫХ И
ТРУБОПРОВОДНЫХ ТРУБ**

**PETROLEUM AND NATURAL GAS INDUSTRIES.
FORMULAE AND CALCULATION FOR CASING,
TUBING, DRILL PIPE AND LINE PIPE PROPERTIES**

Страна, № стандарта

ISO 10400

Введен

Первое издание
1993 г.

Перевод аутентичен оригиналу

Переводчик: Поликарпов М.П.

Редактор: Кершенбаум В.Я.

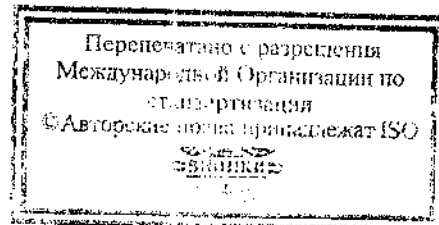
Кол-во стр.: 96

Кол-во рис.: 18

Кол-во табл.: 11

Перевод выполнен: 15.09.1999

Редактирование выполнено:
25.09.1999



Москва
1999

[Handwritten signature]

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
СТАНДАРТ**

**ISO
10400**

Первое издание

1993-12-15

**ПРОМЫШЛЕННОСТЬ НЕФТЯНАЯ И ГАЗОВАЯ.
ФОРМУЛЫ И РАСЧЕТЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ
ХАРАКТЕРИСТИК ОБСАДНЫХ, НАСОСНО-
КОМПРЕССОРНЫХ, БУРИЛЬНЫХ И
ТРУБОПРОВОДНЫХ ТРУБ**

**PETROLEUM AND NATURAL GAS INDUSTRIES.
FORMULAE AND CALCULATION FOR CASING,
TUBING, DRILL PIPE AND LINE PIPE
PROPERTIES**



Регистрационный номер

ISO 10400:1993

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международная организация по стандартизации (ИСО) является всемирной федерацией национальных организаций по стандартизации (организаций-членов ИСО). Разработка международных стандартов обычно осуществляется через технические комитеты ИСО. Каждый член ИСО, заинтересованный в деятельности, для которой был создан технический комитет, имеет право быть представленным в этом комитете. Международные правительственные и неправительственные организации, имеющие связи с ИСО, также принимают участие в работе. ИСО работает в тесном сотрудничестве с Международной электротехнической комиссией (МЭК) по всем вопросам стандартизации в области электротехники.

Проекты международных стандартов, принятые техническими комитетами, рассылаются членам ИСО на голосование. Их опубликование в качестве международных стандартов требует одобрения по меньшей мере 75% членов ИСО, принимающих участие в голосовании.

Международный Стандарт ИСО 10400 подготовлен Американским Нефтяным Институтом (API – American Petroleum Institute) (как Bul 5C3, пятая редакция) и принят Техническим комитетом ИСО/ТК 67 "Материалы и оборудование для нефтегазовых предприятий", при контроле его членами ИСО.

УДК 622.32:665.6:621.643.2:624.154.68:

Дескрипторы: нефтяная промышленность, нефтепроводы, газопроводы, трубы, насосно-компрессорные трубы, обсадные трубы, бурильные трубы, правила расчета, механические свойства

ВВЕДЕНИЕ

Международный стандарт ИСО 10400:1993 воспроизводит API Std 5СЗ, пятую редакцию, 1989г. Международная организация по стандартизации (ИСО), принимая этот документ API, признает, что по некоторым положениям последний не отвечает всем текущим правилам ИСО по оформлению и содержанию международного стандарта. Поэтому ИСО/ТК 67 рассмотрит стандарт ИСО 10400:1993 и переиздаст его, когда это будет возможно, в форме отвечающей этим правилам.

Этот международный стандарт не направлен на устранение необходимости принятия грамотного технического решения о месте и времени использования этого международного стандарта, и пользователи должны знать, что в нерегламентированных условиях могут вводиться дополнительные требования.

Стандарты, на которые здесь даются ссылки, могут быть заменены другими международным или национальным стандартам, в которых имеются или дополняются требования данных стандартов.

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ НЕФТЯНАЯ И ГАЗОВАЯ. ФОРМУЛЫ И РАСЧЕТЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК ОБСАДНЫХ, НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ, БУРИЛЬНЫХ И ТРУБОПРОВОДНЫХ ТРУБ

1 Область распространения

Этот международный стандарт содержит формулы, используемые для расчетов различных характеристик обсадных, насосно-компрессорных, бурильных и трубопроводных труб для отраслей промышленности природного газа и нефти.

2 Требования

Требования определены в

"Бюллетене API 5C3 (Vol 5C3), пятая редакция, июль 1989г. - *Бюллетень. Формулы и расчеты по определению характеристик обсадных, насосно-компрессорных, бурильных и трубопроводных труб*", который принят как ISO 10400.

С целью международной стандартизации, изменения должны относиться к определенным пунктам и параграфам API Vol 5C3. Эти изменения выделены ниже.

Преобразование единиц Английской системы измерений в API Vol 5C3 производится в соответствии с ISO 31. Содержание раздела 11, **Перевод в метрическую систему**, должно читаться, как приведено ниже.

Информация, данная в ПОЛИТИКЕ относится только к публикации API.

ПЕРЕВОД В МЕТРИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ

МЕТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ВЫЧИСЛЕНИЯ

Метрические единицы в Vol 5C3 API показываются курсивом и в тексте и большинстве таблиц приводятся в круглых скобках. Наружные диаметры и толщины стенок преобразуются из размеров в дюймах. Преобразованные значения округляются до ближайшей 0.1мм для диаметров менее 18 дюймов и до ближайшего 1.0мм для диаметров 18 дюймов и более. Толщины стенок округляются до ближайшей 0.1мм.

Метрические внутренние диаметры и диаметры шаблонов, рассчитанные по метрическим наружным диаметрам и толщинам стенок, округляются до ближайшего 1.0мм.

Метрические массы гладких концов рассчитываются по метрическим наружным диаметрам и толщинам стенок по следующей формуле и округляются до ближайшей 0.01кг/м.

$$W_{pe} = 0.02466 (D \cdot t)t$$

Метрические давления гидростатических испытаний рассчитываются по метрическим наружным диаметрам и толщинам стенок и метрическим напряжениям волокон, как показано в п.8.

При преобразованиях используются следующие коэффициенты:

1 дюйм (in.) = 25.4мм точно

1 квадратный дюйм (in²) = 645.16мм² точно

1 фут (ft) = 0.3048м точно

1 фунт (lb) = 0.45359кг

1 фунт на фут (lb/ft) = 1.4882кг/м

1 фунт на квадратный дюйм (lbf/in²) = 6.895кПа для давления

= 0.006895 МПа для напряжения

1 фут-фунт (ft - lb) = 1.3558 Дж для энергии удара

= 1.3558 Н*м для момента

Для преобразования градусов по Фаренгейту ($^{\circ}\text{F}$) в градусы по Цельсию ($^{\circ}\text{C}$) используется следующая формула: $^{\circ}\text{C} = 5/9 (^{\circ}\text{F}-32)$

ОКРУГЛЕНИЕ МЕТРИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ

Метрические единицы преобразовываются или рассчитываются в соответствии с приведенными выше коэффициентами, и с точностью в соответствии с табл.

Таблица. Точность приводимых метрических единиц

1 ПАРАМЕТР	2 ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЙ	3 КОЛИЧЕСТВО ЗНАКОВ ПОСЛЕ ЗАПЯТОЙ
Диаметр	мм	1
Толщина и дефекты	мм	1
Длина высадки и муфты	мм	1
Длина	м	2
Масса	кг	2
Масса на фут	кг/м	2
Напряжение и предел прочности	МПа	0
Давление	кПа x 100	0
Загиб с оправкой	мм	1
Элементы резьбы		
Наружный диаметр	мм	1
Средний диаметр	мм	3
Длина резьбы	мм	2
Высота резьбы	мм	3
Глубина выточки	мм	1
J (расстояние от конца трубы до середины муфты)	мм	1

**БЮЛЛЕТЕНЬ. ФОРМУЛЫ И РАСЧЕТЫ ПО
ОПРЕДЕЛЕНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК ОБСАДНЫХ,
НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ, БУРИЛЬНЫХ И
ТРУБОПРОВОДНЫХ ТРУБ**

БЮЛЛЕТЕНЬ АРІ 5С3 (Bul 5С3)
ПЯТАЯ РЕДАКЦИЯ, ИЮЛЬ, 1989

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE

1220 L Street, Northwest,

Washington, DC 20005



Издано
АМЕРИКАНСКИМ НЕФТЯНЫМ ИНСТИТУТОМ
Отдел Добычи

ПО ВОПРОСАМ ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ,
СОДЕРЖАЩЕЙСЯ В ДАННОЙ ПУБЛИКАЦИИ, СЛЕДУЕТ ОБРАЩАТЬСЯ
В ОТДЕЛ ДОБЫЧИ API ПО АДРЕСУ:
2535 ONE MAIN PLACE, DALLAS, TX 75202- (214) 748-3841.
СВЕДЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ТОГО, КАК ПРИОБРЕСТИ
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЭКЗЕМПЛЯРЫ НАСТОЯЩЕЙ ПУБЛИКАЦИИ,
ПРИВЕДЕНЫ
НА ПОСЛЕДНЕЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ.

Пользователям данной публикации следует ознакомиться
с областью ее распространения и содержания.

Данный документ служит для того, чтобы дополнять,
а не подменять собой индивидуальные инженерные решения.

ОФИЦИАЛЬНАЯ ПУБЛИКАЦИЯ



ЗАРЕГИСТРИРОВАНО
ПАТЕНТНОЙ СЛУЖБОЙ США

Авторское право © 1989 Американский Нефтяной Институт

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел	Стр.
1 ДАВЛЕНИЕ СМЯТИЯ	14
1.1 Формулы давления смятия	14
1.1.1 Формула давления смятия в диапазоне предела текучести	14
1.1.2 Формула давления пластического смятия	15
1.1.3 Формула давления переходного смятия	17
1.1.4 Формула давления упругого смятия	18
1.1.5 Давление смятия при осевой нагрузке	20
1.1.6 Влияние внутреннего давления на смятие	21
1.1.7 Символы формулы давления смятия	22
1.2 Вывод формул давления смятия	22
1.2.1 Вывод формулы давления смятия в диапазоне предела текучести	23
1.2.2 Вывод формулы давления пластического смятия	23
1.2.3 Вывод формулы давления переходного смятия	28
1.2.4 Вывод формулы давления упругого смятия	31
1.3 Методика испытаний на смятие	31
1.3.1 Образец для испытаний	32
1.3.2 Установка для испытаний	32
1.3.3 Методика испытаний	33
1.3.4 Представление данных	33
2 ПРЕДЕЛ ТЕКУЧЕСТИ ТЕЛА ТРУБЫ	36
3 СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЮ ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ	37

3.1	Внутреннее давление текучести	37
3.1.1	Внутреннее давление текучести для труб	37
3.1.2	Внутреннее давление текучести для муфт	38
3.2	Герметичность по внутреннему давлению в плоскости e_1 или e_7	39
4	ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ	41
4.1	Прочность соединения обсадных труб с резьбой закругленного профиля	41
4.2	Прочность соединений обсадных труб с резьбой «баттрес»	44
4.3	Прочность соединений обсадных труб «экстрим лайн»	45
4.4	Прочность соединений насосно-компрессорных труб	47
4.5	Прочность соединений обсадных труб с резьбой закругленного профиля при комбинированном действии изгибающей нагрузки и внутреннего давления	49
4.6	Прочность соединений трубопроводных труб	51
5	ВЕС	52
5.1	Номинальный вес	52
5.2	Расчетный вес для гладких концов	53
5.3	Расчетный вес труб с нарезанной резьбой и навинченными муфтами	53
5.4	Расчетный вес высаженных насосно-компрессорных труб с интегральным соединением и обсадных труб «экстрем-лайн»	55
5.5	Расчетный вес высадки	56
5.6	Увеличение веса при чистовой обработке	57
5.7	Расчетный вес муфт	59
5.7.1	Расчетный вес муфт для трубопроводных, насосно-	59

компрессорных и обсадных труб с резьбой закругленного профиля	
5.7.2 Расчетный вес муфт для обсадных труб с резьбой	62
«баттрес»	
5.8 Расчет веса, удаленного при нарезке резьбы	63
5.8.1 Расчет веса, удаленного при нарезке резьбы труб или	64
ниппельных концов	
5.8.2 Расчет веса, удаленного при нарезке резьбы ниппельного	66
конца в интегральном соединении насосно-компрессорных труб	
5.9 Расчетный вес наружной высадки	67
5.10 Расчетный вес внутренней высадки	68
5.11 Расчетный вес наружной - внутренней высадки	69
5.12 Расчетный вес высадки «экстрем-лайн»	69
6 УДЛИНЕНИЕ	71
7 ИСПЫТАНИЯ НА СПЛЮЩИВАНИЕ	72
7.1 Испытания на сплющивание обсадных и насосно-	72
компрессорных труб	
7.2 Испытания на сплющивание трубопроводных труб	73
8 ГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ	74
8.1 Гидростатические испытания труб с гладкими концами,	74
обсадных труб «экстрем-лайн» и насосно-компрессорных труб с	
интегральными соединениями	
8.2 Гидростатические испытания труб с нарезанной резьбой и	76
навинченными муфтами	
8.2.1 Внутреннее давление текучести для соединений	76
8.2.2 Герметичность по внутреннему давлению в плоскости e_1	78
или e_7	

9 КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ ПРИ СВИНЧИВАНИИ	79
10 ИСПЫТАНИЯ НА ЗАГИБ С ОПРАВКОЙ	81
11 ПЕРЕВОД В МЕТРИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ	83
11.1 Метрические преобразования и вычисления	83
11.2 Округление метрических единиц	84
12 ТОЧНОСТЬ ВЫЧИСЛЕНИЙ И ОКРУГЛЕНИЯ	85
12.1 Точность	85
12.2 Промежуточное округление	85
12.3 Заключительное округление	85

ПРЕДИСЛОВИЕ

- a. Настоящий бюллетень находится под юрисдикцией Комитета по стандартизации трубной продукции.
- b. Целью данного бюллетеня является представление формул, используемых при расчете различных характеристик труб, приведенных в стандартах API, включая предварительную информацию относительно их разработки и применения.
- c. Бюллетени Американского Нефтяного Института (API) публикуются для обеспечения информацией, необходимой, но не включенной ни в Спецификации, ни в Практические рекомендации.
- d. Любые Бюллетени могут быть использованы любым лицом, если оно этого пожелает, а Институтом сделаны все возможные усилия для того, чтобы подтвердить правильность и достоверность полученных данных. Однако, Институт не делает никакого утверждения, ручательства или гарантии в связи с публикацией какого-либо Бюллетеня API и настоящим прямо отказывается от обязанности или ответственности за возможные потери или повреждения, возникшие в результате употребления их, за нарушение какого-либо из федеративных, государственных или муниципальных правил, которому противоречит какая-то рекомендуемая институтом API практика, или за нарушение какого-либо патента, происшедшее в результате применения этой публикации.
- e. Данный стандарт (дополнение) вступает в силу с даты, напечатанной на обложке, но произвольно может использоваться с даты распространения

Вниманию Пользователей: Некоторые части данной публикации претерпели изменения по сравнению с предыдущим изданием. Местонахождение этих изменений обозначены вертикальной полосой на полях так, как показано слева от этого параграфа. В некоторых случаях изменения существенны, в то время как в других случаях эти изменения отражают небольшие редакторские правки. Отметки вертикальной полосой на полях предназначены для оказания помощи пользователям в тех частях настоящей публикации, которые были изменены со времени предыдущего издания, но API не гарантирует точность внесения таких пометок.

ПРИМЕЧАНИЕ. Это пятое издание данного бюллетеня. Данный бюллетень первоначально был принят к публикации в 1970г. на Конференции по стандартизации, как отражено в Сигс PS-1398 и опубликовано в 1971г. Пересмотренные редакции публиковались в 1974, 1980 и 1985г-г.

Запросы для получения разрешения на копирование или перевод всех или любой части материалов, вошедших в настоящий документ, следует направлять Директору Отдела Добычи, Американского Нефтяного Института, 2535 Opemain Place, Dallas, TX 75202.

ПОЛИТИКА

1. ПУБЛИКАЦИИ АРІ НЕПРЕМЕННО АДРЕСУЮТСЯ К ПРОБЛЕМАМ ОБЩЕГО ХАРАКТЕРА. В ОТНОШЕНИИ КОНКРЕТНЫХ УСЛОВИЙ ДОЛЖНЫ СОБЛЮДАТЬСЯ МЕСТНЫЕ И ФЕДЕРАЛЬНЫЕ ЗАКОНЫ И ПРАВИЛА, А ТАКЖЕ ЗАКОНЫ И ПРАВИЛА ШТАТОВ.
2. АРІ НЕ БЕРЕТ НА СЕБЯ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ОБЯЗАННОСТЕЙ РАБОТОДАТЕЛЕЙ, ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ИЛИ ПОСТАВЩИКОВ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ И НАДЛЕЖАЩЕМУ ОБУЧЕНИЮ И ЭКИПИРОВКЕ ИХ РАБОТНИКОВ И ДРУГИХ ЛИЦ, ПОДВЕРГАЮЩИХСЯ СООТВЕТСТВУЮЩЕМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ С РИСКОМ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ И БЕЗОПАСНОСТИ, И ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ МЕР ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ, А ТАКЖЕ НЕ ПРИНИМАЕТ ИХ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ ПО МЕСТНЫМ, ФЕДЕРАЛЬНЫМ ЗАКОНАМ, ИЛИ ЗАКОНАМ ШТАТОВ.
3. ИНФОРМАЦИЮ, КАСАЮЩУЮСЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ЗДОРОВЬЯ И СООТВЕТСТВУЮЩИХ ПРЕДОСТОРОЖНОСТЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНКРЕТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНКРЕТНЫХ УСЛОВИЯХ, НЕОБХОДИМО ПОЛУЧАТЬ ОТ РАБОТОДАТЕЛЕЙ, ИЗГОТОВИТЕЛЕЙ ИЛИ ПОСТАВЩИКОВ ЭТИХ МАТЕРИАЛОВ ИЛИ ИЗ ПЕРЕЧНЯ ДАННЫХ ПО БЕЗОПАСНОСТИ МАТЕРИАЛОВ.
4. НИЧТО ИЗ СОДЕРЖАЩЕГОСЯ В ПУБЛИКАЦИЯХ АРІ НЕ МОЖЕТ БЫТЬ ИСТОЛКОВАНО КАК ПРЕДОСТАВЛЕНИЕ КАКОГО-ЛИБО

ПРАВА, КОСВЕННО ИЛИ ИНЫМ СПОСОБОМ, НА ПРОИЗВОДСТВО, ПРОДАЖУ ИЛИ ПРИМЕНЕНИЕ ЛЮБОГО МЕТОДА, ПРИБОРА ИЛИ ИЗДЕЛИЯ, НА КОТОРЫЙ ВЫДАН ЛИЦЕНЗИОННЫЙ ДОКУМЕНТ. НИЧТО ТАКЖЕ ИЗ СОДЕРЖАЩЕГОСЯ В ПУБЛИКАЦИИ НЕ ДОЛЖНО БЫТЬ ИСТОЛКОВАНО В КАЧЕСТВЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРАХОВАНИЯ КОГО-ЛИБО ОТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА НАРУШЕНИЕ УСЛОВИЙ ЛИЦЕНЗИОННОГО ДОКУМЕНТА.

