ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК»

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК»
_____ М.И. Гориловский
«01» 09 2010 г.

СТО 73011750-008–2010

ПРАВИЛА ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ, ПРОКЛАДЫВАЕМЫХ НА СЕЙСМОАКТИВНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Дата введения: «01» 09 2010 г.

СОГЛАСОВАНО

Директор
ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко
_____ д.т.н. И.И. Ведяков
«01» 09 2010 г.

Заведующий лабораторией
ЦИСС
_____ к.т.н. А.В. Грановский
«01» 09 2010 г.

РАЗРАБОТАНО

Технический директор
ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК»
_____ Е.В. Бутринов
«01» 09 2010 г.

Директор по научной работе
ЗАО «Завод АНД ГАЗТРУБПЛАСТ»
_____ В.В. Коврига
«01» 09 2010 г.

Инженер
ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК»
_____ М.Ю. Михайлов
«01» 09 2010 г.

Москва 2010 г.

Содержание

Предисловие **4**

Введение **5**

1. Общие положения **6**

1.1. Область применения 6

1.2. Требования эксплуатационной надежности 6

1.3. Требования безопасности 6

1.4. Термины и определения 6

2. Общие принципы и критерии проектирования **9**

2.1. Общее 9

2.1.1. Информация, связанная с трубопроводом 9

2.1.2. Информация об участке строительства трубопровода 9

2.1.3. Информация о сейсмической опасности 9

2.2. Классификация трубопроводов 10

2.3. Классификация грунтов 11

2.4. Классификация сейсмических опасностей 13

2.5. Проектная сейсмическая опасность 13

2.5.1. Проектная основная сейсмическая опасность 13

2.5.2. Проектная сейсмическая опасность 14

2.5.3. Коэффициент распространения грунта 14

2.5.4. ПУГ согласно сейсмическим зонам 15

2.5.5. Определение ПСГ от ПУГ 15

2.6. Основной анализ сейсмического проектирования 16

2.7. Методики анализа 16

2.8. Факторы, воздействующие на подземные трубопроводы в сейсмических районах, и допустимые деформации трубопровода 18

2.8.1. Определение эксплуатационных деформаций трубопровода 18

2.8.2. Допустимые деформации для непрерывных трубопроводов 19

2.9. Анализ взаимодействия трубопровода с грунтом 20

3. Условия проектирования для остаточного смещения грунта **25**

3.1. Продольное остаточное смещение грунта 26

3.1.1. Непрерывный трубопровод 26

3.1.2. Сегментированный трубопровод 27

3.2. Поперечное остаточное смещение грунта 28

3.2.1. Непрерывный трубопровод 29
3.2.2. Сегментированный трубопровод 30
3.3. Оползень 30
4. Условия проектирования для плавучести из-за разжижения 31
4.1. Продольное остаточное смещение грунта 31
4.2. Непрерывный трубопровод 31
4.3. Сегментированный трубопровод 32
5. Условия проектирования при пересечении разломов 34
5.1. Определение величины смещения разлома 34
5.2. Непрерывный трубопровод 35
5.3. Сегментированный трубопровод 38
5.4. Профиль траншеи трубопровода в зоне разлома 39
6. Условия проектирования при сейсмическом распространении волны 40
6.1. Проектное движение грунта 40
6.2. Непрерывный трубопровод 41
6.3. Сегментированный трубопровод 42

Приложение А (справочное) Пример 1 – Вычисление эксплуатационной деформации непрерывного полиэтиленового трубопровода Корсис Плюс 44

Приложение Б (справочное) Пример 2 – Вычисление пружин грунта, представляющих взаимодействие трубопровода с грунтом 48

Приложение В (справочное) Пример 3 – Оценка сейсмической безопасности непрерывного полиэтиленового трубопровода Корсис Плюс 56

Приложение Г (справочное) Пример 4 – Вычисление эксплуатационной деформации непрерывного полиэтиленового водопровода 64

Приложение Д (справочное) Пример 5 – Вычисление пружин грунта, представляющих взаимодействие непрерывного полиэтиленового водопропровода с грунтом 67

Приложение Е (справочное) Пример 6 – Оценка сейсмической безопасности непрерывного полиэтиленового водопровода 75

Приложение И (справочное) Пример 7 - Расчет сейсмической безопасности трубопровода из труб Корсис (сегментированный трубопровод) 83

Библиография 91

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002г. №184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения стандартов организации в Российской Федерации – ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения»

Сведения о стандарте:

1 Разработан ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК» и распространяется на предприятия и организации ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК», ООО «ПОЛИПЛАСТИК Центр».