5. КАК ПРАВИЛО, СТАНДАРТЫ АРІ ПЕРЕСМАТРИВАЮТСЯ, ИЗМЕНЯЮТСЯ, ПОДТВЕРЖДАЮТСЯ ИЛИ ОТЗЫВАЮТСЯ, ПО МЕНЬШЕЙ МЕРЕ, КАЖДЫЕ ПЯТЬ ЛЕТ. ИНОГДА РАЗОВОЕ ПРОДЛЕНИЕ СРОКОМ ДО ДВУХ ЛЕТ МОЖЕТ БЫТЬ ВКЛЮЧЕНО В ЭТОТ ЦИКЛ ПЕРЕСМОТРА. НАСТОЯЩАЯ ПУБЛИКАЦИЯ НЕ БУДЕТ ДЕЙСТВОВАТЬ ПО ИСТЕЧЕНИИ ПЯТИ ЛЕТ С ДАТЫ ЕЕ ОПУБЛИКОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ОПЕРАТИВНОГО СТАНДАРТА АРІ ИЛИ, В СЛУЧАЕ ПРОДЛЕНИЯ, С ДАТЫ ПОВТОРНОЙ ПУБЛИКАЦИИ. СТАТУС ПУБЛИКАЦИИ МОЖЕТ БЫТЬ УСТАНОВЛЕН В АВТОРСКОМ ОТДЕЛЕ АРІ (ТЕЛЕФОН (214) 748-3841). ЕЖЕГОДНО ИЗДАЕТСЯ КАТАЛОГ ПУБЛИКАЦИЙ И МАТЕРИАЛОВ АРІ, КОТОРЫЙ ЕЖЕКВАРТАЛЬНО МОДЕРНИЗИРУЕТСЯ АРІ, 1120 L ST., N.W., WASHINGTON, D.C. 20005.

СЕКЦИЯ 1

ДАВЛЕНИЕ СМЯТИЯ

1.1 ФОРМУЛЫ ДАВЛЕНИЯ СМЯТИЯ

1.1.1 ФОРМУЛА ДАВЛЕНИЯ СМЯТИЯ В ДИАПАЗОНЕ ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ

Давление смятия в диапазоне предела текучести - не истинное давление смятия, а скорее наружное давление, P_{Yp} , которое вызывает минимальное напряжение текучести Y_p , на внутренней стенке трубы, как определяется по формуле 1.1.1.1

$$P_{Yp} = 2Y_p \left[\frac{(D/t) - 1}{(D/t)^2} \right] \quad 1.1.1.1$$

Формула давления смятия в диапазоне предела текучести 1.1.1.1 применима до величины D/t , соответствующей формуле пластического смятия 1.1.2.1. Это значение рассчитывается по формуле 1.1.1.2:

$$(D/t)_{ур} = \frac{\sqrt{(\lambda - 2) + 8(B + C/Y_p)} + (\lambda - 2)}{2(B + C/Y_p)} \quad 1.1.1.2$$

Применимые отношения D/t для смятия в диапазоне предела текучести приведены в табл. 1.1.1.1.

ТАБЛИЦА 1.1.1.1

**ПРИМЕНИМЫЕ ОТНОШЕНИЯ D/t В ФОРМУЛЕ ДАВЛЕНИЯ СМЯТИЯ
В ДИАПАЗОНЕ ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ**

1	2
Группа*	Диапазон D/t**
H-40	16.40 и меньше
-50	15.24" "
J-K-55	14.81" "
-60	14.44" "
-70	13.85" "
C-75 и E	13.60" "
L-N-80	13.38" "
C-90	13.01" "
C-T-95 и X	12.85" "
-100	12.70" "
P-105 и G	12.57" "
P-110	12.44" "
-120	12.21" "
Q-125	12.11" "
-130	12.02" "
S-135	11.92" "
-140	11.84" "
-150	11.67" "
-155	11.59" "
-160	11.52" "
-170	11.37" "
-180	11.23" "

*Группы, обозначенные без буквенного индекса не являются группами прочности сталей по API, но применяются или рассмотрены для применения. Приводятся для сведения.

**Значения диапазона D/t были рассчитаны по формулам 1.1.1.2, 1.2.2.12, 1.2.2.13 и 1.2.2.14 до восьмого знака или более.

1.1.2 ФОРМУЛА ДАВЛЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО СМЯТИЯ

Минимальное давление смятия для пластического диапазона смятия рассчитывается по формуле 1.1.2.1.

$$P_p = Y_p \left[\frac{A}{D/t} - B \right] - C \quad 1.1.2.1$$

Формула для минимального давления пластического смятия применима для величин D/t в пределах от $(D/t)_{pt}$, формула 1.1.1.2 для давления смятия в точке текучести до перекрытия с формулой 1.1.3.1 для давления переходного смятия $(D/t)_{pt}$. Величины для $(D/t)_{pt}$ рассчитаны по формуле 1.1.2.2.

$$(D/t)_{pt} = \frac{Y_p(A - F)}{C + Y_p(B - G)} \quad 1.1.2.2.$$

Коэффициенты и применимый диапазон D/t для формулы пластического смятия приведены в таблице 1.1.2.1.

ТАБЛИЦА 1.1.2.1
КОЭФФИЦИЕНТЫ И ДИАПАЗОНЫ D/t ДЛЯ ФОРМУЛЫ
ПЛАСТИЧЕСКОГО СМЯТИЯ

1	2	3		4	5
Группа*	A	Коэффициент формулы**		C	Диапазон D/t **
		B	G		
H-40	2.950	0.0465		754	От 16.40 до 27.01
-50	2.976	0.0515		1056	От 15.24 до 25.63
J-K-55	2.991	0.0541		1206	От 14.81 до 25.01
-60	3.005	0.0566		1356	От 14.44 до 24.42
-70	3.037	0.0617		1656	От 13.85 до 23.38
C-75 и E	3.054	0.0642		1806	От 13.60 до 22.91
L-N-80	3.071	0.0667		1955	От 13.38 до 22.47
C-90	3.106	0.0718		2254	От 13.01 до 21.69
C-T-95 и X	3.124	0.0743		2404	От 12.85 до 21.33
-100	3.143	0.0768		2553	От 12.70 до 21.00
P-105 и G	3.162	0.0794		2702	От 12.57 до 20.70
P-110	3.181	0.0819		2852	От 12.44 до 20.41
-120	3.219	0.0870		3151	От 12.21 до 19.88
Q-125	3.239	0.0895		3301	От 12.11 до 19.63
-130	3.258	0.0920		3451	От 12.02 до 19.40
S-135	3.278	0.0946		3601	От 11.92 до 19.18
-140	3.297	0.0971		3751	От 11.84 до 18.97
-150	3.336	0.1021		4053	От 11.67 до 18.57
-155	3.356	0.1047		4204	От 11.59 до 18.37
-160	3.375	0.1072		4356	От 11.52 до 18.19
-170	3.412	0.1123		4660	От 11.37 до 17.82
-180	3.449	0.1173		4966	От 11.23 до 17.47

*Группы, обозначенные без буквенного индекса не являются группами прочности сталей по API, но применяются или рассмотрены для применения. Приводятся для сведения.

**Значения диапазона D/t были рассчитаны по формулам 1.1.1.2, 1.1.2.2, 1.2.2.12, 1.2.2.13, 1.2.2.14, 1.2.3.2 и 1.2.3.3 до восьмого знака или более.

1.1.3 ФОРМУЛА ДАВЛЕНИЯ ПЕРЕХОДНОГО СМЯТИЯ

Минимальное давление смятия P_T для зоны перехода от пластического смятия к упругому, рассчитывается по формуле 1.1.3.1.

$$P_T = Y_p \left[\frac{F}{D/t} - G \right] \quad 1.1.3.1$$

Формула для P_T применима для значений D/t от $(D/t)_{PT}$, формула 1.1.2.2 для давления пластического смятия до $(D/t)_{TE}$, формула 1.1.4.1 для упругого смятия. Значения для $(D/t)_{TE}$ рассчитаны по формуле 1.1.3.2.

$$(D/t)_{TE} = \frac{2 + B/A}{3B/A} \quad 1.1.3.2$$

Коэффициенты и применимый диапазон D/t для формулы перехода смятия приведены в таблице 1.1.2.1.

ТАБЛИЦА 1.1.3.1
КОЭФФИЦИЕНТЫ И ДИАПАЗОНЫ D/t ДЛЯ ФОРМУЛЫ
ПЕРЕХОДНОГО СМЯТИЯ

1	2	3	4
Группа*	Коэффициент Формулы**		Диапазон D/t**
	F	G	
H-40	2.063	0.0325	От 27.01 до 42.64
-50	2.003	0.0347	От 25.63 до 38.83
J-K-55	1.989	0.0360	От 25.01 до 37.21
-60	1.983	0.0373	От 24.42 до 35.73
-70	1.984	0.0403	От 23.38 до 33.17
C-75 и E	1.990	0.0418	От 22.91 до 32.05
L-N-80	1.998	0.0434	От 22.47 до 31.02
C-90	2.017	0.0466	От 21.69 до 29.18
C-T-95 и X	2.029	0.0482	От 21.33 до 28.36
-100	2.040	0.0499	От 21.00 до 27.60
P-105 и G	2.053	0.0515	От 20.70 до 26.89
P-110	2.066	0.0532	От 20.41 до 26.22
-120	2.092	0.0565	От 19.88 до 25.01
Q-125	2.106	0.0582	От 19.63 до 24.46
-130	2.119	0.0599	От 19.40 до 23.94
S-135	2.133	0.0615	От 19.18 до 23.44
-140	2.146	0.0632	От 18.97 до 22.98
-150	2.174	0.0666	От 18.57 до 22.11
-155	2.188	0.0683	От 18.37 до 21.70
-160	2.202	0.0700	От 18.19 до 21.32
-170	2.231	0.0734	От 17.82 до 20.60
-180	2.261	0.0769	От 17.47 до 19.93

*Группы, обозначенные без буквенного индекса, не являются группами прочности сталей по API, но применяются или рассмотрены для применения. Приводятся для сведения.

**Значения диапазона D/t были рассчитаны по формулам 1.1.1.2, 1.1.3.2, 1.2.2.12, 1.2.2.13, 1.2.2.14, 1.2.3.2 и 1.2.3.3 до восьмого знака или более.

1.1.4 ФОРМУЛА ДАВЛЕНИЯ УПРУГОГО СМЯТИЯ

Минимальное давление смятия для смятия в упругом диапазоне рассчитывается по формуле 1.1.4.1

$$P_E = \frac{46.95 \times 10^6}{(D/t)(D/t) - 1)^2}$$

1.1.4.1

Применимый диапазон D/t для упругого смятия приведен в таблице 1.1.4.1

ТАБЛИЦА 1.1.4.1
ДИАПАЗОН D/t ДЛЯ УПРУГОГО СМЯТИЯ

1	2
Группа*	Диапазон D/t**
H-40	42.64 и больший
-50	38.83" "
J-K-55	37.21" "
-60	35.73" "
-70	33.17" "
C-75 и E	32.05" "
L-N-80	31.02" "
C-90	29.18" "
C-J-95 и X	28.36" "
-100	27.60" "
P-105 и G	26.89" "
P-110	26.22" "
-120	25.01" "
Q-125	24.46" "
-130	23.94" "
S-135	23.44" "
-140	22.98" "
-150	22.11" "
-155	21.70" "
-160	21.32" "
-170	20.60" "
-180	19.93" "

*Группы, обозначенные без буквенного индекса не являются группами прочности сталей по API, но применяются или рассмотрены для применения. Приводятся для сведения.

**Значения диапазона D/t были рассчитаны по формулам 1.1.3.2, 1.2.2.12 и 1.2.2.13 до восьмого знака или более.

1.1.5 ДАВЛЕНИЕ СМЯТИЯ ПРИ ОСЕВОЙ НАГРУЗКЕ

Сопротивление обсадных труб смятию при осевой нагрузке рассчитывается путем пересчета напряжения текучести к эквивалентному уровню осевого напряжения согласно формуле 1.1.5.1

$$Y_{pa} = [\sqrt{1 - 0.75(Sa/Y_p)^2} - 0.5Sa/Y_p] Y_p \quad 1.1.5.1$$

где:

Sa = Осевое напряжение, psi (нагрузка положительная)

Y_p = Минимальный предел текучести трубы, psi

Y_{pa} = Предел текучести при эквивалентном уровне осевого напряжения, psi

Коэффициенты формулы сопротивления смятию и диапазоны D/t для эквивалентного уровня осевого напряжения рассчитываются посредством формул 1.2.2.12, 1.2.2.13, 1.2.2.14, 1.1.1.2, 1.1.2.2, 1.1.3.2, 1.2.3.2 и 1.2.3.3. При использовании коэффициентов формулы для эквивалентного уровня осевого напряжения, сопротивление смятию при осевой нагрузке рассчитывается по формулам 1.1.1.1, 1.1.2.1, 1.1.3.1 и 1.1.4.1.

Уменьшенное давление смятия рассчитывается, используя отношение D/t , округленное до двух знаков после запятой, сохраняя восемь знаков во всех промежуточных вычислениях и округляя уменьшенное давление смятия к самому близкому 10 psi.

Формулы сопротивления смятию API не применимы для значений предела текучести при эквивалентном уровне осевого напряжения (Y_{pa}) меньших, чем 24,000 psi.

Формула 1.1.5.1 основана на теории текучести Hencky-vonmises о максимальной энергии деформации.

ПРИМЕР.

Вычислите давление смятия для труб 7" 26# P110 с осевым напряжением 11,000 psi. Толщина стенки 0.362".

$$S_a = 11,000 \text{ psi}$$

$$Y_p = 110,000 \text{ psi}$$

Замена в формуле 1.1.5.1:

$$Y_{pa} = 104,087 \text{ psi}$$

Замена Y_{pa} для Y в формулах 1.2.2.12, 1.2.2.13, 1.2.2.14, 1.1.1.2, 1.1.2.2, 1.1.3.2, 1.2.3.2 и 1.2.3.3:

$$A = 3.158, B = 0.0789, C = 2675, F = 2.051, G = 0.0512$$

$$(D/t)_{yp} = 12.59, (D/t)_{pt} = 20.75, (D/t)_{te} = 27.02$$

D/t Диапазон для смятия в диапазоне текучести = 12.59 и менее

D/t Диапазон для пластического смятия = от 12.59 до 20.75

D/t Диапазон для переходного смятия = от 20.75 до 27.02

D/t Диапазон для упругого смятия = 27.02 и более

$D/t = 7/0.362 = 19.34$ указывает, что смятие находится в пластическом диапазоне. Замена $A = 3.158$, $B = 0.0789$ и $C = 2675$ в формуле 1.1.2.1 для пластического смятия:

$$P = Y_{pa} (A / (D/t) - B) - C = 104,087 (3.158/19.34 - 0.0789) - 2675$$

$$P = 6110 \text{ psi}$$

1.1.6 ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ НА СМЯТИЕ

Эквивалент наружного давления от наружного и внутреннего давления определяется по формуле 1.1.6.1. Формула основана на действии внутреннего давления по внутреннему диаметру и действии наружного давления по наружному диаметру.

$$P_e = P_o - (1 - 2/(D/t)) P_i \quad 1.1.6.1$$

Формула 1.1.6.1 была принята согласно работе "Сопротивление труб смятию" представленной W.O. Clipedinst Century University Los Angeles, в 1985г.

1.1.7 СИМВОЛЫ ФОРМУЛЫ ДАВЛЕНИЯ СМЯТИЯ

D = номинальный наружный диаметр, дюймы

t = номинальная толщина стенки, дюймы

Y_p = минимальный предел текучести трубы, psi

P_y = минимальное давление смятия в диапазоне предела текучести, psi

P_p = минимальное давление пластического смятия, psi

P_t = минимальное давление переходного пластического / упругого смятия, psi

P_E = минимальное давление упругого смятия, psi

P_e = эквивалентное наружное давление, psi

P_i = внутреннее давление, psi

P_o = наружное давление, psi

$(D/t)Y_P$ = пересечение D/t между смятием в диапазоне предела текучести и пластическим смятием

$(D/t)P_t$ = пересечение D/t между пластическим смятием и переходным смятием

$(D/t)P_E$ = пересечение D/t между переходным смятием и упругим смятием

1.2 ВЫВОД ФОРМУЛ ДАВЛЕНИЯ СМЯТИЯ

Из четырех формул, используемых для давления смятия, формулы для смятия в диапазоне предела текучести и упругого смятия были получены теоретически, пластическая формула была получена

эмпирически по данным 2488 испытаний на смятие групп K55, N80 и P110, а формула давления переходного пластического / упругого смятия определена произвольно. Формулы пластического смятия и переходного смятия, и модификация константы формулы упругого смятия были выведены г. Гленом Хебардом и приведены в Приложении 2-k-4, Проспект PS 1360, Отчет Комитета по трубам за 1968г.

1.2.1 ВЫВОД ФОРМУЛЫ ДАВЛЕНИЯ СМЯТИЯ В ДИАПАЗОНЕ ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ

Использование формулы пластического смятия 1.1.2.1 для расчета P_r толстостенных труб может привести к возникновению напряжений сжатия, равных или превышающих предел текучести. Так как имеются экспериментальные данные о том, что давление смятия может превышать наружное давление для диапазона текучести, не рекомендовано использовать значения давления смятия. Поэтому расчет на смятие в диапазоне предела текучести базируется на давлении, которое вызывает минимальные напряжения текучести в стенках трубы с внутренней стороны, рассчитанного посредством уравнения Lame. Вывод уравнения Lame встречается в литературе по теории упругих напряжений.

1.2.2 ВЫВОД ФОРМУЛЫ ДАВЛЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО СМЯТИЯ

Формула 1.1.2.1 для давления пластического смятия P_r и коэффициенты А, В и С были получены регрессивным анализом по данным 402 испытаний на смятие бесшовных обсадных труб группы прочности K55, 1440 испытаний – группы N80 и 646 испытаний - группы P110. Данные испытаний приведены в отчете W. O. Clinedinst Разработка формул давления смятия, декабрь 1963, который можно запросить в офисе API, Dallas. Данные были собраны, чтобы представить диапазоны D/t ,

типично подверженные пластическому смятию для конкретных групп прочности. Результаты регрессивного анализа отражены в формулах типа Stewart, первоначально разработанных Профессором Raid Stewart Western University, Allegheny, Pa. (нынешний University of Pittsburgh) и изданный как документ ASME в мае 1906г. Эти формулы регресса 1.2.2.1, 1.2.2.2 и 1.2.2.3 для среднего давления смятия по существу такие же, как и формулы, по которым рассчитывались значения смятия, приведенные в одиннадцатом издании Vul 5C2 (1969). Различие в новых и старых формулах заключается в методе определения минимальных значений от средних значений. Новые минимальные значения были определены исходя из постоянного давления, определенного для конкретной группы прочности, в то время как старые минимальные значения были определены путем уменьшения средних значений на 25 процентов.