2 Настоящий стандарт организации разработан в помощь проектным и монтажным организациям, по канализационным трубопроводам и устанавливает методы расчётов трубопроводов из полиэтилена – водопроводов и канализации, применяемых на сейсмоактивных территориях с учётом многих сейсмических опасностей. Определенные сейсмические опасности (например, цунами, архитектурный подъем, понижение и т. д.) не указаны в настоящем документе, и для них должны быть выполнены специальные расчёты, приведённые в других документах.

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК»

ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Настоящий стандарт организации не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен без разрешения ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК»

Введение

Проектирование трубопроводов, прокладываемых на сейсмически активных территориях особенно целесообразно применять к полиэтиленовым трубопроводам, проявляющим повышенную устойчивость к факторам сейсмической активности. Было замечено, что общая оценка работы трубопроводов из полиэтилена в прошлых землетрясениях была достаточно высокой.

1. За основу данного стандарта организации взят стандарт *IITK-GSDMA Guidelines for seismic design of buried pipelines: provisions with commentary and explanatory examples*, National Information Center of Earthquake Engineering, Kanpur, India.

ГРУППА ПОЛИПАСТИК
POLY PLASTIC

1 Общие положения

1.1 Область применения

Проектирование трубопроводов на сейсмически активных территориях, согласно этому документу, выполняется для подземных канализационных трубопроводов: Корсис, Корсис Плюс, Корсис Про, Корсис-Арм и напорных подземных полиэтиленовых трубопроводов (ГОСТ 18599)

1.2 Требования эксплуатационной надежности

Трубопровод должна быть спроектирована и построена таким образом, чтобы быть в состоянии сохранять способность подачи в максимально возможной степени, даже со значительным местным повреждением при высокой интенсивности землетрясения.

1.3 Требования безопасности

Местоположение трубопровода, размер населения, которое подвержено воздействию разрыва трубопровода, и экологический ущерб из-за разрыва трубопровода будут рассмотрены в установлении уровня приемлемого риска, проектируя трубопроводную систему.

1.4 Термины и определения

1.4.1 Очевидная скорость распространения волны ($C_{очев}$):

Скорость распространения сейсмической волны относительно поверхности грунта.

1.4.2 Плавучесть из-за разжижения: Грунт разжижается и ведет себя, как густая жидкость, а трубопровод, уложенный в него, всплывает. Это относится и к плавучести из-за разжижения. Этот тип условий главным образом возникает при пересечении реки или областей с высоким содержанием воды и песчаным грунтом.

1.4.3 Непрерывный трубопровод

У непрерывного трубопровода есть соединения, обладающие более высокой прочностью и жесткостью по сравнением с сегментированным трубопроводом. Соединения непрерывных трубопроводов часто упоминаются, как защемленное соединение.

1.4.4 Проектное основное землетрясение (ПОЗ)

Проектное основное землетрясение (ПОЗ) колебания грунта для проектирования трубопровода может быть взято, как 10%-ая вероятность возможного превышения интенсивности землетрясения за 50 лет (или, период повторяемости равный 475 года).

1.4.5 Движение разлома: Резкое отличительное движение грунта или породы с обеих сторон разлома.

1.4.6 L-волны: Волны Ляве являются поверхностными сейсмическими волнами, которые вызывают горизонтальное движение грунта из стороны в сторону в горизонтальной плоскости под прямым углом к направлению распространения.

1.4.7 Опасность оползня

Массовые движения грунта, которые могут быть вызваны землетрясением или некоторыми другими причинами.

1.4.8 Латеральное растекание

Латеральное растекание - явление, которое происходит в сыпучем, средней плотности влажном грунте при сейсмическом сотрясении. Грунт теряет свою вязкость во время разжижения, которая в свою очередь приводит к латеральному растеканию разжижаемого грунта и залегающих сверху слоев грунта.

1.4.9 Разжижение

Разжижение - явление, которое происходит в рыхлом, средней плотности песчаном влажном грунтом во время сейсмического сотрясения. Во время разжижения, грунт теряет существенное количество сдвигающей силы и ведет себя, как вязкая жидкость.

1.4.10 Р-волны

Р-волны (первичные волны) являются самыми быстрыми объемными волнами, которые несут энергию через грунт, как продольные волны, движущимися частицами в той же самой линии, что и направление волны. Они могут проходить через все слои.
Эти волны часто упоминаются, как сжимающие или продольные волны.

1.4.11 Пиковое ускорение грунта (ПУГ)

Пиковое ускорение грунта - максимальное ускорение сейсмической волны по поверхности грунта, ожидаемое из-за сейсмического случая. Это относится к горизонтальному движению, если не определено иначе.

1.4.12 Пиковая скорость грунта (ПСГ)

Пиковая скорость грунта - максимальная скорость сейсмической волны на поверхности грунта, ожидаемая из-за сейсмического случая. Это относится к горизонтальному движению, если не определено иначе.

1.4.13 Остаточное смещение грунта (ОСГ)

Остаточное смещение грунта - крупномасштабное невосстанавливаемое смещение грунта из-за оползня, разлома или разжижения, вызываемое латеральное растекание.

1.4.14 Скорость фазы

Скорость, в которой переходное вертикальное возмущение на данной частоте, происходит на поверхности грунта, распространяется через поверхность среды.

1.4.15 R-волны

R-волны (волны Рэлея) являются поверхностными волнами, которые вызываются частицами грунта, колеблющимися в эллиптическом направлении в вертикальной плоскости в том же направлении, как и сама волна.

1.4.16 S-волны

S-волны (сдвигающие волны) являются объемными волнами, которые вызываются материальными частицами, колеблющимися под прямым углом к направлению передачи энергии. S-волны не могут проходить через жидкости, такие, как вода или жидкая горная порода.

1.4.17 Сегментированный трубопровод

У сегментированного трубопровода есть соединения, обладающие более низкой силой и жесткостью относительно непрерывного трубопровода. Соединения сегментированных трубопроводов упоминаются, как незащемленные соединения.

1.4.18 Мертвая опора

Мертвая опора сделана в соединениях трубопровода, чтобы сопротивляться неуравновешенной силе, развивающейся из-за изгибов трубопровода или изменений в его размерах. Это также предотвращает разделение труб или движения труб в соединениях.

1.5 Сокращения

Сокращения, которые используются в данном документе:

API – Американский Нефтяной Институт

ASCE – Американское Общество Гражданских Инженеров

ПОЗ – Проектное Основное Землетрясение

IBC – Международные Строительные Нормы и Правила

JSCE - Японское Общество Гражданских Инженеров

ПУГ – пиковое ускорение грунта

$ПУГ_r$ – пиковое ускорение основного каменистого слоя

ПСГ – пиковая скорость грунта

$ПСГ_r$ – пиковая скорость грунта в основном каменистом слое

2 Общие принципы и критерии проектирования

2.1 Общее

После функционального (несейсмического) проектирования, трубопровод должен быть проверен для всех возможных сейсмических опасностей, с которыми он может столкнуться. Безопасность трубопровода должна быть проверена для сейсмических нагрузок одновременно с операционными нагрузками (давление, температура, начальный изгиб, и т. д.). Реакция трубопровода и критерии проектирования для немногих общих сейсмических опасностей определены ниже. Для этого необходима следующая техническая информация

2.1.1 Информация, связанная с трубопроводом

а) геометрия трубы (диаметр, толщина);

б) тип соединения труб

в) напряженно-деформированное состояние материала трубы;

г) функциональные и эксплуатационные требования, предъявляемые к трубопроводу, после землетрясения;

д) наружное покрытие трубы;

е) операционное давление в трубе;

ж) температура укладки и эксплуатации;

з) ориентация трубопровода (план, профиль, местоположение фитингов и т.д.);

и) минимальная предельная деформация для данных трубопроводов.

2.1.2 Информация об участке строительства трубопровода

а) глубина укладки трубопровода;

б) основные свойства грунта (удельный вес, сила сцепления, угол трения между трубой и грунтом);

в) свойства засыпанного грунта;

г) наличие грунтовых вод и глубина их прохождения.

2.1.3 Информация о сейсмической опасности

а) ожидаемая величина сейсмического колебания грунта на участке;

б) ожидаемая величина остаточного смещения грунта (ОСГ) и ее пространственное распределение;

в) длина трубопровода, подверженная воздействию ОСГ;

г) местоположение активных разломов; ожидаемая магнитуда, смещение разлома, и ориентация трубопровода относительно направления движения разлома.

2.2 Классификация трубопроводов

Трубопроводы классифицируются на 4 группы согласно их функциональным требованиям следующим образом:

Класс I: Весьма существенные водопроводы и канализационные трубопроводы, которые должны оставаться в функциональном состоянии во время и после проектного землетрясения. В случае повреждения или разрушения трубопроводов, относящихся к I классу важности, возможны многочисленные человеческие жертвы и причинен огромный вред окружающей среде.

К данному классу относятся: непрерывные водопроводы, диаметром (1000-1200 мм), канализационные непрерывные трубопроводы Корсис Плюс, диаметром (1200-2000мм), Корсис-Арм, диаметром (800-2400мм), предназначенные для отведения канализационных стоков и ливневой канализации.

Класс II: Ответственные водопроводы, служащие большому сообществу, в случае повреждения или разрушения которых оказывается существенное воздействие на экономику и человеческие жизни.