ТАБЛИЦА 1.2.2.1

ФОРМУЛЫ РЕГРЕССИИ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО СМЯТИЯ

1	2	3	4	5
ГРУППА	ФОРМУЛА РЕГРЕССИИ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО СМЯТИЯ	КОЭФ. ДЕТ. R^2	СТАНДАРТ. ОШИБКА S_p	НОМЕР ФОРМУЛЫ
K55	$P = \frac{164150}{D^t} - 2976$	0.6478	435	1.2.2.1
N80	$P = \frac{245500}{D^t} - 5336$	0.8627	719	1.2.2.2
P110	$P = \frac{349300}{D^t} - 9020$	0.7720	1046	1.2.2.3

Статистические минимальные значения для формул регрессии основаны на односторонних пределах допусков, полученных методами, которые приведены в "Statistical Theory With Engineering Applications", A. Hald, издание John Wiley & Sons, Inc., New York, 1952г. Формулы 1.2.2.4,

1.2.2.5, 1.2.2.6 и 1.2.2.7 для односторонних пределов допусков выведены при помощи таких методов. Эти пределы допусков вычитаются из формул среднего давления смятия для получения формул минимального давления смятия.

$$C = t_p(\theta) * Z * S_p \quad 1.2.2.4$$

$$t_p(\theta) \cong \frac{u_{1-\theta} + u_p \sqrt{(1-u^2/2f)/N + u_{1-\theta}^2/2f}}{1 - u_p^2/2f} \quad 1.2.2.5$$

$$t_{0,95}(0.005) = \frac{2.570 + 1.645 \sqrt{(1 - 1.3530/(N-1))/N + 3.30245/(N-1)}}{1 - 1.3530/(N-1)} \quad 1.2.2.6$$

$$Z = \sqrt{1 + \frac{1}{N} + \frac{(t/D - (\bar{t}/\bar{D}))^2}{Ns^2_{t/D}}} \quad 1.2.2.7$$

Формула 1.2.2.5 была принята непосредственно из "Statistical Theory With Engineering Applications", A. Hald. Формула 1.2.2.7 обеспечивает коррекцию отклонений t/D от среднего числа в регрессии и основана на информации, принятой из "Snedecor's book on Statistical methods", George W. издание Iowa State College Press, 1956г.

В формулах 1.2.2.4 - 1.2.2.7 используются следующие обозначения:

C = Предельный допуск, который следует вычесть из формулы среднего давления смятия для получения формулы минимального давления смятия, psi.

$t_p(\theta)$ = интервал допусков, соответствующий такому доверительному уровню p , при котором доля не включенного множества не превышает θ

Z = коэффициент коррекции отклонений t/D от среднего числа

S_p = стандартная ошибка оценки формулы регрессии

θ = доля не включенного множества

$1 - \Theta$ = доля включенного множества

$U_{1-\Theta}$ = квантиль отклонение от среднего из стандартизированного нормального совокупного распределения, которое включает долю $1-\Theta$ множества

p = доверительный уровень

U_p = квантиль к доверительному уровню

N = число испытаний

f = степени свободы = $N-1$

$(\bar{t/D})$ = среднее значение t/D отношений, используемых в регрессии

ST/D = стандартное отклонение t/D отношений, используемых в регрессии

$(t/D) - (\bar{t/D})$ = максимальное абсолютное значение этой величины по данным испытаний, которое должно использоваться в формуле 1.2.2.7 для вычисления Z .

Формула 1.2.2.6 была получена из формулы 1.2.2.5, при $P=0.95$ и $\Theta=0.005$ путем замены соответствующими значениями $U_p = U_{0.95} = 1.645$ и $U_{1-\Theta} = U_{0.995} = 2.574$, взятыми из таблиц интегральных (суммарных) вероятностей.

При использовании формул 1.2.2.4 - 1.2.2.7, были рассчитаны значения для предельного допуска C и приведены в таблице 1.2.2.2.

ТАБЛИЦА 1.2.2.2

ПРЕДЕЛЬНЫЙ ДОПУСК C , ВЫЧИТАЕМЫЙ ИЗ ФОРМУЛ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ СМЯТИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМУМА

1	2
ГРУППА	C
K55	1205
N80	1955
P110	2855

Путем вычитания значений предельного допуска С от формул среднего давления смятия 1.2.2.1, 1.2.2.2, и 1.2.2.3, получены формулы 1.2.2.8, 1.2.2.9 и 1.2.2.10 для минимального давления смятия.

ГРУППА ФОРМУЛА МИНИМАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО СМЯТИЯ

K55	$P = \frac{164450}{D/t} - 4181$	1.2.2.8
-----	---------------------------------	---------

N80	$P = \frac{245600}{D/t} - 7291$	1.2.2.9
-----	---------------------------------	---------

P110	$P = \frac{349800}{D/t} - 11875$	1.2.2.10
------	----------------------------------	----------

Эти формулы для минимального давления пластического смятия основаны на концепции, что имеется вероятность 95% или доверительный уровень, что давление смятия превысит минимально установленное не более чем на 0.5%.

Хотя формулы могут быть использованы в показанной форме, они были преобразованы к следующей стандартной форме для облегчения экстраполяции и интерполяции, чтобы получить формулы смятия для других групп прочности, по которым не получены адекватные данные испытаний на смятие,

$$P_p = Y_p \left[\frac{A}{D/t} - B \right] - C \quad 1.2.2.11$$

ГРУППА	A	B	C
K55	2.991	0.0541	1206
N80	3.071	0.0667	1955
P110	3.181	0.0819	2855

Коэффициенты А, В и С для групп К-55, N-80 и Р-110 позволяют построить кривую, по которой можно получить формулы для определения этих коэффициентов для других групп путем экстраполяции и интерполяции.

$$A = 2.8762 + 0.10679 \times 10^{-5} \times Y_p + 0.21301 \times 10^{-10} \times Y_p^2 - 0.53132 \times 10^{-16} \times Y_p^3 \quad 1.2.2.12$$

$$B = 0.026233 + 0.50609 \times 10^{-6} \times Y_p \quad 1.2.2.13$$

$$C = -465.93 + 0.030867 \times Y_p - 0.10483 \times 10^{-7} \times Y_p^2 + 0.36989 \times 10^{-13} \times Y_p^3 \quad 1.2.2.14$$

Коэффициенты для групп К-55, N-80 и P-110 вычислили, используя формулы 1.2.2.12, 1.2.2.13 и 1.2.2.14.

ГРУППА	A	B	C
К-55	2.991	0.0541	1206
N-80	3.071	0.0667	1955
P-110	3.181	0.0819	2852

Максимальное отклонение коэффициентов, определенных по формулам от коэффициентов, определенных анализом регресса составляет 0.122%.

Поскольку существует возможность получения дополнительных данных, эти формулы могут быть проверены или при необходимости изменены. Анализ данных испытания на смятия должен соответствовать принципам, по которым выводились существующие формулы.

1.2.3 ВЫВОД ФОРМУЛЫ ДАВЛЕНИЯ ПЕРЕХОДНОГО СМЯТИЯ

Когда кривые формул для средних давлений пластического смятия строятся для наибольших значений D/t , они пересекают кривую среднего давления упругого смятия. Однако, кривые для минимальных давлений пластического смятия, построенные для наибольших значений D/t проходят ниже кривой минимального давления упругого смятия без ее пересечения. Чтобы исключить эту аномалию, была выведена формула давления переходного пластического / упругого смятия, кривая которой пересекает значение D/t , в точке, где кривая среднего давления пластического смятия дает давление смятия, равное нулю и касается кривой минимального давления упругого смятия (формула 1.1.4.1). Эта формула используется для определения минимальных давлений смятия между точкой касания с кривой давления упругого смятия и точкой

пересечения с кривой давления пластического смятия. Для обсадных труб группы прочности N80 это показано на рис. 1.2.3.1.

Формула типа Stewart для давления переходного пластического / упругого смятия:

$$P_T = Y_p \left[\frac{F}{D/t} - G \right] \quad 1.2.3.1$$

где:

P_T = минимальное давление переходного смятия

Два упомянутых условия, (1) пересечение с кривой среднего давления смятия

$$P_p \text{ (среднее)} = Y_p \frac{A}{D/t} - B$$

где

$P_p \text{ (среднее)} = 0$. И (2) касание с упругой кривой

$$P_E = \frac{46.95 \times 10^6}{(D/t)((D/t) - 1)^2} \quad 1.2.4.2$$

допускается оценка A и B согласно формулам 1.2.3.2 и 1.2.3.3 следующим образом:

$$F = \frac{46.95 \times 10^6 \left[\frac{3B/A}{2 + B/A} \right]^3}{Y_p \left[\frac{3B/A}{2 + B/A} - (B/A) \right] \left[1 - \frac{3B/A}{2 + B/A} \right]^2} \quad 1.2.3.2$$

$$G = FB/A \quad 1.2.3.3$$

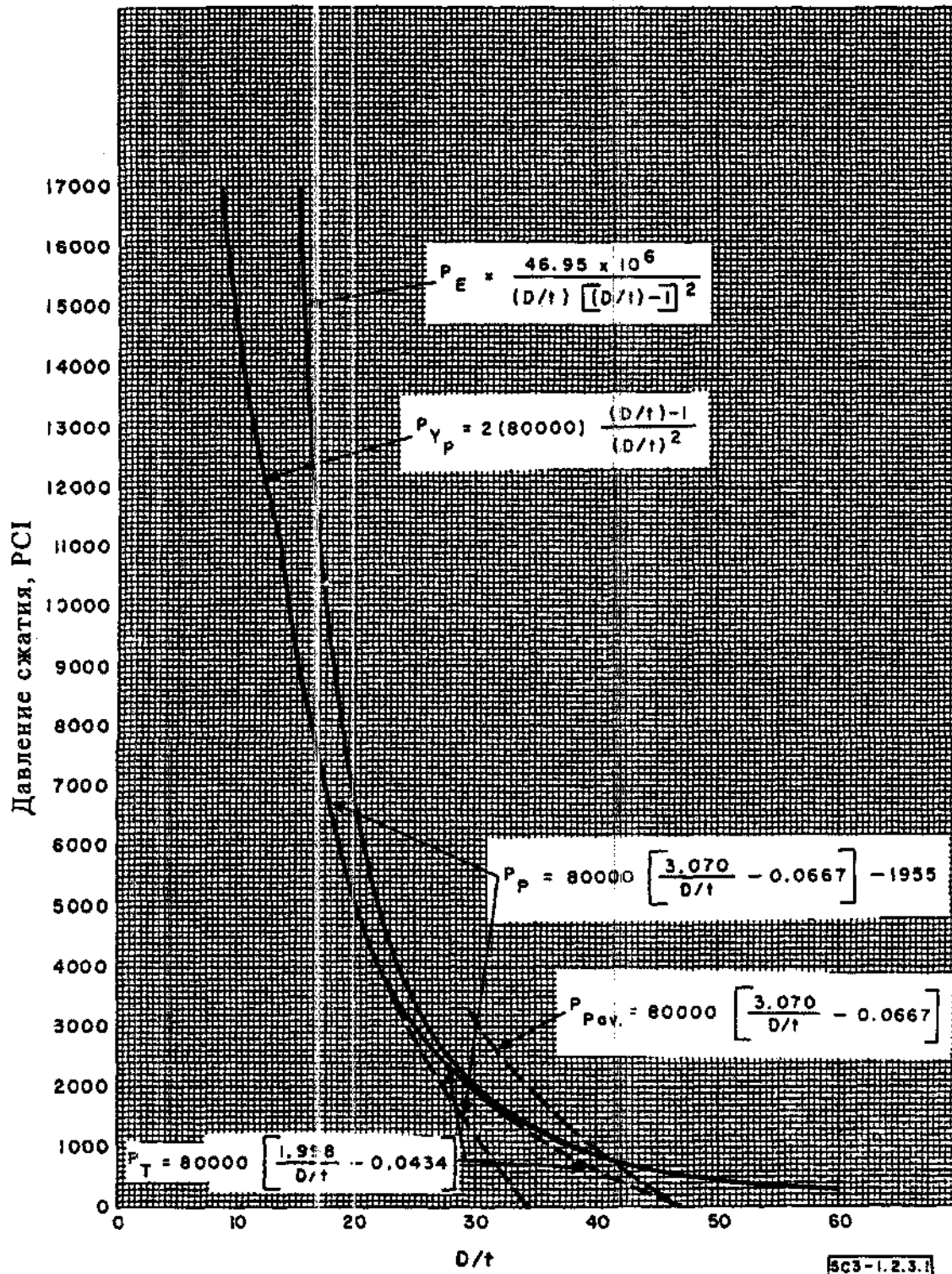


Рис. 1.2.3.1. Вывод формулы давления переходного смятия для группы N80

1.2.4 ВЫВОД ФОРМУЛЫ ДАВЛЕНИЯ УПРУГОГО СМЯТИЯ

Формула минимального давления упругого смятия была выведена из теоретической формулы давления упругого смятия, предложенной W. O. Clinedinst в работе "Рациональное выражение для критического разрушающего давления труб, находящихся под действием наружного давления", представленной на ежегодный семинар API в Чикаго в 1939г.

$$P = \frac{2E}{1-\nu^2} \times \frac{1}{(D/t)((D/t)-1)^2} \quad 1.2.4.1$$

где:

E = Модуль упругости, psi

ν = отношение Пуассона

Кривая, построенная по формуле для теоретического упругого смятия, в которой принимается, что $E=30 \times 10^5$, и $\nu=0.3$, соответствует верхней границе для давлений смятия согласно испытаниям.

Формула среднего сопротивления смятию, принятая API в 1939г. была взята как 95% от теоретической формулы для упругого сопротивления смятию, округленного до двух знаков. Формула минимального упругого сопротивления смятию, принятая в 1968г. была взята как 75% от формулы среднего упругого сопротивления смятию, округленной до трех знаков.

$$P_E = \frac{46.95 \times 10^6}{(D/t)((D/t)-1)^2} \quad 1.2.4.2$$

1.3 МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ НА СМЯТИЕ

Согласно API, к испытаниям на смятие предъявляются следующие требования:

1.3.1 ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

Образец для испытаний должен иметь длину по крайней мере в два раза большую, чем наружный диаметр.

1.3.2 УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

Установка для испытаний должна подвергать испытательному давлению полную длину образца. Образец не должен быть ограничен по радиальному или осевому направлению, не должен подвергаться ни механической, ни гидравлической осевой нагрузке и давлению по внутренней поверхности. Чтобы исключить осевое ограничение образца в течение испытания, начальное расстояние между концом образца и концом испытательной камеры должно быть не менее 0.06 дюйма для образцов длиной 28 дюймов и менее, и пропорционально больше для более длинных образцов.

Испытательная камера должна быть оборудована устройством измерения давления, показания которого возможно считывать в течение испытания. Устройство должно иметь минимум 750 делений между нулем и максимумом рабочего давления и должно быть поверено изготовителем, и иметь точность в пределах $\frac{1}{4}$ от 1 процента от полного масштаба измерений.

Устройство для измерения давления должно быть оборудовано системой демпфирования для медленного увеличения давления во время смятия образца.

Устройство для измерения давления должно проходить калибровку каждые шесть месяцев при полной нагрузке, или более часто, если есть сомнения относительно его точности. Процент ошибок измерительного устройства в рабочем диапазоне давления, не должен превышать 1.0

процент.

ПРИМЕЧАНИЕ. Уровень точности 1,0% соответствует требованиям точности, предъявляемым к оборудованию для испытаний на растяжение (ASTM E4).

1.3.3 МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

Наружная поверхность образца должна гидравлически нагружаться со скоростью, позволяющей измерять сминающее давление в пределах указанной точности.

1.3.4 ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ

На испытания должны быть представлены следующие данные:

1. Обозначение образца испытываемой трубы API, то есть номинальный диаметр, номинальный (погонный) вес, и группа прочности.

2. Средний диаметр и разброс между максимальным и минимальным наружными диаметрами образца (овальность).

Для получения величины среднего наружного диаметра может использоваться π -лента. Различие между максимальным и минимальным наружными диаметрами (овальность) может быть получено путем применения калибра овальности, как показано на рис.1.3.4.1

3. Средняя толщина стенки и разброс между максимальной и минимальной толщиной стенки рассчитываются по восьми замерам.

4. Процесс изготовления

a. Бесшовные S

b. Сварные W

5. Термообработка

a.	Нормализация	NR
b.	Нормализация и отпуск	NT
c.	Закалка и отпуск	QT
d.	Ни одна из перечисленных	AR
6.	Тип правки	
a.	Прокатка	R
b.	Горячая прокатка	H
c.	Штамповка	P
d.	Ни одно из перечисленных	N

7. Расстояния между концом испытываемого образца и испытательной камерой.

8. Длина испытываемого образца.

9. Образцы, испытываемые на растяжение для оценки физических свойств, которые относятся и к сминаемому образцу (предел текучести, предел прочности и процент удлинения в соответствии с API Spec 5CT и 5D), следует отбирать от той же самой трубы от смежного участка.

10. Испытательное давление смятия образца, определено как максимальное наружное давление, требуемое для смятия образца. Если образец не разрушился, то максимальное достигнутое давление должно быть отражено в отчете наряду с записью, что оно не вызвало смятия.

11. Для облегчения обработки данных, желательно чтобы данные были представлены на перфокартах с 80 колонками или в форме 80 колонок в соответствии со следующим форматом.