К данному классу относятся: непрерывные водопроводы, диаметром (500-1000 мм), канализационные сегментированные трубопроводы Корсис и Корсис Про, диаметром (630-1200мм), предназначенные для отведения канализационных стоков и ливневой канализации.

Класс III: Большинство сегментированных канализационных трубопроводов Корсис и Корсис Про, диаметром (110-630мм), предназначенных для отведения канализациионых стоков, большинство водопроводов для общего использования (50-450 мм).

Класс IV: Трубопроводы, которые имеют низкую или небольшую важность для людей в случае повреждения, и, которые не требуют быстрого ремонта после сейсмического случая. К данному классу относятся сегментированные канализационные трубопроводы Корсис и Корсис Про, диаметром (110-630мм), предназначенных для ливневой канализации.

Классы трубопроводов также определяются законадательством, в зависимости от степени важности территории на которой проложены трубопроводы

2.3 Классификация грунтов

Грунт на участке в верхних 30 м. классифицируется согласно таблице 2.3, относительно скорости сдвигающей волны. Однако, во многих случаях, сдвигающая скорость волны грунта недоступна, приемлемые определения (например, сдвиговая прочность неосушенного грунта, стандартное сопротивление проницаемости) также включены в таблицу 2.3 для классификации грунта.

Таблица 2.3: Классификация грунта на участке.

Класс грунта	Тип грунта	Скорость сдвигающей волны (V_s), м/с	Сдвиговая прочность неосушенного грунта (S_u), (кН/м^2)	Пенетрация (N), Н
A	Крепкая порода	$V_s > 1500$	-	-
B	Каменистый	$760 < V_s < 1500$	-	-
C	Очень плотный	$360 < V_s < 760$	$S_u > 98$	$N > 50$
D	Плотный или жесткий	$180 < V_s < 360$	$49 < S_u < 98$	$15 < N < 50$
E	Рыхлый и сыпучий	$V_s < 180$	$S_u < 49$	$N < 15$
	Мягкий с PI*>10 и с естественным влагосодержанием ≥ 40 %		$S_u < 24$	
F**	Уязвимый для потенциального разрушения при сейсмической нагрузке, например,разжижаемый грунт, слабоцементируемый). Торф или органические глины (H>3 м, где H – толщина грунта), пластичные глины (H>7,5), плотные глины (H>35 м)	-	-	-

*PI - индекс пластичности грунта;

** - грунт требует специального исследования.

Примечание: Когда необходимые характеристики грунта не доступны, чтобы определить класс участка, то необходимо применять класс D грунта. Класс грунта *E* или *F* не должны использоваться, если не установлено иное по геотехническим исследованиям или разрешения властью, имеющей юрисдикцию.

2.3.1

Когда верхние 30 м. слоистого грунта содержат отчетливо различные слои, тогда грунт на участке может быть классифицирован согласно усредненным значениям V_s или S_u, или N, как определено дальше.

2.3.1.1

Усредненная скорость сдвигающей волны для слоистого грунта может быть вычислена по формуле (2.1):

$$\overline{V_s} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{V_{si}}} \text{ (м/с)}, \qquad (2.1)$$

где

$\overline{V_s}$ – усредненная скорость сдвигающей волны для верхних 30 м. грунта;

n – количество разнородных слоев верхних 30 м грунта;

d_i – толщина i^{го} слоя в верхних 30 м грунта;

V_{si} – скорость сдвигающей волны в i^{ом} слое.

2.3.1.2

Усредненная сдвиговая прочность неосушенного слоистого грунта рассчитывается по формуле (2.2):

$$\overline{S_u} = \frac{d_c}{\sum_{i=1}^{k} \frac{d_{ci}}{S_{ui}}} \qquad (2.2)$$

где

$\overline{S_u}$ – усредненная сдвиговая прочность неосушенных верхних 30 м грунта;

k – количество несвязанных слоев грунта в верхних 30 м грунта;

d_c – полная толщина связных слоев грунта в верхних 30 м грунта;

d_{ci} – толщина i^{го} слоя грунта между верхними 30 м грунта;

S_{ui} – сдвиговая прочность неосушенного грунта в i^{х} связанных слоях.

2.3.1.3

Усредненное стандартное сопротивление проницаемости для слоистого грунта определяется по формуле (2.3):

$$\overline{N} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{N_i}} \qquad (2.3)$$

где

$\overline{N}$ – стандартное сопротивление проницаемости для верхних 30 м грунта

n – количество слоев в верхних 30 м грунта;

d_i – толщина i^{го} слоя грунта между верхними 30 м грунта;

N_i – стандартное сопротивление проницаемости в i^{й} слой .