Колонки перфокарты, СС	Данные описания	Символ
1-6	Наружный диаметр, d_p (десятичная точка) в СС3	
7-12	Номинальный погонный вес $ft. d_p$ в СС10	
13-16	Группа прочности	K-55 N-80 P-110 и т.д.
17-22	Средний наружный диаметр d_p в СС19	
23-26	Максимальный наружный диаметр – минимальный наружный диаметр d_p в СС23	
27-30	Средняя толщина стенки, d_p в СС27	
31-34	Максимальная толщина стенки – минимальная толщина стенки, d_p в СС31	
35	Процесс изготовления	
	a. Бесшовные	S
	b. Сварные	W
36-37	Термообработка	
	a. Нормализация	NR
	b. Нормализация и отпуск	NT
	c. Закалка и отпуск	QT
	d. Ни одна из перечисленных	AR
38	Тип правки	
	a. Прокатка	R
	b. Горячая прокатка	H
	c. Штамповка	P
	d. Ни одно из перечисленных	N
39-42	Расстояние до конца испытательной камеры, d_p в СС39	
43-47	Длина испытуемого образца, d_p в СС46	
48-52	Предел текучести, KSI, d_p в СС51	
53-57	Предел прочности, KSI, d_p в СС56	
58-59	Удлинение в $\%$, целое число	
60-64	Смятие или максимальное давление, целое число	
65	Образец разрушен, бланк	
	Образец, не разрушен	
66-69	Номер испытания	
70-72	Обозначение изготовителя	
73	Знак остаточного напряжения, сжатие по внутреннему диаметру -- отрицательное	
74-75	Остаточное напряжение KSI	
76	Знак осевого напряжения, растяжение – положительное	
77-79	Осевое напряжение	

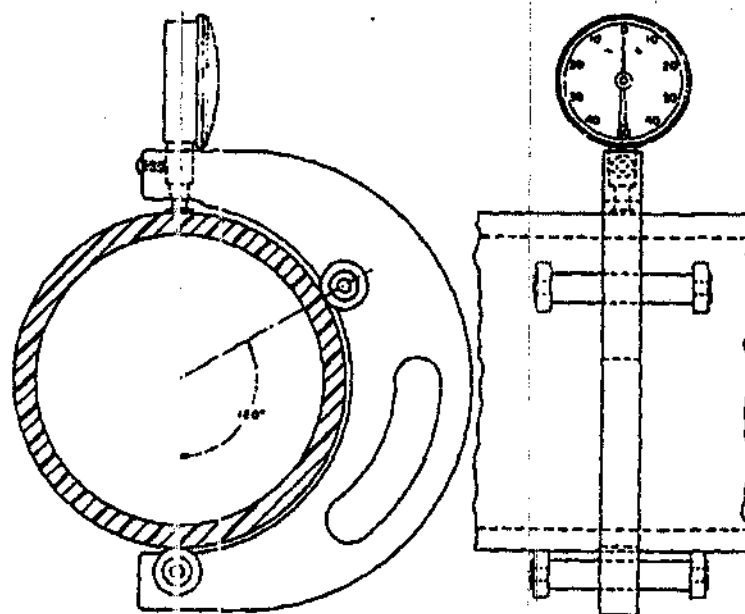


Рис. 1.3.4.1. КАЛИБР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОВАЛЬНОСТИ

РАЗДЕЛ 2

ПРЕДЕЛ ТЕКУЧЕСТИ ТЕЛА ТРУБЫ

2.1 ПРЕДЕЛ ТЕКУЧЕСТИ ТЕЛА ТРУБЫ

Предел текучести тела трубы - осевая нагрузка, которую требуется приложить, чтобы вызвать текучесть металла трубы. Принимается как произведение площади поперечного сечения и установленного минимального предела текучести для конкретной группы прочности трубы.

Значения для предела текучести тела трубы рассчитываются посредством формулы 2.1.

$$R_u = 0.7854 (D^2 - d^2) Y_p \quad 2.1$$

где:

R_u = Предел текучести тела трубы в фунтах, округленный до ближайшей 1000

Y_p = установленный минимальный предел текучести трубы, psi

D = установленный наружный диаметр, дюймы

d = установленный внутренний диаметр, дюймы

РАЗДЕЛ 3

СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЮ ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ

3.1 ВНУТРЕННЕЕ ДАВЛЕНИЕ ТЕКУЧЕСТИ

Внутреннее давление текучести для труб с высажеными концами определяется по формуле 3.1.1. За внутреннее давление текучести для труб, свинченных с муфтами, принимается наименьшее из вычисленных по формулам 3.1.1 и 3.1.2. внутреннего давления текучести труб или внутреннего давления текучести муфт.

3.1.1 ВНУТРЕННЕЕ ДАВЛЕНИЕ ТЕКУЧЕСТИ ДЛЯ ТРУБ

Внутреннее давление текучести для труб рассчитано по формуле 3.1.1. Коэффициент 0.875 в формуле 3.1.1 введен для учета минимальной толщины стенки.

$$P = 0.875 \left[\frac{2Y_{pt}}{D} \right] \quad 3.1.1$$

где

P = минимальное внутреннее давление текучести в фунтах на квадратный дюйм, округленное к ближайшим 10 psi

Y_p = установленный минимальный предел текучести в фунтах на квадратный дюйм. согласно Spec 5CT

t = номинальная толщина стенки в дюймах

D = номинальный наружный диаметр в дюймах

Внутренние давления текучести рассчитываются с использованием сведенных в таблицу значений диаметра и толщины стенки для получения значения отношения t/D , округленного к ближайшей 0.000001, которое используется в формуле 3.1.1.

3.1.2 ВНУТРЕННЕЕ ДАВЛЕНИЕ ТЕКУЧЕСТИ ДЛЯ МУФТ

Величина внутреннего давления текучести для труб, с навинченными муфтами - та же, что и для труб с высаженными концами, кроме случаев, когда требуется более низкое давление для предотвращения утечек из-за недостаточной прочности муфты. Более низкое давление рассчитывается по формуле 3.1.2 и округляется до ближайших 10 psi.

$$P = Y_c \left(\frac{W - d_1}{W} \right) \quad 3.1.2$$

где:

P = минимальное внутреннее давление текучести в фунтах в квадратный дюйм, округленное до ближайших 10 psi

Y_c = минимальный предел текучести муфт, psi

W = номинальный наружный диаметр муфт, округленный до ближайшей 0.001 дюйма

d_1 = диаметр в основании резьбы муфты на свинченном конце трубы при машинном свинчивании, округленный до ближайшей 0.001 дюйма.

Для насосно-компрессорных и обсадных труб с резьбой закругленного профиля

$$d_1 = E_1 - (L_1 + A) T + H - 2Sm \quad 3.1.3$$

где:

E_1 = средний диаметр в плоскости свинчивания от руки, дюймы (Std 5B)

L_1 = длина от конца трубы до плоскости свинчивания от руки, дюймы (Std 5B)

A = натяг при свинчивания от руки, дюймы. (Внимание: "A" в Std 5B дается в "оборотах")

T = конусность резьбы

= 0.0625 дюйм/дюйм

H = высота профиля, дюймы

= 0.08660 для 10 TPI

= 0.10825 для 8 TPI

S_{7n} = 0.014 дюйма для 10 TPI

= 0.017 дюйма для 8 TPI

Для резьбы «Баттрес» обсадных труб

$d_1 = E_7 - (L_7 + I) T + 0.062$

3.1.4

где:

E_7 = средний диаметр резьбы в основной плоскости, дюймы (Std 5B)

L_7 = длина резьбы с полным профилем, дюймы, (Std 5B)

	Размер, дюймы		
	$4\frac{1}{2}$	От 5 до $13\frac{3}{8}$	Более $13\frac{3}{8}$
$I =$	0.400	0.500	0.375
$T =$	0.0625	0.0625	0.0833

3.2 ГЕРМЕТИЧНОСТЬ ПО ВНУТРЕННЕМУ ДАВЛЕНИЮ В ПЛОСКОСТИ E1 ИЛИ E7

Герметичность по внутреннему давлению в плоскости E1 или E7 рассчитывается по формуле 3.2.1 и округляется к ближайшим 10 psi. Формула 3.2.1 базируется на обеспечении уплотнения в плоскости E1 для

резьб закругленного профиля и в плоскости E7 для резьб «Баттрес» при минимальном соединении и самой низкой герметичности по внутреннему давлению. Также формула 3.2.1 основана на условии герметичности, когда давление натяга резьб свинченных трубы и муфты равно внутреннему давлению при напряжениях в упругом диапазоне.

$$P = ETNp (W^2 - E_s^2) / 2E_s W^2 \quad 3.2.1$$

где:

P = Внутреннее давление при котором обеспечивается герметичность, фунты на квадратный дюйм, округленное к ближайшим 10 psi

E = 30×10^6 (модуль упругости)

T = конусность резьбы, дюйм/дюйм

= 0.0625 для резьбы закругленного профиля обсадных труб

= 0.0625 для резьбы «Баттрес» обсадных труб 133/8 дюймов и

меньше

= 0.0833 для резьбы «Баттрес» обсадных труб 16 дюймов и больше

N = число ниток резьбы, находящихся в зацеплении

= A 0625 для резьбы закругленного профиля обсадных труб (Std 5B)

= A + 11/2 для резьбы «Баттрес» обсадных труб 133/8 дюймов и

меньше

= A + 1 для резьбы «Баттрес» обсадных труб 16 дюймов и больше

p = шаг резьбы, дюймы

= 0.125 для резьбы закругленного профиля обсадных труб

= 0.200 для резьбы «Баттрес» обсадных труб

d = внутренний диаметр, дюймы

W = наружный диаметр соединения, дюймы

E = средний диаметр в плоскости уплотнения, дюймы

= E1 для резьбы закругленного профиля, дюймы

= E7 для резьбы «Баттрес» обсадных труб, дюймы

Давление натяга между свинченными ниппелем и муфтой:

$$P_1 = ETN_p (W^2 - E_s^2)(E_s^2 - d^2)/2 E_s^3 (W^2 - d^2) \quad 3.2.2$$

где

A1 = внутренний радиус трубы, дюймы.

После свинчивания внутреннее давление P_i вызывает изменение давления натяга величиной P_2

$$P_2 = P_i d^2 (W^2 - E_s^2)/E_s^2 (W^2 - d^2) \quad 3.2.3$$

Так как наружный диаметр муфты всегда больше, чем диаметр контакта, который в свою очередь всегда больше, чем внутренний диаметр трубы, P_2 будет всегда меньше чем P_i . Поэтому, когда полное давление натяга $P_1 + P_2$ равно внутреннему давлению P_i , в соединении достигается предельная герметичность P . Другими словами, если P_i будет больше, чем $P_1 + P_2$, произойдет утечка.

$$P_1 + P_2 = P_i = P \quad 3.2.4$$

В уравнение 3.2.4 подставляются соответствующие значения P_1 и P_2 и упрощается уравнение 3.2.1.

РАЗДЕЛ 4

ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ

4.1 ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ ОБСАДНЫХ ТРУБ С РЕЗЬБОЙ ЗАКРУГЛЕННОГО ПРОФИЛЯ

Прочность соединений обсадных труб с резьбой закругленного профиля рассчитывается по формулам 4.1.1 и 4.1.2. За конечный результат

принимается меньшее из значений, полученных по двум формулам.

Формулы 4.1.1 и 4.1.2 применимы и для коротких и для длинных резьб и соединений. Формула 4.1.1 - для минимальной прочности соединения на разрушение, и формула 4.1.2 - для минимальной прочности соединения на страгивание или вырывание резьбы.

Прочность на разрушение

$$P_j = 0.95 A_{jp} U_p \quad 4.1.1$$

Прочности на страгивание

$$P_j = 0.95 A_{jp} L \left[\frac{0.74 D^{1.59} U_p}{0.5L + 0.14D} + \frac{Y_p}{L + 0.14D} \right] \quad 4.1.2$$

где:

P_i = Минимальная прочность соединения, фунты

A_{jp} = Площадь поперечного сечения трубы в последней нитке зацепления, квадратные дюймы

= $0.7854 ((D - 0.1425)^2 - d^2)$ для 8-витковых резьб закругленного профиля

D = номинальный наружный диаметр трубы, дюймы

d = номинальный внутренний диаметр трубы, дюймы

L = длина резьбы, находящейся в зацеплении, дюймы

= L_4 -м для номинального свинчивания, Std 5B

U_p = минимальный предел текучести трубы, psi

Y_p = минимальный предел прочности трубы, psi

Прочности соединений обсадных труб с резьбой закругленного профиля, приведенные в Vol 5C2 были рассчитаны с использованием сведенных в таблицу значений диаметров и толщин стенок и списка значений L_4 , и M по API. Площадь трубы рассчитывается с точностью до 3

знака, D-0,59 рассчитывается с точностью до 5 знака с использованием 7-значных таблиц логарифмов, остальные вычисления - с точностью до 6 знака. Внесенные в список значения округляются до 1000 фунтов.

Формулы 4.1.1 и 4.1.2 были приняты в июне 1963г. на Конференции по стандартизации, API Проспект PS 1255. Выводы уравнений приведены в работе "Прочность резьбовых соединений стальных труб", представленной W. O. Clinedinst на конференции нефтяной секции ASME в октябре 1964г. Они базируются на результатах программы испытаний API, включающей испытания на растяжение 162 соединений обсадных труб с резьбой закругленного профиля групп K-55, N-80, и P-110, в диапазоне толщин стенок и диаметров 4 1/2, 5, 5 1/2, 6 5/8, 7, 9 5/8, и 10 3/4 дюймов, с короткими и длинными резьбами, которые отбирались по размерам и группе. В четырнадцати испытаниях произошло разрушение труб и 148 испытаний закончились страгиванием резьбы. Формула 4.1.1 соответствует 14 испытаниям на разрушение. Формула 4.1.2 получена аналитически и статистическими методами приведена к форме, соответствующей данным. Свойства соединений оценивалось аналитически, и посредством анализа текущей группы испытаний было показано, что соединения были некритическими по стандартным размерам соединений. При последующих испытаниях установлено, что эти формулы также применимы для обсадных труб группы J-55.

Для возможности применения минимальных свойств вместо средних коэффициент 0.95 в формулах 4.1.1 и 4.1.2 введен для учета статистической ошибки уравнений многофункциональной регрессии.

Прочность соединения на разрушение:

$$P_j = 0.95 A_j c U_c$$

4.1.3

где:

A_{jc} = площадь поперечного сечения соединения, квадратные дюймы
 $= 0.7854 (W^2 - d_1^2)$

W = наружный диаметр соединения, дюймы

d_1 = диаметр в основании резьбы муфты на свинченном конце трубы при машинном свинчивании, округленный до ближайшей 0.001 дюйма(см. Формулу 3.1.3), дюймы

U_c = минимальный предел прочности соединения, psi

4.2 ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ ОБСАДНЫХ ТРУБ С РЕЗЬБОЙ «БАТТРЕС»

Прочность соединений обсадных труб с резьбой «баттрес» рассчитывается по формулам 4.2.1 и 4.2.2. За результат принимается наименьшее из значений.

Прочность резьбы трубы

$$P_j = 0.95 A_p U_p [1.008 - 0.0396 (1.083 - Y_p/U_p) D] \quad 4.2.1$$

Прочность резьбы муфты

$$P_j = 0.95 A_p U_p \quad 4.2.2$$

где:

P_j = минимальная прочность соединения, фунты

Y_p = минимальный предел текучести трубы, psi

U_p = минимальный предел прочности трубы, psi

U_c = минимальный предел прочности соединения, psi

A_p = площадь поперечного сечения высаженного конца трубы, квадратные дюймы

$$= 0.7854 (D^2 - d_1^2)$$

A_c = площадь поперечного сечения муфты, квадратные дюймы
 $= 0.7854 (W^2 - d^2)$

D = наружный диаметр трубы, дюймы

W = наружный диаметр соединения, дюймы

d = внутренний диаметр трубы, дюймы

d_1 = диаметр в основании резьбы муфты на свинченном конце трубы при машинном свинчивании, округленный до ближайшей 0.001 дюйма. См. формулу 3.1.4.

Прочность соединения рассчитывается с точностью до 6 знака при использовании значений площадей поперечного сечения труб и муфт, округленных до 3 знака. Окончательные значения округляются до ближайших 1000 фунтов согласно Bul 5C2.

Формулы были приняты в июне 1970г. Конференцией по стандартизации, как отражено в API Circ. PS 1398. Они были основаны на анализе регресса 151 испытания обсадных труб с резьбой «баттрес» в диапазоне размеров от 4 1/2 до 20 дюймов и минимальных пределов текучести от 40000 до 150000 psi. Вывод формул приведен в работе W.O. Clinedinst Прочность соединений резьбы «баттрес», приведенной в Приложении 2-k-9, Circ. PS 1398.

4.3 ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ ОБСАДНЫХ ТРУБ «ЭКСТРЕМ ЛАЙН»

Прочность соединений обсадных труб «экстрем лайн» рассчитывается по формуле 4.3.1.

$$P_j = A_{cg} U_p \quad 4.3.1$$

где:

P_j = минимальная прочность соединения, фунты

A_{cr} = площадь наименьшего критического сечения муфты, ниппельного конца трубы или тела трубы, квадратные дюймы

= $0.7854 (M^2 - c_b^2)$ если наименьшее критическое сечение в муфте

= $0.7854 (D_p^2 - d_j^2)$ если наименьшее критическое сечение в ниппельном конце

= $0.7854 (D^2 - d^2)$ если наименьшее критическое сечение в теле трубы

U_p = установленная минимальный предел прочности, psi

M = номинальный наружный диаметр свинченного соединения, дюймы

d_b = внутренний диаметр критической секции муфты, дюймы

$$= I + 2h - \Delta + \theta$$

D_p = наружный диаметр критической секции ниппельного конца, дюймы

$$= H + \delta - \phi$$

d_j = номинальный внутренний диаметр свинченного соединения, дюймы

D = номинальный наружный диаметр обсадных труб, дюймы

d = номинальный внутренний диаметр обсадных труб, дюймы

h = минимальная высота профиля резьбы муфты, дюймы

$$= 0.060 \text{ для резьб с шагом 6 витков на дюйм}$$

$$= 0.080 \text{ для резьб с шагом 5 витков на дюйм}$$

Δ = конусность на участке резьбы, находящейся в зацеплении, дюймы

$$= 0.253 \text{ для резьб с шагом 6 витков на дюйм}$$

$$= 0.228 \text{ для резьб с шагом 5 витков на дюйм}$$

$$\theta = 1/2 \text{ максимального натяга резьбы, дюймы} \\ = (H - I)/2$$

H = максимальный диаметр в основании последнего задействованного витка резьбы ниппеля, дюймы

I = минимальный диаметр по вершине резьбы муфты в плоскости H , дюймы

δ = изменение конусности между плоскостью H и плоскостью J , дюймы

$$= 0.035 \text{ для резьб с шагом 6 витков на дюйм}$$

$$= 0.032 \text{ для резьб с шагом 5 витков на дюйм}$$

$$\phi = 1/2 \text{ максимального натяга уплотнения, дюймы,} \\ = (A - O)/2$$

A = максимальный диаметр уплотнения ниппеля в точке касания, дюймы

O = минимальный диаметр уплотнения муфты в точке касания, дюймы

Площади критических сечений при использовании значений стандартов API рассчитываются с точностью до 3 знака, и прочность соединения округляется до ближайших 1000 фунтов.

4.4 ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ

Прочность соединений невысаженных насосно-компрессорных труб рассчитывается по формуле 4.4.1 как произведение установленного минимального предела текучести и площади сечения в последнем витке зацепления резьбы трубы. Прочность соединений высаженных насосно-компрессорных труб рассчитывается по формуле 4.4.2 как произведение

установленного минимального предела текучести и площади сечения тела трубы. Площадь сечения в последнем витке зацепления резьбы у высаженных труб по API больше, чем площадь сечения тела трубы. Площади критических сечений обычных муфт, специальных муфт уменьшенного наружного диаметра, и муфтовых концов интегральных соединений во всех случаях являются большими, чем области критических сечений труб и не влияют на прочность соединения.

Для вычислений по площади сечения по основанию резьбы невысаженных насосно-компрессорных труб:

$$P_j = Y_p \times 0.7854 ((D_4 - 2h_r)^2 - d^2) \quad 4.4.1$$

Для вычислений по площади сечения тела трубы для высаженных насосно-компрессорных труб:

$$P_j = Y_p \times 0.7854 (D^2 - d^2) \quad 4.4.2$$

где:

P_j = минимальная прочность соединения, фунты

Y_p = установленный минимальный предел текучести, psi

D = табличный наружный диаметр, дюймы

D_4 = табличный наружный диаметр резьбы трубы, дюймы

h_r = высота профиля резьбы, дюймы

= 0.05560 для резьб с шагом 10 витков на дюйм.