2.4 Классификация сейсмических опасностей

Сейсмические опасности, которые непосредственно действуют на трубопровод, могут классифицироваться на:

1) Остаточное смещение грунта, приводящее к его повреждению:

а) Продольное остаточное смещение грунта;

б) Поперечное остаточное смещение грунта;

в) Оползни;

2) Плавучесть, вызванная разжижением;

3) Остаточное смещение грунта, связанное с разломами (резкое ОСГ);

4) Распространение сейсмических волн.

2.5 Проектная сейсмическая опасность

2.5.1 Проектная основная сейсмическая опасность

Проектное основное землетрясение движения грунта (в терминах ускорения и скорости) и смещение грунта (разломы, поперечное и продольное остаточное смещение грунта, оползни, и т. д) соответствуют трубопроводу III класса, и должно быть оценено, основываясь на специфическом анализе опасности землетрясения для 10% вероятности превышения интенсивности землетрясения в течение 50 лет (период повторяемости 475 года). Это соответствует ПУГ (ПСГ) для класса грунта В. В противном случае значение ПУГ (ПСГ) должно быть умножено на коэффициент распространения грунта (I_g), как дано в таблице 2.5.3 (а) или 2.5.3 (б).

2.5.2 Проектная сейсмическая опасность

Проектная сейсмическая опасность для различных классов трубопроводов может быть вычислена путем умножения фактора важности (I_p) (таблица 2.5.2) на проектную основную сейсмическую опасность (пункт 2.5.1).

Таблица 2.5.2: Фактор важности для различных классов трубопроводов (I_p)

Класс трубопровода	Сейсмические волны	Разломы	Продольное и поперечное ОСГ	Оползни
I	1,5	2,3	1,5	2,6
II	1,25	1,5	1,35	1,6
III	1,0	1,0	1,0	1,0
IV	*	*	*	*
* - Сейсмические опасности не учитываются				

2.5.3 Коэффициент распространения грунта

Увеличивающие коэффициенты грунта (I_g), данные в таблице 2.5.3 (а) и 2.5.3 (б), могут использоваться для того, чтобы получить движение грунта в поверхностном слое от основного каменистого слоя.

Таблица 2.5.3 (а): Коэффициент распространения грунта (I_g) для ПСГ для различных классов грунта

Класс грунта	Корректирующий коэффициент (F_v) от $ПСГ_В$				
	$ПСГ_В \leq 0,1$м/с	$ПСГ_В=0,2$м/с	$ПСГ_В=0,3$м/с	$ПСГ_В=0,4$м/с	$ПСГ_В \geq 0,5$м/с
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
D	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
E	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
F	*	*	*	*	*
* - Необходимы определенные геотехнические исследования и динамический анализ возможности площадки для выявления необходимых значений.					

Таблица 2.5.3 (б): Коэффициент распространения грунта (I_g) для ПУГ для различных классов грунта

Класс грунта	Отношение ПУГ/ПУГ$_В$				
	ПУГ$_В$≤0,1g	ПУГ$_В$=0,2g	ПУГ$_В$=0,3g	ПУГ$_В$=0,4g	ПУГ$_В$≥0,5g
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,2	1,5	1,0	1,0
D	1,6	1,4	1,8	1,1	1,0
E	2,5	1,7	2,8	0,9	0,9
F	*	*	*	*	*
* - Необходимы определенные геотехнические исследования и динамический анализ возможности площадки для выявления необходимых значений.					

2.5.4 ПУГ согласно сейсмическим зонам

Когда для участка недоступны определенные данные ускорения грунта, ожидаемое ПУГ в основном каменистом слое может быть приближенно вычислено по таблице 2.5.4 для различных сейсмических зон, определенных в IS 1893-2002 (часть 1).[1]

Таблица 2.5.4: ПУГ согласно сейсмическим зонам

Сейсмическая Зона	II	III	IV	V
ПУГ$_r$	0,1g	0,16g	0,24g	0,36g

2.5.5 Определение ПСГ от ПУГ

Когда известно только ПУГ, может использоваться таблица 2.5.5, чтобы оценить ПСГ на участке.

Таблица 2.5.5: Отношение между ПСГ и ПУГ

Момент магнитуды землетрясения (M_w)		ПСГ (см/с)/ПУГ (g)		
		Расстояние до источника землетрясения		
		0-20 км	20-50 км	50-100 км
Скальный грунт	6,5	66	76	86
	7,5	97	109	97

	8,5	127	140	152
Жесткий грунт	6,5 7,5 8,5	94 140 180	102 127 188	109 155 193
Мягкий грунт	6,5 7,5 8,5	140 208 269	132 165 244	142 201 251

2.6 Основной анализ сейсмического проектирования

Некоторые общие положения сейсмического проектирования, которые должны быть приняты во внимание, проектируя трубопроводную систему, следующие.

2.6.1

В большинстве случаев сейсмические опасности не могут быть определены количественно точно, поэтому необходимо основываться на доступных данных и опыте, чтобы определить надлежащую модель для сейсмической опасности.

2.6.2

При проектировании трубопроводных систем ОСГ оказывает более существенное воздействие, чем воздействие сейсмически распространяющейся волны.

2.6.3

Как правило, предполагается, что участки, расположенные в области эпицентра, более затронуты объемными волнами (P и S волны), тогда как участки на большем расстоянии затронуты поверхностными волнами (R и L волнами).

2.6.4

Для сегментированного трубопровода смещение поглощающей способности соединения должно быть больше, чем ожидаемое движение в соединении от проектного сейсмического действия.

2.7 Методики анализа

Могут использоваться приемлемые методы анализа, описанные в последующих пунктах, чтобы оценить реакцию подземного трубопровода.

2.7.1

Преимущественно, рекомендовано брать поступругое поведение трубопроводов. Однако, критические компоненты трубопровода, которые могут вызвать многочисленные

человеческие жертвы или воздействие на окружающую среду, должны быть спроектированы, чтобы оставаться упругими.

2.7.2

Где требуется детальный анализ для важных трубопроводов, предпочтен нелинейный метод конечных элементов.

2.7.3

Напряжения (или деформации), полученные в результате сейсмического анализа, должны сочетаться линейно с напряжениями (или деформациями) в трубопроводе при эксплуатации (пункт 2.7.1 и 2.7.2).

2.7.4

Когда напряженно-деформированное состояние для материала трубы не определено, оно может быть приближенно найдено из графика напряженно-деформированной кривой, как показано на рисунке 1.

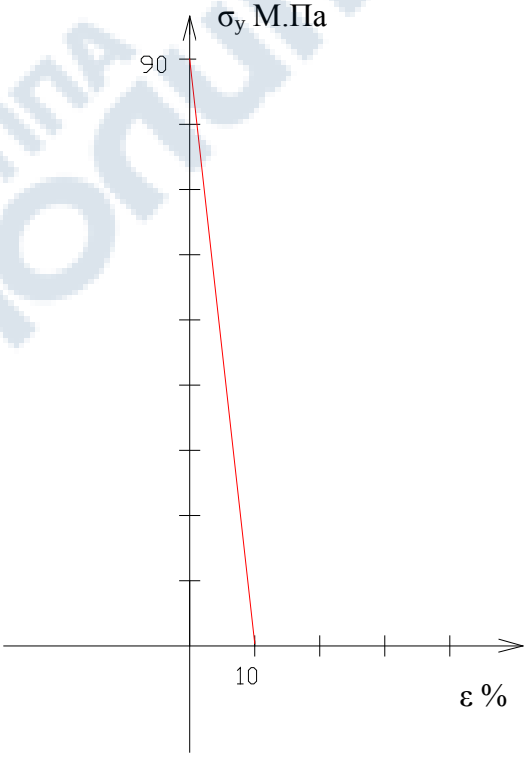


Рисунок 1: График напряженно-деформированной кривой

где

ε - расчетная деформация

σ_y - напряжение, при котором материал переходит в пластическое состояние

2.8 Факторы, воздействующие на подземные трубопроводы в сейсмических районах, и допустимые деформации трубопровода

Основные сейсмические опасности, которые оказывают непосредственное воздействие на трубопровод, связаны либо с воздействием сейсмических волн, либо со смещениями грунта. Смещения грунта могут быть следствием разломов либо оползневых явлений и оказывают более существенное воздействие на трубопроводы, чем сейсмические волны.

При проектировании трубопроводных систем должны быть учтены все возможные сейсмические опасности. Деформация трубопровода не должна превышать допустимых значений, определяемых по формуле (2.4):

$$\varepsilon_{сейсм} + \varepsilon_{эксп} \le \varepsilon_{допуст} \text{ (\%), -добавочное значение} \qquad (2.4)$$

где

$\varepsilon_{допуст}$ – допустимая деформация трубопровода (%);

$\varepsilon_{сейсм}$ – деформация трубопровода из-за сейсмической опасности (%);

$\varepsilon_{эксп}$ – эксплуатационная деформация трубопровода (%), равная $\varepsilon_p + \varepsilon_t + \varepsilon_{нагр}$, где

ε_p – деформация трубопровода от внутреннего давления (%);

ε_t – деформация трубопровода из-за температурного изменения (%);

$\varepsilon_{нагр}$ – деформация трубопровода от внешних нагрузок (%).

В качестве дополнительного добавочного значения смещения в соединении в сегментированных трубопроводах берется величина 0,6 см. (ALA, 2005).