= 0.07125 для резьб с шагом 8 витков на дюйм

d = табличный внутренний диаметр, дюймы

Прочность соединений рассчитывается с точностью до шестого знака и округляется до ближайших 100 фунтов.

4.5 ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ ОБСАДНЫХ ТРУБ С РЕЗЬБОЙ ЗАКРУГЛЕННОГО ПРОФИЛЯ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ДЕЙСТВИИ ИЗГИБАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ И ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ

Прочность соединений обсадных труб с резьбой закругленного профиля при комбинированном действии изгибающей нагрузки и внутреннего давления рассчитывается по формулам 4.5.1 - 4.5.4 на основе полной нагрузки и выражается в фунтах.

Полная прочность на разрушение

$$P_u = 0.95 A_{jp} U_p \quad 4.5.1$$

Прочность на вырывание резьбы

$$P_j = 0.95 A_{jp} L \left[\frac{0.74 D^{0.9} U_p}{0.5L + 0.14D} + \frac{(1 + 0.5K) Y_p}{L + 0.14D} \right] \quad 4.5.2$$

Прочность на разрушение при изгибе

если $P_b/A_{jp} \geq Y_p$

$$P_b = 0.95 A_{jp} \left[U_p - \left(\frac{140.5 BD}{(U_p - Y_p)^{0.8}} \right)^5 \right] \quad 4.5.3$$

если $P_b/A_{jp} < Y_p$

$$P_b = 0.95 A_{jp} \left[\frac{U_p - Y_p}{0.644} + Y_p - 218.15 BD \right] \quad 4.5.4$$

Соотношение между общей и внешней нагрузкой

Общая нагрузка ==

Внешняя нагрузка + Нагрузка уплотнения 4.5.5

где

Нагрузка уплотнения == P_{An} 4.5.6

Соотношение между изгибом и радиусом искривления

$$B = 5730/R$$

4.5.7

Спецификация

A_n = площадь, соответствующая внутреннему диаметру, квадратные дюймы

$$= 0.7854 (D-2t)^2$$

A_{jr} = площадь поперечного сечения трубы в последней нитке зацепления, квадратные дюймы

$$= 0.7854 ((D - 0.1425)^2 - (D-2t)^2)$$

B = изгиб, градусы на 100 футов

D = номинальный наружный диаметр трубы, дюймы

K = отношение напряжения от действия внутреннего давления к пределу текучести, или

$$= PD/2Y_{pt}$$

P = внутреннее давление, psi

Y_{pt} = минимальный предел текучести трубы, psi

L = длина резьбы, находящейся в зацеплении, дюймы

P_j = полная разрушающая растягивающая нагрузка с изгибом B , фунты

P_j = полная растягивающая нагрузка при вырывании резьбы, фунты

P_u = полная растягивающая нагрузка при разрушении, фунты

R = радиус искривления при изгибе, футы

t = номинальная толщина стенки, дюймы

U_p = минимальный предел прочности трубы, psi

Вычисления проводятся с точностью не менее 6 знака без промежуточного округления площади. Окончательные значения прочности

соединения округляются до ближайших 1000 фунтов.

Формулы для прочности соединения при полной нагрузке основаны на положениях работы W. O. Clinedinst "Влияние внутреннего давления и изгибающих нагрузок на предел прочности обсадных труб с резьбой закругленного профиля API " представленной на симпозиуме по механическим свойствам труб во время Конференции по стандартизации API в июне 1967г. В работе содержатся выводы формул прочности соединений при комбинированной нагрузке и определены константы материала и коэффициенты формул, основанные на результатах научно-исследовательской работы API, в рамках которой проводилось 26 испытаний обсадных труб группы K-55 с короткой резьбой закругленного профиля диаметром 5 1/2 дюйма и погонным весом 17 фунтов на фут.

4.6 ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДНЫХ ТРУБ

Формулы для прочности соединений свинчиваемых трубопроводных труб были получены и представлены Комитету API по стандартизации трубной продукции W. O. Clinedinst на Конференции по стандартизации в 1976г. Данные и формулы, воспроизведенные в Circ PS-1533, можно получить, запросив офис API, Dallas.

Хотя прочность соединений, рассчитанная по формулам, вполне соответствует фактическим результатам испытаний, комитетом рекомендуется использовать данные только для информации без определенных условий их применения для любых размеров или групп прочности трубопроводных труб.

РАЗДЕЛ 5

ВЕС

ПРИМЕЧАНИЕ. Символы размерности и соответствующие числовые значения, используемые в формулах для вычисления веса в разделе 5 приведены в Std 5B и Spec 5CT, 5D и 5L.

Удельный вес мартенситных хромистых сталей (L-80 - Типы 9Cr и 13Cr, C-75 - Типы 9Cr и 13 Cr) отличается от удельного веса углеродистых сталей.

Для сталей такого типа может применяться коэффициент коррекции веса 0,989

5.1 НОМИНАЛЬНЫЙ ВЕС

Номинальный вес, выраженный в фунтах на фут, используется для труб, имеющих резьбы и муфты на концах, высаженные концы с резьбой, просто высаженные концы, и т.д., прежде всего с целью идентификации. Кроме того, номинальный вес учитывается при составлении колонн обсадных и насосно-компрессорных труб для определения запаса прочности соединений по нагрузке.

Номинальный вес приблизительно равен расчетному теоретическому весу на фут, определенному на длине 20 футов свинченных труб, исходя из размеров используемых соединений, когда известны конкретный диаметр и толщина стенки трубы. Некоторые номинальные веса в существующем перечне API для обсадных труб соответствуют соединениям с острой резьбой, которая применялась до выхода первой

спецификации API 1924r. Такие же номинальные веса использованы для соединений с короткими и длинными резьбами, резьбами «баттрес», соединениями «экстрим лайн», и различных соединений, принятых в нефтедобывающей промышленности. Номинальные веса высаженных бурильных труб с соединениями для внутрискважинного инструмента получены расчетом веса по значениям свинченных исходных бурильных труб.

При определении номинальных весов, исходя из расчетов, оказалось, что округление имеет различные приращения 0.01, 0.05, 0.1 и 0.5 фунтов на фут, и т.д., при порядке процентной ошибки 0.5% и менее. Никакая определенная методика в этом случае не кажется очевидной. Представляется логичным использовать эти приращения округления для добавления изолированных новых номинальных весов, отобрав приращения, наиболее совместимые со смежными номинальными весами.

5.2 РАСЧЕТНЫЙ ВЕС ДЛЯ ГЛАДКИХ КОНЦОВ

Вес для гладких концов, выраженный в фунтах на фут, рассчитывается по формуле 5.2.1 для Spec 5CT, 5D и 5L.

$$w_{pc} = 10.68(D - t)t \quad 5.2.1$$

где:

w_{pc} = вес для гладких концов, рассчитанный до 4 знака и округленный до 2 знака, фунты на фут

D = установленный наружный диаметр, дюймы

t = установленная толщина стенки, дюймы

5.3 РАСЧЕТНЫЙ ВЕС ТРУБ С НАРЕЗАННОЙ РЕЗЬБОЙ И НАВИНЧЕННЫМИ МУФТАМИ

Расчетный вес труб с нарезанной резьбой и навинченными муфтами

не встречается в стандартах API с 1964г. Однако, вычисление этого значения необходимо для определения номинальных весов, в случаях, когда в спецификации добавляются новые толщины стенок. Это также используется в вычислении e_w , увеличения веса при чистовой обработке концов труб с нарезанной резьбой и навинченными муфтами.

Расчетный вес труб с нарезанной резьбой и навинченными муфтами основан на длине 20 футов, измеренной от наружного торца муфты до конца трубы как показано на рис.5.3.1. Расчет ведется по формуле 5.3.1.

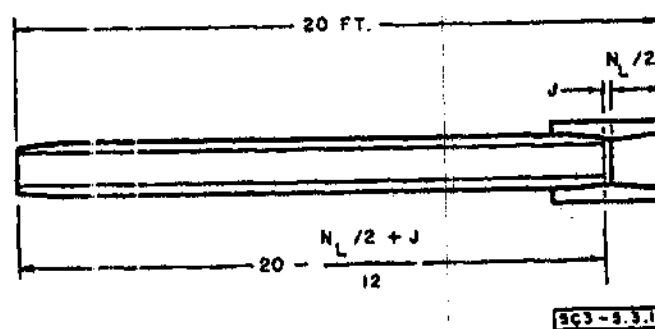


Рис. 5.3.1

$$w = \frac{\left[20 - \frac{N_L + 2J}{24} \right] w_{pe} \left[\text{Вес муфты} \right] - \left[\text{Вес металла, удаленного при нарезке резьбы на двух концах труб} \right]}{20} \quad 5.3.1$$

где:

w = вес труб с нарезанной резьбой и навинченными муфтами, рассчитанный до 4 знака и округленный до 2 знака, фунты на фут

N_L = длина муфты, дюймы

J = расстояние от конца трубы до центра муфты свинченной машинным ключом, дюймы

w_{pe} = вес гладкого конца, рассчитанный до 4 знака, фунты на фут

$\left[\begin{array}{l} \text{Вес} \\ \text{муфты} \end{array} \right] = \text{вес муфты, рассчитанный до 4 знака, фунты.}$

$\left[\begin{array}{l} \text{Вес металла, удаленного при} \\ \text{нарезке резьбы на двух концах труб} \end{array} \right] = \text{вес металла, удаленного в резьбе обоих}$

концов трубы, рассчитанный до 4 знака, фунты.

5.4 РАСЧЕТНЫЙ ВЕС ВЫСАЖЕННЫХ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ С ИНТЕГРАЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ И ОБСАДНЫХ ТРУБ «ЭКСТРЕМ-ЛАЙН»

Расчетный вес высаженных труб с нарезанной резьбой не встречается в стандартах API с 1964г. Однако, вычисление этого значения необходимо для вычисления еw, увеличения веса при чистовой обработке концов высаженных труб с нарезанной резьбой.

Формулы, первоначально использованные корпорацией Armco Steel, для расчета веса высаженных обсадных труб «экстрем-лайн», приведенные в стандартах API 1963г. на обсадные трубы, более не применимы. Расчеты по приведенным здесь и в пп. 5.8.1, 5.8.2, 5.12 формулам для обсадных труб «экстрем-лайн» дают величины, соответствующие стандартам API 1963г., но не всегда им идентичные.

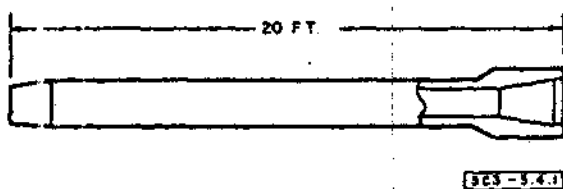


Рис. 5.4.1

Расчетный вес высаженных труб с резьбой основан на длине 20 футов, как показано на рис. 5.4.1. и рассчитывается по формуле 5.4.1.

$$w = w_{pc} + \frac{\left[\begin{array}{l} \text{Вес} \\ \text{высадок} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{Вес металла, удаленного при} \\ \text{нарезке резьбы на двух концах труб} \end{array} \right]}{20} \quad 5.4.1$$

где:

w = вес высаженных труб с резьбой, рассчитанный до 4 знака и округленный до 2 знака, фунты на фут

w_{pc} = вес гладкого конца, рассчитанный до 4 знака, фунты на фут

$\left[\begin{array}{l} \text{Вес} \\ \text{высадок} \end{array} \right]$ = вес высадок, рассчитанный до 4 знака, фунты.

$\left[\begin{array}{l} \text{Вес металла, удаленного при} \\ \text{нарезке резьбы на двух концах труб} \end{array} \right]$ = вес металла, удаленного в резьбе обоих

концов трубы, рассчитанный до 4 знака, фунты.

5.5 РАСЧЕТНЫЙ ВЕС ВЫСАДКИ

Расчетный вес высадки высаженных бурильных труб для приварного инструмента, не встречается в стандартах API с 1964г. Однако, вычисление этого значения необходимо для вычисления ew , увеличения веса при чистовой обработке высадки.

Расчетный вес высадки основан на длине 20 футов, измеренной между концами трубы, включая высадки, как показано на рис.5.5.1. и рассчитывается по формуле 5.5.1.

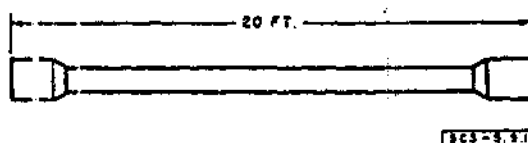


Рис.5.5.1

$$w = w_{pe} + \frac{\left[\begin{array}{c} \text{Вес} \\ \text{высадок} \end{array} \right]}{20} \quad 5.5.1$$

где:

w = вес высаженных труб, рассчитанный до 4 знака и округленный до 2 знака, фунты на фут

w_{pe} = вес гладкого конца, рассчитанный до 4 знака, фунты на фут

$\left[\begin{array}{c} \text{Вес} \\ \text{высадок} \end{array} \right]$ = вес высадок, рассчитанный до 4 знака, фунты

5.6 УВЕЛИЧЕНИЕ ВЕСА ПРИ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКЕ

Начиная с 1965, в стандарты API вносят расчетное увеличение (или потерю) веса e_w при чистовой обработке вместо расчетного веса труб с нарезанной резьбой и навинченными муфтами, расчетного веса высаженных и свинченных труб или расчетного веса высадки. Значения e_w , приведенные в стандартах API, рассчитаны по формуле 5.6.1. Для труб с гладкими концами e_w равняется нулю.

$$e_w = 20 (w - w_{pe}) \quad 5.6.1$$

где:

e_w = увеличение (или потеря) веса при чистовой обработке, округленное до 2 знака, фунты

w = расчетный вес труб с нарезанной резьбой и навинченными муфтами, вес высаженных труб с нарезанной резьбой или вес высадки, основанный на длине 20 футов, округленный до 2 знака, фунты

w_{pe} = расчетный вес гладких концов, округленный до 2 знака, фунты на фут.

Значения e_w могут быть рассчитаны непосредственно без округления промежуточного расчетного веса при чистовой обработке, и веса гладких концов по формулам 5.6.2, 5.6.3 и 5.6.4, но полученные значения не будут соответствовать приведенным в стандартах API из-за различия в методах округления.

РУКОВОДСТВО ПО РАСЧЕТУ e_w

ТРУБ С НАРЕЗАННОЙ РЕЗЬБОЙ И НАВИНЧЕННЫМИ МУФТАМИ

$$e_w = \left[\begin{array}{c} \text{Вес} \\ \text{муфты} \end{array} \right] - \left[\frac{N_L + 2J}{24} \right] w_c - \left[\begin{array}{c} \text{Вес металла, удаленного при} \\ \text{нарезке резьбы на двух концах труб} \end{array} \right] \quad 5.6.2$$

ВЫСАЖЕННЫХ ТРУБ С НАРЕЗАННОЙ РЕЗЬБОЙ

$$e_w = \left[\begin{array}{c} \text{Вес} \\ \text{высадок} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{Вес металла, удаленного при} \\ \text{нарезке резьбы на двух концах труб} \end{array} \right] \quad 5.6.3$$

ВЫСАЖЕННЫХ ТРУБ

$$e_w = \left[\begin{array}{c} \text{Вес} \\ \text{высадок} \end{array} \right] \quad 5.6.4$$

Значение, e_w , используется для вычисления теоретического веса длины трубы по формуле 5.6.5.

$$W_L = w_{pe}L + e_w \quad 5.6.5$$

где:

W_L = расчетный вес части трубы длиной L, фунты

w_{pe} = табличный вес гладких концов, рассчитанный до 2 знака, фунты на фут

L = длина трубы, включая чистовую обработку, рассчитанная до 1 знака, футы

e_w = увеличение (или потеря) веса при чистовой обработке, округленная до 2 знака, фунты

5.7 РАСЧЕТНЫЙ ВЕС МУФТ

Вес муфт рассчитывается согласно п.5.7.1 для трубопроводных труб и обсадных и насосно-компрессорных труб с резьбой закругленного профиля, и согласно п.5.7.2 для обсадных труб с резьбой «баттрес». Расчет веса муфт основан на более низком значении момента затяжки от руки в тех размерах, для которых приведено больше одного значения момента.

5.7.1 РАСЧЕТНЫЙ ВЕС МУФТ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДНЫХ, НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ И ОБСАДНЫХ ТРУБ С РЕЗЬБОЙ ЗАКРУГЛЕННОГО ПРОФИЛЯ

Вес муфт для трубопроводных и обсадных труб с резьбой закругленного профиля рассчитывается исходя из размеров при свинчивании от руки.

Вес муфт для трубопроводных труб рассчитывается исходя из размеров, приведенных в издании 1942 Std 5L, которые являются идентичными размерам, приведенным в издании 1971г.

Вес муфт для обсадных труб с резьбой закругленного профиля рассчитывается исходя из размеров, приведенных в стандарте 1942г., кроме труб диаметром 185/8 дюйма с короткой и труб диаметром 20 дюймов с длинной резьбой закругленного профиля, для которых расчет ведется исходя из размеров при свинчивании от руки, идентичных величинам стандарта 1971г.

Весы муфт, приведенные для труб диаметром 185/8 дюйма с длинной резьбой закругленного профиля и труб диаметром 16 дюймов с резьбой закругленного профиля основаны на размерах старой резьбы острого профиля. Значения, приведенные для свинчивания от руки в стандартах

1971г. получены для свинчивания на один виток больше чем в стандартах 1942г. Перерасчет, произведенный по размерам для свинчивания от руки 1971г., может дать небольшие отличия веса муфт.

Вес муфт невысаженных насосно-компрессорных труб основан на размерах муфт стандарта 1942г., кроме размеров 1.050, 1.315 и 1.660 дюймов, которые основаны на размерах муфт, добавленных в 1962г. Размеры 1971г. идентичны с теми, по которым были рассчитаны существующие веса муфт.

Вес муфт высаженных наружу насосно-компрессорных труб основан на размерах муфт стандарта 1942г., кроме размеров 1.050 и 1.315 дюймов, которые основаны на размерах муфт, добавленных в 1954г. Для обычных муфт размеры, используемые для вычисления веса, идентичны приведенным в стандартах 1971г. Расчет веса специальных муфт основан на диаметрах, представленных в стандартах 1958г., которые являются идентичными приведенным в стандартах 1971г. При вычислении веса специальных муфт поправка делается для веса, удаленного на специальных фасках. Однако, вес специальных муфт был рассчитан для фасок в 12 градусов согласно стандарта 1958г, а несколькими годами позже в стандарте 1962г. были приняты фаски в 20 градусов. Веса не были пересчитаны для измененных специальных фасок 1962г. Специальные фаски применяются также на обычных муфтах, но в стандартах вес этих муфт приведен отдельно.

Вес муфт для трубопроводных, насосно-компрессорных и обсадных труб с резьбой закругленного профиля рассчитывается по формулам 5.7.1.1 - 5.7.1.10. и согласно рис.5.7.1.1 и 5.7.1.2.

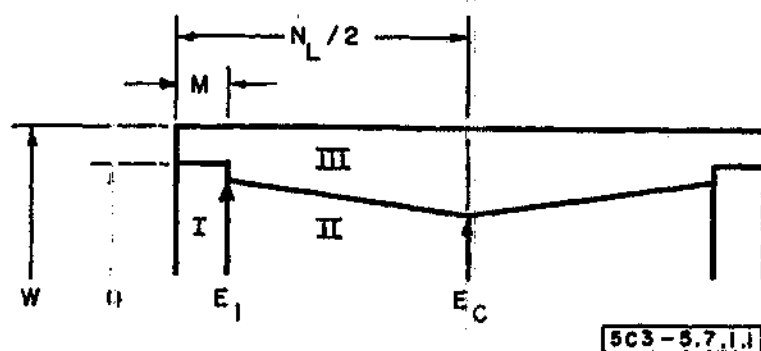


Рис.5.7.1.1

РАСЧЕТЫ ВЕСА МУФТ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДНЫХ, НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ И ОБСАДНЫХ ТРУБ С РЕЗЬБОЙ ЗАКРУГЛЕННОГО ПРОФИЛЯ, ОСНОВАННЫЕ НА РАЗМЕРАХ ПРИ СВИНЧИВАНИИ ОТ РУКИ БЕЗ ПОПРАВКИ НА СПЕЦИАЛЬНЫЕ ФАСКИ

$$E_c = E_1 - (N_L/2 - m) \text{ (КОНУСНОСТЬ)} \quad 5.7.1.1$$

$$\text{ЗНАЧ. I} = 0.7854MQ^2 \quad 5.7.1.2$$

$$\text{ЗНАЧ. II} = 0.2618(N_L/2 - m) (E_1^2 + E_1E_c + E_c^2) \quad 5.7.1.3$$

$$\text{ЗНАЧ. (I + II + III)} = 0.7854N_LW^2/2 \quad 5.7.1.4$$

$$\text{ЗНАЧ. III} = \text{ЗНАЧ. (I + II + III)} - \text{ЗНАЧ. I} - \text{ЗНАЧ. II.} \quad 5.7.1.5$$

$$\text{РАСЧЕТНЫЙ ВЕС МУФТЫ} = 0.566663 \text{ЗНАЧ. III} \quad 5.7.1.6$$

Вес муфт находится в фунтах. Окончательный расчетный вес округляется до 2 знака без промежуточного округления при вычислениях.

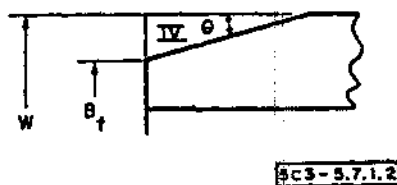


Рис. 5.7.1.2

ВЕС, УДАЛЕННЫЙ СПЕЦИАЛЬНЫМИ ФАСКАМИ

$$\text{ЗНАЧ. IV} = \frac{0.7854(W \cdot B_r)(W^2 - B_r^2)}{2 \tan \theta} \quad 5.7.1.7$$

Формула 5.7.1.7, которая используется для вычисления поправки, учитывающей вес, удаленный специальными фасками в специальных муфтах высаженных наружу насосно-компрессорных труб, является приблизительной. Точной для ЗНАЧ. IV является формула 5.7.1.8.

$$\text{ЗНАЧ. IV} = \frac{(W - B_r)}{\tan \theta} (0.785W^2 - 0.2618(B_r^2 + B_r W + W^2)) \quad 5.7.1.8$$

$$[\text{Вес, удаленный специальными фасками}] = 0.56663 \text{ЗНАЧ. IV} \quad 5.7.1.9$$

ВЕС МУФТ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ ФАСКАМИ

Вес муфт со специальными фасками, рассчитывается путем вычитания веса, удаленного специальными фасками, формула 5.7.1.9, от веса муфт без специальных фасок, формула 5.7.1.6 согласно формуле 5.7.1.10. Вес муфт находится в фунтах. Окончательный расчетный вес округляется до двух знака без промежуточного округления при вычислениях.

$$[\text{Вес муфт со специальными фасками}] = [\text{Вес муфт без специальных фасок}] - [\text{Вес, удаленный специальными фасками}] \quad 5.7.1.10$$

5.7.2 РАСЧЕТНЫЙ ВЕС МУФТ ДЛЯ ОБСАДНЫХ ТРУБ С РЕЗЬБОЙ «БАТТРЕС»

Вес муфт для обсадных труб с резьбой «баттрес» рассчитывается исходя из размеров при машинном свинчивании (вместо размеров при свинчивании от руки для трубопроводных, насосно-компрессорных и обсадных труб с резьбой закругленного профиля) по формулам 5.7.2.1. - 5.7.2.6, в соответствии с рис.5.7.2.1.

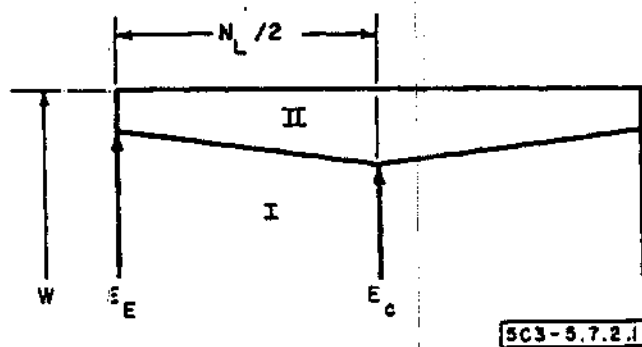


Рис. 5.7.2.1

ВЫЧИСЛЕНИЕ ВЕСА ДЛЯ МУФТ ДЛЯ ОБСАДНЫХ ТРУБ С РЕЗЬБОЙ «БАТТРЕС»

$$E_c = E_7 - (L_7 + J) \text{ (КОНУСНОСТЬ)} \quad 5.7.2.1$$

$$E_E = E_7 + (g + X) \text{ (КОНУСНОСТЬ)} \quad 5.7.2.2$$

где:

$$X = 0.300 \text{ для размеров менее 16 дюймов}$$

$$= 0.200 \text{ для размеров 16 дюймов и более}$$

$$\text{(КОНУСНОСТЬ)} = 0.0625 \text{ для размеров менее 16 дюймов}$$

$$= 0.0833 \text{ для размеров 16 дюймов и более}$$

$$\text{ЗНАЧ. I} = 0.2618 (N_L/2)^2 (E_E^2 + E_E E_c + E_c^2) \quad 5.7.2.3$$

$$\text{ЗНАЧ. (I + II)} = 0.7854 (N_L/2) W^2 \quad 5.7.2.4$$

$$\text{ЗНАЧ. II} = \text{ЗНАЧ. (I + II)} - \text{ЗНАЧ. I.} \quad 5.7.2.5$$

$$\text{РАСЧЕТНЫЙ ВЕС МУФТЫ} = 0.5666 \text{ЗНАЧ. II.} \quad 5.7.2.6$$

Вес муфт находится в фунтах. Окончательный расчетный вес округляется до 2 знака без промежуточного округления при вычислениях.

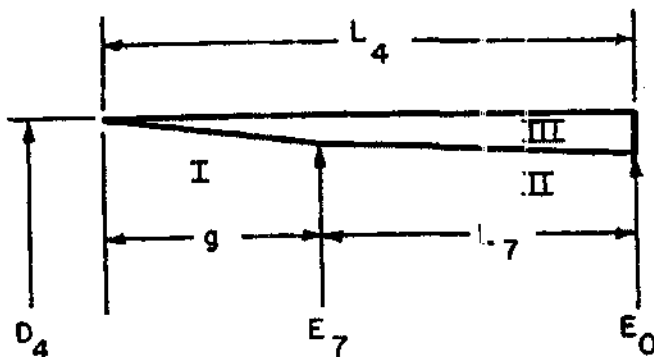
5.8 РАСЧЕТ ВЕСА, УДАЛЕННОГО ПРИ НАРЕЗКЕ РЕЗЬБЫ

Вес, удаленный при нарезке резьбы труб или ниппельных концов рассчитывается в соответствии с п.5.8.1. Вес, удаленный нарезке резьбы и

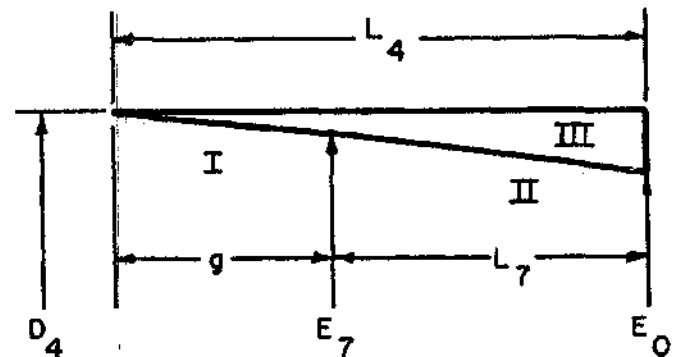
выточке муфтовых концов рассчитывается в соответствии с п.5.8.2.

5.8.1 РАСЧЕТ ВЕСА, УДАЛЕННОГО ПРИ НАРЕЗКЕ РЕЗЬБЫ ТРУБ ИЛИ НИППЕЛЬНЫХ КОНЦОВ

Вес, удаленный при нарезке резьбы труб или ниппельных концов рассчитывается по формулам 5.8.1.1 - 5.8.1.8 в соответствии с рис.5.8.1.1, 5.8.1.2, и 5.8.1.3.



**Рис. 5.8.1.1. РЕЗЬБЫ
ЗАКРУГЛЕННОГО
ПРОФИЛЯ И РЕЗЬБЫ
ТРУБОПРОВОДНЫХ
ТРУБ**



**Рис. 5.8.1.2.
РЕЗЬБЫ
«БАТТРЕС»**

D_4 = наружный диаметр высадки для высаженных труб и наружный диаметр невысаженных труб и обсадных труб с резьбой «баттрес».

$$E_0 = E_7 - L_7 (\text{КОНУСНОСТЬ}) \quad 5.8.1.1$$

где:

(КОНУСНОСТЬ) = 0.0525 для всех резьб закругленного профиля и для резьб «баттрес» менее 16 дюймов

= 0.0833 для резьб «баттрес» 16 дюймов и более

$$\text{ЗНАЧ. I} = 0.2618g(D_4^2 + D_4E_7 + E_7^2) \quad 5.8.1.2$$

$$\text{ЗНАЧ. II} = 0.2618(L_4 - \xi)(D_7^2 + E_7E_0 + E_0^2)$$

5.8.1.3

$$\text{ЗНАЧ. (I + II + III)} = 0.7854L_4D_4^2$$

5.8.1.4

$$\text{ЗНАЧ. III} = \text{ЗНАЧ. (I + II + III)} - \text{ЗНАЧ. I} - \text{ЗНАЧ. II}$$

5.8.1.5

РАСЧЕТНЫЙ ВЕС, УДАЛЕННЫЙ ПРИ НАРЕЗКЕ РЕЗЬБЫ

$$= 0.2833\text{ЗНАЧ. III}$$

5.8.1.6

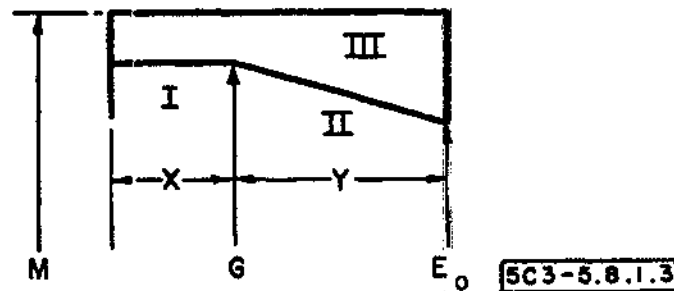


Рис. 5.8.1.3. РЕЗЬБА «ЭКСТРЕМ-ЛАЙН»

X = 0.360 для размеров 51/2 – 75/8 дюйма

= 0.404 для размеров 85/8 – 103/4 дюйма

Y = 3.230 для размеров 51/2 – 75/8 дюйма

= 5.6585 для размеров 85/8 – 103/4 дюйма

E₀ = G - 0.529 для размеров 51/2 – 75/8 дюйма

= G - 0.589 для размеров 85/8 – 103/4 дюйма

$$\text{ЗНАЧ. I} = 0.7854XG^2$$

5.8.1.7

$$\text{ЗНАЧ. II} = 0.2618Y(G^2 + GE_0 + E_0^2)$$

5.8.1.8

$$\text{ЗНАЧ. (I + II + III)} = 0.7854(X + Y)M^2$$

5.8.1.9

$$\text{ЗНАЧ. III} = \text{ЗНАЧ. (I + II + III)} - \text{ЗНАЧ. I} - \text{ЗНАЧ. II}$$

5.8.1.10

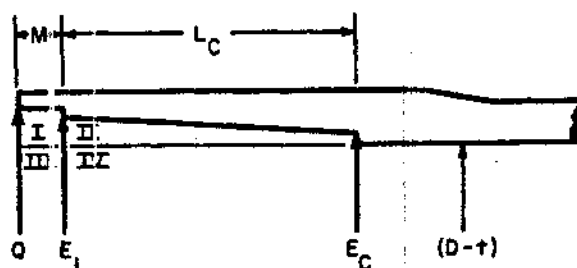
РАСЧЕТНЫЙ ВЕС, УДАЛЕННЫЙ ПРИ НАРЕЗКЕ РЕЗЬБЫ

$$\text{ОДНОГО НИПШЕЛЬНОГО КОНЦА} - 0.2833\text{ЗНАЧ. III}$$

5.8.1.11

5.8.2 РАСЧЕТ ВЕСА, УДАЛЕННОГО ПРИ НАРЕЗКЕ РЕЗЬБЫ НИППЕЛЬНОГО КОНЦА В ИНТЕГРАЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ

Вес, удаленный при нарезке резьбы и выточке ниппельного конца в интегральном соединении насосно-компрессорных труб рассчитывается по формулам 5.8.2.1 - 5.8.2.7, в соответствии с рис.5.8.2.1.



5СЗ - 5.8.2.1

Рис. 5.8.2.1. ИНТЕГРАЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ

$$L_c = L_1 + J + A \quad 5.8.2.1$$

$$E_c = E_1 - L_c (\text{КОНУСНОСТЬ}) \quad 5.8.2.2$$

где:

J = расстояние от конца трубы до выхода резьбы муфты при машинном свинчивании

$$\text{ЗНАЧ. (I + III)} = 0.7854 M Q^2 \quad 5.8.2.3$$

$$\text{ЗНАЧ. (II + IV)} = 0.2618 L_c (E_1^2 + E_1 E_c + E_c^2) \quad 5.8.2.4$$

$$\text{ЗНАЧ. (III + IV)} = 0.7854 (M + L_c) (D - t)^2 \quad 5.8.2.5$$

$$\text{ЗНАЧ. (I + II)} = \text{ЗНАЧ. (I + III)} + \text{ЗНАЧ. (II + IV)} - \text{ЗНАЧ. (III + IV)} \quad 5.8.2.6$$

ВЕС, УДАЛЕННЫЙ

$$\text{ПРИ НАРЕЗКЕ РЕЗЬБЫ И ВЫТОЧКЕ} = 0.2833 \text{ЗНАЧ. (I + II)} \quad 5.8.2.7$$

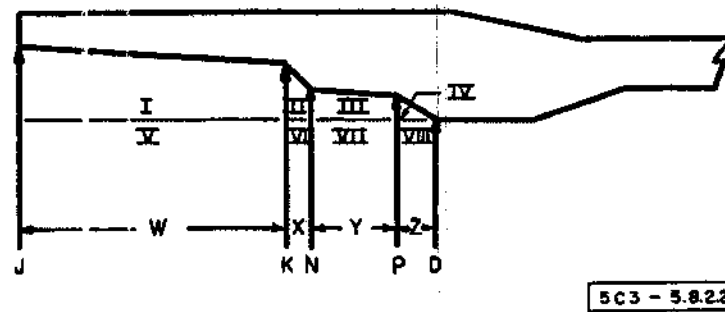


Рис. 5.8.2.2

ОБСАДНЫЕ ТРУБЫ «ЭКСТРЕМ-ЛАЙН»

где:

$$Z = 0.5(P-D)$$

$$\text{ЗНАЧ. (I + V)} = 0.2618 W(J^2 + JK + K^2) \quad 5.8.2.8$$

$$\text{ЗНАЧ. (II + VI)} = 0.2618 X(K^2 + KN + N^2) \quad 5.8.2.9$$

$$\text{ЗНАЧ. (III + VII)} = 0.2618 Y(N^2 + NP + P^2) \quad 5.8.2.10$$

$$\text{ЗНАЧ. (IV + VIII)} = 0.2618 Z(P^2 + PD + D^2) \quad 5.8.2.11$$

$$\text{ЗНАЧ. (V + VI + VII + VIII)} = 0.7854(W + X + Y + Z)D^2 \quad 5.8.2.12$$

$$\begin{aligned} \text{ЗНАЧ. (I + II + III + IV)} = & \text{ЗНАЧ. (I + V)} + \text{ЗНАЧ. (II + VI)} + \\ & + \text{ЗНАЧ. (III + VII)} + \text{ЗНАЧ. (IV + VIII)} - \text{ЗНАЧ. (V + VI + VII + VIII)} \end{aligned} \quad 5.8.2.13$$

РАСЧЕТНЫХ ВЕС, УДАЛЕННЫЙ

$$\text{ПРИ НАРЕЗКЕ РЕЗЬБЫ} = 0.2833 \text{ЗНАЧ. (I + II + III + IV)} \quad 5.8.2.14$$

Вес, удаленный при нарезке резьбы или при нарезке резьбы и выточке находится в фунгах с точностью до 4 знака.

5.9 РАСЧЕТНЫЙ ВЕС НАРУЖНОЙ ВЫСАДКИ

Дополнительный вес наружной высадки рассчитывается по формулам 5.9.1 - 5.9.5, в соответствии с рис.5.9.1.

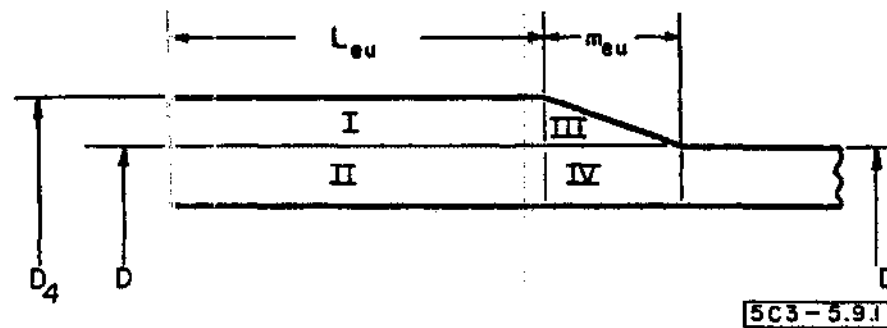


Рис. 5.9.1. НАРУЖНАЯ ВЫСАДКА

$$\text{ЗНАЧ. (I + II)} = 0.7854 L_{cu} D_4^2 \quad 5.9.1$$

$$\text{ЗНАЧ. (III + IV)} = 0.2618 m_{cu} (D_4^2 + D_4 D + D^2) \quad 5.9.2$$

$$\text{ЗНАЧ. (II + IV)} = 0.7854 (L_{cu} + m_{cu}) D^2 \quad 5.9.3$$

$$\text{ЗНАЧ. (I + III)} = \text{ЗНАЧ. (I + II)} + \text{ЗНАЧ. (III + IV)} - \text{ЗНАЧ. (II + IV)} \quad 5.9.4$$

РАСЧЕТНЫЙ ВЕС

$$\text{НАРУЖНОЙ ВЫСАДКИ} = 0.2833 \text{ЗНАЧ. (I + III)} \quad 5.9.5$$

Вес наружной высадки находится в фунтах с точностью до 4 знака.