2.8.1 Определение эксплуатационных деформаций трубопровода

Для оценки деформации трубопровода от внутреннего давления (ε_p) используют формулу (2.5):

$$\varepsilon_p = \frac{\sigma_p}{E} \cdot 100\%, \qquad (2.5)$$

где

σ_p - продольное напряжение в трубопроводе от внутреннего давления;

E - модуль упругости материала.

σ_p может быть вычислено по формуле (2.6):

$$\sigma_p = \frac{PD\mu}{2t}, \qquad (2.6)$$

где

P - рабочее давление в трубопроводе;

D -внешний диаметр трубы;

μ - коэффициент Пуассона материала;

t- номинальная толщина стенки трубы.

Для оценки деформации трубопровода из-за температурного изменения (ε_t) используют формулу (2.7):

$$\varepsilon_t = \frac{\sigma_t}{E} \cdot 100\%, \qquad (2.7)$$

где

σ_t - продольное напряжение в трубопроводе из-за температурного изменения;

E - модуль упругости материала.

σ_t может быть вычислено по формуле (2.8):

$$\sigma_t = E\alpha_t (T_2 - T_1), \qquad (2.8)$$

где

E - модуль упругости материала;

α_t - линейный коэффициент теплового расширения материала;

T_1 - температура трубопровода во время монтажа;

T_2 - температура трубопровода во время эксплуатации.

2.8.2 Допустимые деформации для непрерывных трубопроводов

Максимально допустимые деформации для полиэтиленовых подземных непрерывных трубопроводов :

1) Растяжение (деформация от предела текучести): ε =20%

2) Сжатие (деформация при определении кольцевой жесткости): а) Для ОСГ: Начало сплющивания

б) При распространении волны: 50 % ÷100 %

2.9 Анализ взаимодействия трубопровода с грунтом

Свойства смоделированных пружин грунта при взаимодействии трубы с грунтом

2.9.1 Б.1 Осевой пружины грунта

Свойства осевой пружины грунта оценены, рассматривая свойства грунта засыпки траншеи трубопровода. Однако, это является соответствующим только когда ответное движение трубопровода относительно окружающего грунта засыпки траншеи не значительно под влиянием грунта вне траншеи. Рис. Б1 показывает идеализированное представление осевой пружины грунта.

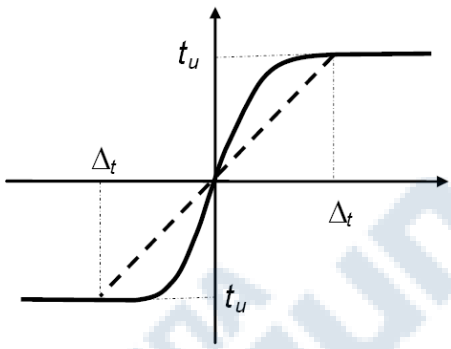


Рисунок Б 1: Идеализированное представление осевой пружины грунта

Максимальное осевое сопротивление грунта, действующее на единицу длины трубопровода (t_u), может быть вычислено по формуле (2.9):

$$t_u = \pi Dc\alpha + \pi DH\overline{\gamma}\frac{1+K_0}{2}\tan\delta' \qquad (2.9)$$

где

D –наружный диаметр трубопровода;

c – коэффициент сцепления грунта траншеи;

$\overline{\gamma}$ - эффективный удельный вес грунта;

α - коэффициент адгезии, вычисляемый по формуле (2.10):

$$\alpha = 0,608 - 0,123c - \frac{0,274}{c^2+1} + \frac{0,695}{c^3+1}\ , \qquad (2.10)$$

где c в кПа/100;

δ' - угол трения между трубой и грунтом, который равен ϕxf ;

ϕ - угол внутреннего трения грунта;

f - коэффициент трения между трубой и грунтом, который зависит от материала трубы (0.43 для полиэтилена);

K_0 – коэффициент бокового давления грунта на трубопровод, который берется в соответствии с таблицей Б 1 или по формуле Джекиса: $K_0 = 1 - \sin\phi$.

Максимальное смещение грунта (Δt) в осевом направлении трубопровода может взято, как:

$$\Delta t = \begin{cases} 3 \text{ мм - для плотного песка;} \\ 5 \text{ мм - для рыхлого песка;} \\ 8 \text{ мм - для жесткой глины;} \\ 10 \text{ мм - для мягкой глины.} \end{cases}$$

Таблица Б 1: Значения коэффициент бокового давления грунта на трубопровод (K_o) для различного грунта

Тип грунта	**Ко**
Мягкий грунт	0.5 - 0.6
Плотный грунт	0.3 - 0.5
Высохшая глина	0.5 - 0.6
Мокрая глина	0.8 - 1.1
Плотный песок	1.0 - 1.3

Для глубоких подземных трубопроводов со свойствами грунта, изменяющиеся между поверхностью и трубопроводом, уравнения, представленные выше, считаются нехорошими. В таких ситуациях может использоваться специальная литература.