5.10 РАСЧЕТНЫЙ ВЕС ВНУТРЕННЕЙ ВЫСАДКИ

Дополнительный вес внутренней высадки рассчитывается по формулам 5.10.1 - 5.10.5, в соответствии с рис.5.10.1.

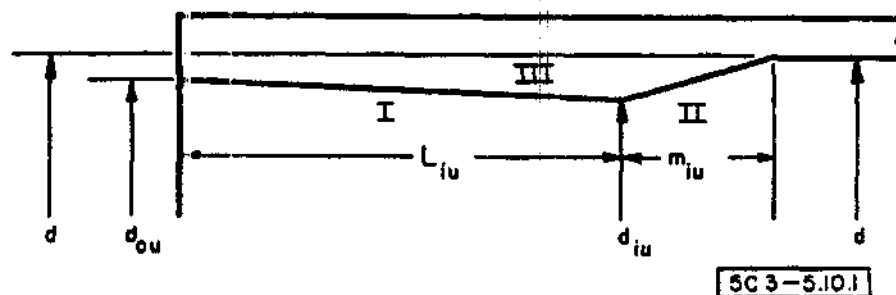


Рис.5.10.1. ВНУТРЕННЯЯ ВЫСАДКА

$$\text{ЗНАЧ. I} = 0.2618L_{iu}(d_{ou}^2 + d_{ou}d_{iu} + d_{iu}^2) \quad 5.10.1$$

$$\text{ЗНАЧ. II} = 0.2618m_{iu}(d^2 + dd_{iu} + d_{iu}^2) \quad 5.10.2$$

$$\text{ЗНАЧ. (I + II + III)} = 0.7854d^2(L_{iu} + M_{iu}) \quad 5.10.3$$

$$\text{ЗНАЧ. III} = \text{ЗНАЧ. (I + II + III)} - \text{ЗНАЧ. I} - \text{ЗНАЧ. II} \quad 5.10.4$$

РАСЧЕТНЫЙ ВЕС

$$\text{ВНУТРЕННЕЙ ВЫСАДКИ} = 0.2833\text{ЗНАЧ. III} \quad 5.10.5$$

Вес внутренней высадки находится в фунтах с точностью до 4 знака.

5.11 РАСЧЕТНЫЙ ВЕС НАРУЖНОЙ - ВНУТРЕННЕЙ ВЫСАДКИ

Дополнительный вес наружной - внутренней высадки рассчитывается как сумма веса наружной высадки, рассчитанного по формуле 5.9.5 и веса внутренней высадки, рассчитанного по формуле 5.10.5, согласно формуле 5.11.1.

$$[\text{Расчетный вес наружной внутренней высадки}] = [\text{Расчетный вес внутренней высадки}] + [\text{Расчетный вес наружной высадки}] \quad 5.11.1$$

Вес наружной - внутренней высадки находится в фунтах с точностью до 4 знака.

5.12 РАСЧЕТНЫЙ ВЕС ВЫСАДКИ «ЭКСТРЕМ-ЛАЙН»

Дополнительный вес высадки муфтовых и ниппельных концов для обсадных труб «экстрем-лайн» рассчитывается по формулам 5.12.1 - 5.12.18 в соответствии с рис. 5.12.1 и 5.12.2.

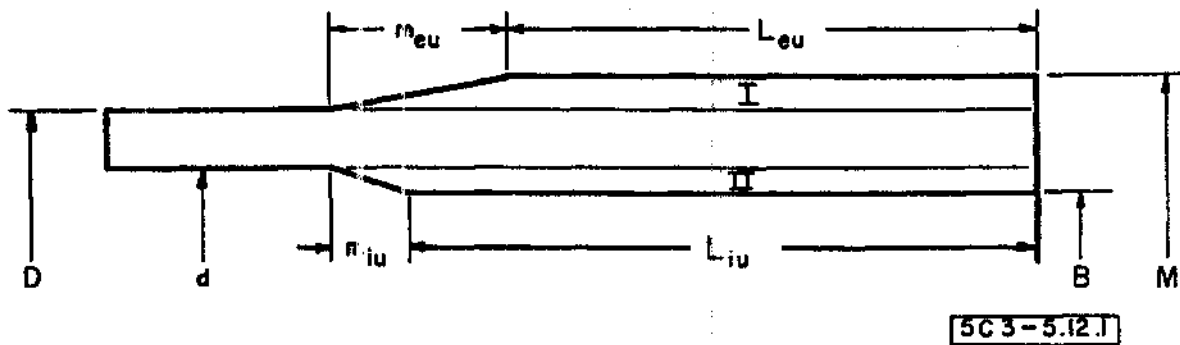


Рис. 5.12.1. ВЫСАДКА НИППЕЛЬНЫХ КОНЦОВ

$$m_{eu} = 6(M-D)$$

5.12.1

$$m_{iu} = 6(d-B)$$

5.12.2

$$L_{eu} = 8.000 - m_{eu} \text{ для размеров } 5^{1/2} - 7^{5/8} \text{ дюйма}$$

5.12.3

$$= 10.500 - m_{eu} \text{ для размеров } 8^{5/8} - 10^{3/4} \text{ дюйма}$$

5.12.4

$$L_{iu} = 6.625 \text{ для размеров } 5^{1/2} - 7^{5/8} \text{ дюйма}$$

5.12.5

$$= 8.000 \text{ для размеров } 8^{1/8} - 10^{3/4} \text{ дюйма}$$

5.12.6

$$\text{ЗНАЧ. I} = 0.7854L_{eu} M^2 + 0.2618m_{eu} (D^2 + DM + M^2) - \\ - 0.7854(L_{eu} + m_{eu})D^2$$

5.12.7

$$\text{ЗНАЧ. II} = 0.7854(L_{iu} + m_{iu})d^2 - 0.7854L_{iu} B^2 - 0.2618m_{iu}(d^2 + dB + B^2)$$

5.12.8

ВЕС ВЫСАДКИ

$$\text{НИПШЕЛЬНЫХ КОНЦОВ} = 0.2833(\text{ЗНАЧ. I} + \text{II})$$

5.12.9

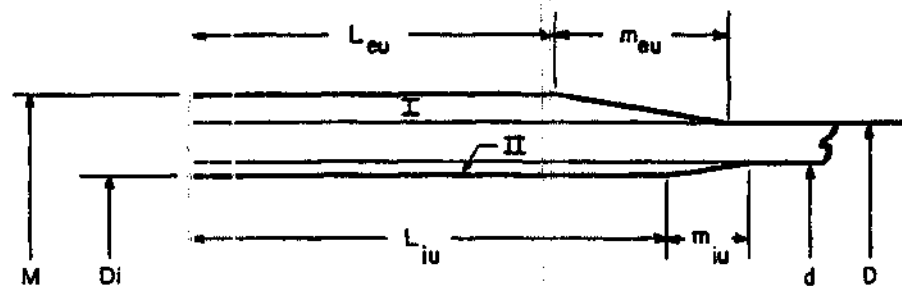


Рис. 5.12 2. ВЫСАДКА МУФТОВЫХ КОНЦОВ

$$m_{eu} = 6(M-D)$$

5.12.10

$$m_{iu} = 6(d-D_1)$$

5.12.11

$$L_{eu} = 8.000 - m_{eu} \text{ для размеров } 5^{1/2} - 7^{5/8} \text{ дюйма}$$

5.12.12

$$= 10.500 - m_{eu} \text{ для размеров } 8^{5/8} - 10^{3/4} \text{ дюйма}$$

5.12.13

$$L_{iu} = 7.000 \text{ для размеров } 5^{1/2} - 7^{5/8} \text{ дюйма}$$

5.12.14

$$= 8.375 \text{ для размеров } 8^{1/8} - 10^{3/4} \text{ дюйма}$$

5.12.15

$$\text{ЗНАЧ. I} = 0.7854L_{eu} M^2 + 0.2618m_{eu} (M^2 + MD + D^2) - \\ - 0.7854(L_{eu} + m_{eu})D^2$$

5.12.16

$$\text{ЗНАЧ. II} = 0.7854(L_{iu} + m_{iu})d^2 - 0.7854L_{iu} D_i^2 - 0.2618m_{iu}(D_i^2 + D_i d + d^2) \quad 5.12.17$$

ВЕС ВЫСАДКИ

$$\text{МУФТОВЫХ КОНЦОВ} = 0.2833(\text{ЗНАЧ. I} + \text{ЗНАЧ. II}) \quad 5.12.18$$

Вес высадки муфтовых и ниппельных концов для обсадных труб «экстрем-лайн» рассчитывается в фунтах и с точностью до 4 знака.

РАЗДЕЛ 6

УДЛИНЕНИЕ

6.1 УДЛИНЕНИЕ

Минимальное удлинение на 2 дюйма рассчитывается по формуле 6.1.

$$e = 625000 \frac{A^{0.2}}{U^{0.9}} \quad 6.1$$

где:

e = минимальное удлинение на 2 дюйма, округленное к ближайшей 1/2 процента

A = площадь поперечного сечения растягиваемого образца, исходя из указанного наружного диаметра или номинальной ширины образца, и указанной толщины стенки, округленная к самому близкому 0.01 или 0.75 квадратного дюйма, в зависимости от того, что меньше

U = установленный предел прочности, psi

Формула была принята в июне 1967г. на Конференции по стандартизации, как отражено в Circ. PS 1340.

РАЗДЕЛ 7

ИСПЫТАНИЯ НА СПЛЮЩИВАНИЕ

7.1 ИСПЫТАНИЯ НА СПЛЮЩИВАНИЕ ОБСАДНЫХ И НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ

Расстояние между поверхностями при испытаниях на сплющивание обсадных и насосно-компрессорных труб рассчитывается по формулам, приведенным в табл.7.1, и округляется до 1 знака.

ТАБЛИЦА 7.1

1	2	3
Группа	Отношение D/t	Расстояние между пластинами, максимум, дюймы.
N40	16 и выше менее 16	0.5D D(0.83 - 0.0206 D/t)
J55 и K55	16 и более от 3.93 до 16 менее 3.93	0.65D D(0.98 - 0.0206 D/t) D(1.104-0.0518 D/t)
*N80	От 9 до 28	D(1.074-0.0194 D/t)
C75 и L80	От 9 до 28	D(1.074 - 0.0194 D/t)
*C95	От 9 до 28	D(1.080 - 0.0178 D/t)
**Q125	Все	D(1.092-0.014 D/t)

*Если при испытании групп L-80 или N80 разрушение образца произошло в верхней или нижней точке(900 или 2700), сплющивание следует продолжать до тех пор, пока оставшаяся часть образца не разрушится в точках 00 или 1800. Преждевременное разрушение в верхней или нижней точке не должно являться основанием для отбраковки.

**См. Spec 5CT и SR11. Минимальное сплющивание 0.85D

D = Номинальный наружный диаметр трубы, в дюймах

t = Номинальная толщина стенки трубы, в дюймах

Формула для испытаний на сплющивание для группы N40 была принята в мае 1939г. на Конференции по стандартизации. Формулы для

групп J55, K55, N80, C75 и C95 были приняты в июне 1972г. на Конференции по стандартизации как отражено в Circ. PS-1440. Формула для группы L-80 была принята в июне 1974г. на Конференции по стандартизации как отражено в Circ. PS-1487. Формула для группы Q125 была принята в июне 1984г. на Конференции по стандартизации как отражено в Circ. PS-1736

7.2 ИСПЫТАНИЯ НА СПЛЮЩИВАНИЕ ТРУБОПРОВОДНЫХ ТРУБ

Расстояние между поверхностями при испытаниях на сплющивание сварных (дуговой, контактной, индукционной сваркой) трубопроводных труб рассчитывается по формулам 7.2.1 и 7.2.2 и округляется до 1 знака.

ГРУППЫ НИЖЕ X52

$$S = \frac{3.07t}{0.07 + 3t/D} \quad 7.2.1$$

ГРУППЫ X52 И ВЫШЕ

$$S = \frac{3.05t}{0.05 + 3t/D} \quad 7.2.1$$

где:

S = расстояние между поверхностями при сплющивании, дюймы

t = установленная толщина стенки трубы, дюймы

D = установленный наружный диаметр трубы, дюймы

Формулы для испытаний на сплющивание были получены Рабочей группой по сварке и испытаниям сварных швов и приняты в июне 1970г. на Конференции по стандартизации как отражено в Circ. PS139B.

РАЗДЕЛ 8

ГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

8.1 ГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ТРУБ С ГЛАДКИМИ КОНЦАМИ, ОБСАДНЫХ ТРУБ «ЭКСТРЕМ-ЛАЙН» И НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ С ИНТЕГРАЛЬНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

Давления гидростатических испытаний труб с гладкими концами, обсадных труб «экстрем-лайн» и насосно-компрессорных труб с интегральными соединениями рассчитываются по формуле 8.1.1, кроме группы A25 трубопроводных труб, групп А и В трубопроводных труб наружным диаметром менее 23/8 дюйма, трубопроводных труб с нарезанной резьбой и навинченными муфтами диаметром 65/8 дюйма и менее, давления испытаний для которых определяются произвольно.

$$P = \frac{2St}{D} \quad 8.1.1$$

где:

P = давление гидростатических испытаний, округленное до ближайших 10 psi для трубопроводных труб и до ближайших 100 psi для обсадных и насосно-компрессорных труб, psi

S = напряжение волокон в процентах от указанного предела текучести согласно табл. 3.1.1, psi

t = установленная толщина стенки, дюймы

D = установленный наружный диаметр, дюймы

ТАБЛИЦА 8.1.1

КОЭФФИЦИЕНТЫ ФОРМУЛ ДЛЯ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ДАВЛЕНИЙ

1	2	3	4	5	6	7
		НАПРЯЖЕНИЕ ВОЛОКОН В ПРОЦЕНТАХ ОТ УКАЗАННОГО ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ			МАКСИМАЛЬНОЕ* ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ, PSI	
		СТАНДАРТ НОЕ ИСПЫТАТЕ ЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ	АЛЬТЕРНАТ ИВНОЕ ИСПЫТАТЕ ЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ	ОКРУГЛЕ- НИЕ	СТАН- ДАРТНОЕ	АЛЬТЕРНА- ТИВНОЕ
ГРУППА	РАЗМЕР	ДАВЛЕНИЕ	ДАВЛЕНИЕ			
А и В	2 ³ / ₈ - 3 ¹ / ₂	60	75	10	2500	2500
"	Более 3 ¹ / ₂	60	75	10	2800	2800
Группы Х	4 1/2 и менее	60	75	10	3000	3000
"	65/8 и 85/8	75	--	10	3000	--
"	10 ³ / ₄ - 18	85	--	10	3000	--
"	20 и более	90	--	10	3000	--
Н140, J55, К55	9 ⁵ / ₈ и менее	80	80	100	3000	10000
"	10 ³ / ₄ и более	60	80	100	3000	10000
L-80 и N-80	Все размеры	80	--	100	10000**	--
C75	"	80	--	100	10000**	--
C90	"	80	--	100	10000**	--
C95	"	80	--	100	10000**	--
P105	"	80	80	100	10000**	***
P110	"	80	80	100	10000**	***
Q125	"	80	80	100	10000**	***

* Максимальные испытательные давления допустимы в соответствии с соглашением между покупателем и изготовителем.

-- Альтернативное испытательное давление отсутствует.

** Трубы с гладкими концами испытываются максимальным давлением 3000. psi, если более высокое давление не оговорено покупателем и изготовителем.

*** Максимальное испытательное давление отсутствует, за исключением случаев, когда трубы с гладкими концами испытываются максимальным давлением 3000. psi, если более высокое давление не

оговорено покупателем и изготовителем.

8.2 ГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ТРУБ С НАРЕЗАННОЙ РЕЗЬБОЙ И НАВИНЧЕННЫМИ МУФТАМИ

Давления гидростатических испытаний труб с нарезанной резьбой и навинченными муфтами - те же, что и для труб с гладкими концами кроме случаев, когда требуется более низкое давление, чтобы избежать утечек из-за недостаточного внутреннего давления текучести соединения или недостаточной внутренней герметичности в плоскости E1 или E7. В этом случае для расчета используются формулы 8.2.1.1 и 8.2.2.1 соответственно.

8.2.1 ВНУТРЕННЕЕ ДАВЛЕНИЕ ТЕКУЧЕСТИ ДЛЯ СОЕДИНЕНИЙ

Внутреннее давление текучести для соединений рассчитывается по формуле 8.2.1.1 и округляется до ближайших 100 psi.

$$P = 0.8Y_c \left(\frac{W - d_1}{W} \right) \quad 8.2.1.1$$

где:

Y_c = минимальный предел текучести соединения, psi

W = номинальный наружный диаметр соединения, дюймы

d_1 = диаметр в основании резьбы муфты на свинченном конце трубы при машинном свинчивании, округленный до ближайшей 0.001 дюйма

Для насосно-компрессорных и обсадных труб с резьбой закругленного профиля

$$d_1 = E_1 - (L_1 + A) T + H - 2S_m \quad 8.2.1.2$$

Для трубопроводных труб

$$d_1 = E_1 - (L_1 + A) T + H - 2f_m \quad 8.2.1.3$$

где:

E_1 = средний диаметр в плоскости свинчивания от руки, дюймы

L_1 = длина от конца грубы до плоскости свинчивания от руки, дюймы

A = натяг при свинчивании от руки, дюймы

T = конусность

= 0.0625 дюйм/дюйм

H = высота профиля резьбы, дюймы

= 0.0321 для 27 TPI

= 0.0481 для 18 TPI

= 0.0619 для 14 TPI

= 0.0753 для 1 1/2 TPI

= 0.08660 для 10 TPI

= 0.10825 для 8 TPI

S_m = 0.014 дюйма для 10 TPI

= 0.017 дюйма для 8 TPI

f_m = 0.0012 для 27 TPI

= 0.0018 для 18 TPI

= 0.0024 для 14 TPI

= 0.0029 для 1 1/2 TPI

= 0.0041 для 8 TPI

Для обсадных труб с резьбой «баттрес»

$d_1 = E_7 - (L_1 + I) T + 0.062$

8.2.1.4

где:

E_7 = средний диаметр резьбы в основной плоскости, дюймы

L_7 = длина резьбы с полным профилем, дюймы

	Размер дюймы		
	4 ¹ / ₂	5-13 ³ / ₈	Более 13 ³ / ₈
I =	0.400	0.500	0.375
T =	0.0625	0.0625	0.0833

Формула 8.2.1.1 базируется на прочности соединения по гидростатическому давлению, создающему напряжение величиной 80 процентов от минимального текучести в основании витков резьбы при машинном свинчивании. Основание этой формулы было принято на Конференции по стандартизации 1968г. как отражено в Circ. PS 1360.

8.2.2 ГЕРМЕТИЧНОСТЬ ПО ВНУТРЕННЕМУ ДАВЛЕНИЮ В ПЛОСКОСТИ E1 ИЛИ E7

Герметичность по внутреннему давлению в плоскости E1 или E7 рассчитывается по формуле 8.2.2.1 и округляется до ближайших 100 psi. Формула 8.2.2.1 основана на уплотнении в плоскости E1 для обсадных труб с резьбой закругленного профиля и в плоскости E7 для резьбы «баттрес», где соединение наиболее слабое и герметичность по внутреннему давлению минимальна. Формула 8.2.2.1 также основана на герметичности по внутреннему давлению, являющемуся равным давлению натяга между резьбами свинченных трубы и муфты, с напряжениями в упругом диапазоне.

$$P = ETN_p (W^2 - E_s^2) / 2E_s W^2 \quad 8.2.2.1$$

где:

P = внутреннее давление, при котором обеспечивается герметичность, фунты на квадратный дюйм, округленное к ближайшим 10 psi

$$E = 30 \times 10^6 \text{ (модуль упругости)}$$

T = конусность резьбы, дюйм/дюйм

= 0.0625 для резьбы закругленного профиля обсадных труб

= 0.0625 для резьбы «Баттрес» обсадных труб 133/8 дюймов и меньше

= 0.0833 для резьбы «Баттрес» обсадных труб 16 дюймов и больше

N = число ниток резьбы, находящихся в зацеплении

= A для резьбы закругленного профиля обсадных труб (Std 5B)

= $A + 1\frac{1}{2}$ для резьбы «Баттрес» обсадных труб 133/8 дюймов и меньше

= $A + 1$ для резьбы «Баттрес» обсадных труб 16 дюймов и больше

p = шаг резьбы, дюймы

= 0.125 для резьбы закругленного профиля обсадных труб

= 0.200 для резьбы «Баттрес» обсадных труб

W = наружный диаметр соединения, дюймы

E = средний диаметр в плоскости уплотнения, дюймы

= E_1 для резьбы закругленного профиля, дюймы

= E_7 для резьбы «Баттрес» обсадных труб, дюймы

РАЗДЕЛ 9

КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ ПРИ СВИНЧИВАНИИ

9.1 КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ ПРИ СВИНЧИВАНИИ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ И ОБСАДНЫХ ТРУБ С РЕЗЬБОЙ ЗАКРУГЛЕННОГО ПРОФИЛЯ

Значения оптимального крутящего момента, приведенные в API RP5C1 в фунтах на фут были приняты как 1 процент от расчетной прочности на сдвигание соединений насосно-компрессорных и обсадных

труб с резьбой закругленного профиля, определенной по формуле 4.1.2 и округленной до ближайших 10 фунтов на фут. Минимальный крутящий момент принят как 75 процентов и максимальный как 125 процентов от оптимального крутящего момента, с округлением до ближайших 10 фунтов на фут.

При исследовании крутящих моментов Рабочая группа RP5C1 обнаружила, что формула прочности на страгивание соединений с резьбой закругленного профиля API, содержит несколько переменных, которые могут влиять на величину крутящего момента. Рабочая группа исследовала возможность использования вариантов формулы прочности соединения для получения значений крутящих моментов. Было доказано, что значения крутящих моментов, полученные путем деления расчетного значения страгивания на 100 в основном сопоставимы с величинами крутящих моментов, полученными при промышленных испытаниях с применением модифицированной резьбовой смазки API.

Этот метод расчета крутящего момента при свинчивании был принят в июне 1970г на Конференции по стандартизации как отражено в Circ. PS 1398. Впоследствии значения оптимального и максимального крутящего момента были уменьшены для обсадных труб большого диаметра (16-20 дюймов). Значения минимального крутящего момента были заменены на величины, равные одному проценту от прочности на страгивание. Это было принято в июне 1980г. на Конференции по стандартизации, как отражено в Circ. PS 1637

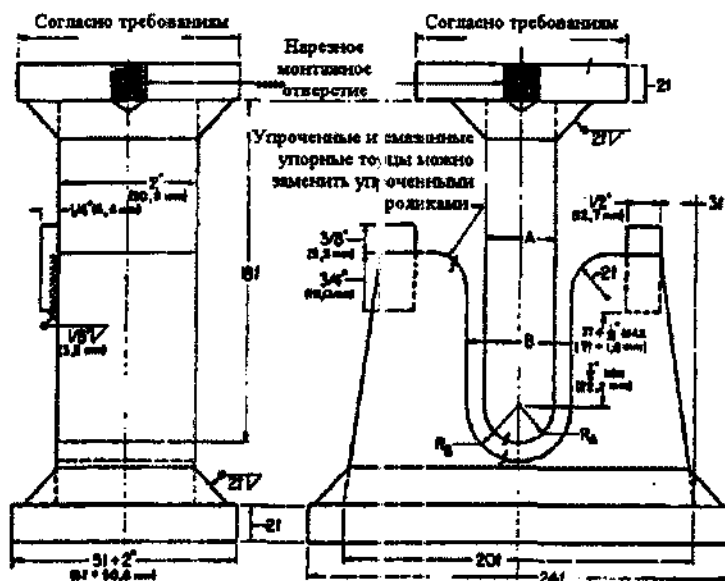
РАЗДЕЛ 10

ИСПЫТАНИЯ НА ЗАГИБ С ОПРАВКОЙ

10.1 ИСПЫТАНИЯ НА ЗАГИБ С ОПРАВКОЙ ЭЛЕКТРОСВАРНЫХ (ПОД СЛОЕМ ФЛЮСА) ТРУБОПРОВОДНЫХ ТРУБ

Размеры кондуктора для испытаний на загиб с оправкой электросварных трубопроводных труб рассчитываются по формуле 10.1.1 в соответствии с рис.10.1.

$$A = \frac{1.15(D - 2t)}{e \frac{D}{t} - 2e - 1} - t \quad 10.1.1$$



Где:

1.15 = пик - фактор

D = установленный наружный диаметр, дюймы

t = установленная толщина стенки, дюймы

e = деформация, дюйм/дюйм

= 0.1675 для Группы А

= 0.1375 для Группы В

= 0.1375 для Группы X42

= 0.1325 для Группы X46

= 0.1275 для Группы X52

= 0.1200 для Группы X56

= 0.1125 для Группы X60

= 0.1100 для Группы X65

= 0.1025 для Группы X70

= 0.0900 для Группы X80

 $R_A = \frac{1}{2}A$ $B = A + 2t + 1/8$ дюйма $R_B = \frac{1}{2}B$

t - установленная толщина стенки трубы

Рис. 10.1. Зажимное приспособление для испытания на загиб с оправкой

Значения для e получены по формуле 10.1.2, приведенной в пункте 4а Проспекта PS-1340 Конференции по стандартизации 1967г. кроме группы X70, значения для которой были приняты в июне 1972г. на Конференции по стандартизации и приведены в Проспекте PS-1440. Значения, рассчитанные по формуле 10.1.2 округляются до ближайших величин, кратных 0.0025, за исключением значений для групп X52 и X56, которые округляются до следующей большей величины, кратной 0.0025.

$$e = 3000 \frac{(0.64)^{0.2}}{U_p^{0.9}} \quad 10.1.2$$

где:

e = деформация, дюйм/дюйм

U_p = минимальный предел прочности трубы, psi

Значения размера A в Приложении F Spec 5L рассчитаны по формуле 10.1.1 и округлены до следующей более низкой стандартной величины, из приведенных ниже:

дюймы	дюймы	дюймы	дюймы
1.0	2.2	5.2	12.6
1.2	2.6	6.2	15.1
1.4	3.1	7.4	18.1
1.6	3.7	8.8	21.7
1.9	4.4	10.5	26.0
			31.2

Вывод формулы для испытаний на загиб с оправкой приведен в работе W. H. Thomas, A. B. Wilder и W. O. Clinedinst "Разработка требований для поперечной вязкости сварных труб", представленной в июне 1967г. на Конференции по стандартизации.

РАЗДЕЛ 11

ПЕРЕВОД В МЕТРИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ

11.1 МЕТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ВЫЧИСЛЕНИЯ

Метрические единицы в спецификациях API показываются курсивом и в тексте и большинстве таблиц приводятся в круглых скобках. Наружные диаметры и толщины стенок преобразуются из размеров в дюймах. Преобразованные значения округляются до ближайшей 0.1мм для диаметров менее 18 дюймов и до ближайшего 1.0мм для диаметров 18 дюймов и более. Толщины стенок округляются до ближайшей 0.1мм.

Метрические внутренние диаметры и диаметры шаблонов, рассчитанные по метрическим наружным диаметрам и толщинам стенок, округляются до ближайшего 1.0мм.

Метрические веса гладких концов рассчитываются по метрическим наружным диаметрам и толщинам стенок по следующей формуле и округляются до ближайшей 0.01кг/м.

$$W_{pe} = 0.02466 (D - t)t$$

Метрические давления гидростатических испытаний рассчитываются по метрическим наружным диаметрам и толщинам стенок и метрических напряжений волокон, как показано в Разделе Гидростатические испытания.

При преобразованиях используются следующие коэффициенты:

1 дюйм (in.) = 25.4 миллиметров (mm) точно

1 квадратный дюйм (sq. in.) = 645.16 квадратных миллиметров (mm²)

точно

1 фут (ft) = 0.3048 метра (m) точно

1 фунт (lb) = 0.45359 килограмма (kg)

1 фунт на фут (lb/ft) = 1.4882 килограмма на метр (kg/m)

1 фунт на квадратный дюйм (psi) = 6.895 килопаскаля (kPa) для
давления

= 0.006895 мегапаскаля (MPa) для напряжения

1 фут-фунт (ft - lb) = 1.3558 Джоуля (J) для энергии удара

= 1.3558 Ньютон - метра (N*m) для момента

Для преобразования градусов по Фаренгейту (°F) в градусы по
Цельсию (°C) используется следующая формула: °C = 5/9 (°F-32)

11.2 ОКРУГЛЕНИЕ МЕТРИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ

Метрические единицы преобразовываются или рассчитываются в
соответствии с п.11.1, и с точностью в соответствии с табл.11.2.

ТАБЛИЦА 11.2

ТОЧНОСТЬ ПРИВОДИМЫХ МЕТРИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ

1	2	3
ПАРАМЕТР	ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЙ	КОЛИЧЕСТВО ЗНАКОВ ПОСЛЕ ЗАПЯТОЙ
Диаметр	мм	1
Толщина и дефекты	мм	1
Длина высадки и муфты	мм	1
Длина	м	2
Вес	кг	2
Вес на фут	кг/м	2
Напряжение и предел прочности	МПа	0
Давление	кПа x 100	0
Загиб с оправкой	мм	1
Элементы резьбы	мм	
Наружный диаметр	мм	1
Средний диаметр	мм	3
Длина резьбы	мм	2
Высота резьбы	мм	3
Глубина выточки	мм	1
J	мм	1

РАЗДЕЛ 12

ТОЧНОСТЬ ВЫЧИСЛЕНИЙ И ОКРУГЛЕНИЯ

12.1 ТОЧНОСТЬ

При вычислениях характеристик труб достаточно соблюдать точность на два знака выше, чем будет в округленном результате.

12.2 ПРОМЕЖУТОЧНОЕ ОКРУГЛЕНИЕ

В вычислении некоторых характеристик труб требуются промежуточные округления. В инструкциях по вычислению конкретных характеристик трубы отражается, когда требуются такие промежуточные округления. Например, при вычислении прочности соединения «баттрес» площадь поперечного сечения трубы и муфты округляется до третьего знака перед использованием в формуле прочности соединения, и диаметр в основании резьбы округляется до третьего знака перед вычислением площади поперечного сечения муфты.

12.3 ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ ОКРУГЛЕНИЕ

Ранее при некоторых вычислениях, опускались все цифры, кроме последней, без округления. Такую методику применяли вплоть до 1942г. В течение периода с 1942г. приблизительно до 1968г. использовали методику округления ASA (ANSI). По этой методике последняя сохраняемая цифра не изменяется, когда следующая цифра - меньше 5, и увеличивается на 1, когда следующая цифра больше 5. Когда следующая цифра точно равна 5, а после нее идут нули, то последняя сохраняемая цифра остается неизменной, если она четная, или увеличивается на 1, если она нечетная.

В применяемой в настоящее время методике округления последняя сохраняемая цифра увеличивается на 1, когда следующая цифра равна 5 или больше 5. Когда следующая цифра - меньше 5, последняя сохраняемая

цифра остается неизменной. Этот метод был принят для упрощения компьютерной обработки. Методика программирования для этого метода состоит из прибавления 5 к колонке цифр, следующих после последней сохраняемой, и затем отбрасывания всех цифр после последней сохраняемой цифры.

Заключительные расчетные значения, полученные на различных электронно-вычислительных машинах, могут варьироваться из-за различий в обработке плавающей точки.

БИБЛИОГРАФИЯ

Следующие источники находятся под юрисдикцией Комитета по Стандартизации трубной продукции API и их можно заказать по адресу Отдел публикаций и распространения АНИ, 1220 L Street, NW Washington, DC 20005 (202) 682-8375.

СПЕЦИФИКАЦИИ

Spec 5CT: Спецификация на трубы обсадные и насосно-компрессорные

Распространяется на бесшовные и сварные обсадные и насосно-компрессорные трубы, муфты, переводники и соединения всех групп прочности. Содержит требования к изготовлению, химическому составу, механическим свойствам, методам испытаний, размерам.

ПРИМЕЧАНИЕ. Первая редакция Spec 5CT включает требования на обсадные и насосно-компрессорные трубы, ранее подробно изложенные в замененных технических условиях 5A, 5AC, 5AX и 5AQ.

Spec 5D: Спецификация на бурильные трубы

Распространяется на бурильные трубы всех групп прочности. Содержит требования к изготовлению, химическому составу, механическим свойствам, методам испытаний, размерам.

ПРИМЕЧАНИЕ. Первая редакция Spec 5D включает требования на бурильные трубы, ранее подробно изложенные в замененных технических условиях 5A и 5AX.

Std 5B: Спецификация на резьбонарезание, калибровку и проверку резьб обсадных, насосно-компрессорных и трубопроводных труб

Содержит требования к размерам резьбы и резьбовым калибрам, контролю резьбы калибрами, документацию и порядок аттестации калибров, технические требования к средствам и методам контроля резьбы закругленного профиля обсадных и насосно-компрессорных труб, соединений обсадных труб "экстрем-лайн" и труб для трубопроводов.

Spec 5L: Спецификация на трубопроводные трубы.

Распространяется на бесшовные и сварные трубы для трубопроводов различных групп прочности и включает трубы с резьбой со стандартной и увеличенной толщинами стенок, а также трубы с гладкими концами со стандартной, нормальной толщинами стенок, специальные тонкостенные трубы, трубы с увеличенной и вдвое увеличенной толщиной стенки.

ПРИМЕЧАНИЕ. Тридцать третья редакция Spec 5L

включает спирально-шовные трубы и группы с X42 по X70, ранее изложенные в Спец 5LS и 5LX.

Спец 5LC: Спецификация на трубопроводные трубы из коррозионностойких сплавов.

Распространяется на бесшовные, центробежно-литые и сварные трубы для трубопроводов из сплавов с улучшенными коррозионными свойствами. Обычно трубы изготавливают с фаской. Если требуются гладкие концы без фаски или специальная отделка концов, то производится согласование изготовителя с потребителем. Включены номинальные размеры труб от 1" до 42" и марки стали LC30-1812, LC52-1200, LC65-2205, LC65-2506 и LC30-2242

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

RP 5A5: Практические рекомендации по промышленному контролю новых обсадных, насосно-компрессорных труб и буровых труб с гладкими концами.

Содержит единую программу промышленного контроля трубной продукции.

RP 5B1: Практические рекомендации по контролю резьбы обсадных, насосно-компрессорных труб и труб для трубопроводов.

Содержит правила и инструкции по правильному использованию инструментов и оборудования при

контроле резьбы труб.

RP 5C1: **Практические рекомендации по обслуживанию и эксплуатации обсадных и насосно-компрессорных труб.**

Содержат рекомендации по эксплуатации, транспортировке, хранению, обслуживанию и ремонту обсадных и насосно-компрессорных труб.

RP 5L1: **Практические рекомендации по транспортировке труб для трубопроводов железнодорожным транспортом.**

Содержат рекомендуемую процедуру погрузки труб для трубопроводов в железнодорожные вагоны

RP 5L2: **Практические рекомендации по внутреннему покрытию труб для перекачки газа.**

Содержат материалы для покрытий, практическое применение и контроль внутренних покрытий новых труб.

RP 5L3: **Практические рекомендации по проведению испытаний образцов труб для трубопроводов на разрыв падающим грузом.**

Содержат рекомендуемый метод испытаний образцов труб для трубопроводов на разрыв падающим грузом для диаметров труб 20" и выше с толщинами стенки 0,75" и менее.

RP 5L5: **Практические рекомендации по морской транспортировке труб для трубопроводов.**

Содержат рекомендации по транспортировке труб для трубопроводов диаметром 10_{3/4} " и более морскими судами.

RP 5L6: Практические рекомендации по транспортировке труб для трубопроводов по внутренним водным путям.

Содержат рекомендации по транспортировке труб для трубопроводов диаметром 10_{3/4} " и более по внутренним водным путям.

RP 5L7: Практические рекомендации по нанесению внутреннего покрытия на трубы для трубопроводов без предварительной грунтовки труб

Содержат рекомендации по материалам покрытий, применению, испытанию и контролю внутренних покрытий на неиспользованных трубах перед их монтажом.

Бюллетени

Bul 5A2: Бюллетень. Резьбовые смазки.

Содержит требования к двум типам резьбовой смазки, применяемой для трубных изделий в промышленных условиях и порядок проверки ее качества.

Bul 5C2: Бюллетень. Эксплуатационные характеристики обсадных и насосно-компрессорных труб.

Содержат значения сминающего и внутреннего рабочего давлений для обсадных и насосно-

компрессорных труб, прочностные характеристики их соединений и минимально допустимые нагрузки для бурильных труб.

Bul 5C3: Бюллетень. Формулы и расчеты для определения характеристик обсадных, насосно-компрессорных бурильных и трубопроводных труб.

Приводятся формулы для расчета различных характеристик труб, а также дополнительная информация по выводам формул и их применению.

Bul 5C4: Бюллетень. Прочность соединения обсадных труб с резьбой закругленного профиля при совместном действии внутреннего давления и изгибающей нагрузки.

Рассматриваются условия прочности соединения обсадных труб с резьбой закругленного профиля, находящегося под совместным действием внутреннего давления и изгибающей нагрузки.

Bul 5T1: Бюллетень. Терминология по дефектам.

Содержит термины на английском, французском, немецком, итальянском, японском и испанском языках по дефектам труб.