2.9.2 Б.2 Боковая пружина грунта

Свойства поперечной пружины грунта оценены, рассматривая родной грунт на участке. Рис. Б2 показывает идеализированное представление боковой пружины грунта.

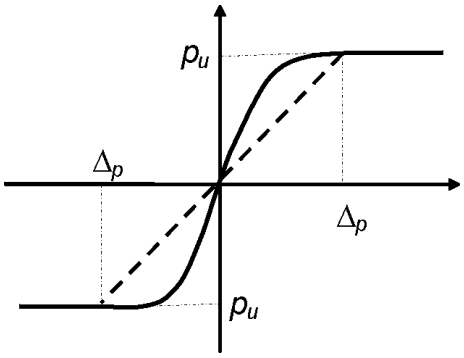


Рисунок Б 2: Идеализированное представление боковой пружины грунта

Максимальное поперечное осевое сопротивление грунта (P_u), действующее на единицу длины трубопровода, может быть вычислено по формуле (2.11):

$$P_u = N_{ch} cD + N_{qh} \overline{\gamma} HD, \qquad (2.11)$$

где

N_{ch} - горизонтальный коэффициент допустимой нагрузки для глины, 0 для $c = 0$ (таблица Б2) и вычисляется по формуле (2.12)

N_{qh} - горизонтальный коэффициент допустимой нагрузки для песка, 0 для $\phi = 0$ (таблица Б2) и вычисляется по формуле (2.13)

$$N_{ch} = a + bx + \frac{c}{(x+1)^2} + \frac{d}{(x+1)^3} \le 9; \qquad (2.12)$$

$$N_{qh} = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4, \qquad (2.13)$$

где

$x = \frac{H}{D}$.

Смещение грунта (Δp) от p_u может быть взято по формуле (2.14):

$$\Delta p = 0,04\left(H + \frac{D}{2}\right) \le 0,01D \div 0,02D. \qquad (2.14)$$

Таблица Б2: Боковой изгибающий допустимый коэффициент для грунта (ALA, 2001)

Коэффициент	f	A	b	c	D	E
N_{ch}	0	6,752	0,065	-11,063	7,119	
N_{qh}	20	2,399	0,439	-0,03	$1,059 \times 10^{-3}$	$-1,754 \times 10^{-5}$
N_{qh}	25	3,332	0,839	-0,090	$5,606 \times 10^{-3}$	$-1,319 \times 10^{-4}$
N_{qh}	30	4,565	1,234	-0,089	$4,275 \times 10^{-3}$	$-9,159 \times 10^{-5}$
N_{qh}	35	6,816	2,019	-0,146	$7,651 \times 10^{-3}$	$-1,683 \times 10^{-4}$
N_{qh}	40	10,959	1,783	0,045	$-5,425 \times 10^{-3}$	$-1,153 \times 10^{-4}$
N_{qh}	45	17,658	3,309	0,048	$-6,443 \times 10^{-3}$	$-1,299 \times 10^{-4}$

2.9.3 Б.3 Вертикальная пружина грунта

Свойства пружины грунта различны для случаев опускания и подъема. Для опускающей пружины грунта могут использоваться свойства родного грунта на участке.

Однако, для пружины подъема грунта могут рассматриваться свойства грунта засыпки траншеи. Рис.Б3а показывает идеализированное представление вертикальной пружины грунта.

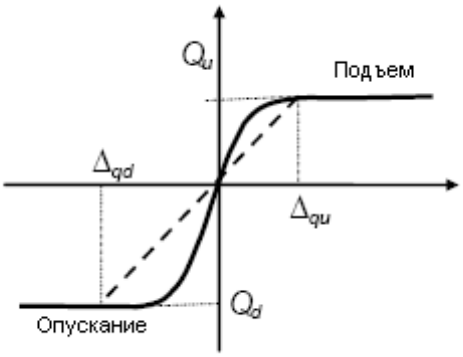


Рисунок Б 3а: Идеализированное представление вертикальной пружины грунта

2.9.4 Б.3.1 Вертикальный подъем

Максимальное вертикальное сопротивление грунта подъема (Q_u), действующее на единицу длины трубопровода, может быть найдено по формуле (2.15):

$$Q_u = N_{cv} cD + N_{qv} \overline{\gamma} HD, \qquad (2.15)$$

где

N_{cv} – вертикальный коэффициент подъема для глины, который равен (0 для $c = 0$);

N_{qv} – вертикальный коэффициент подъема для песка, который равен (0 для $\phi = 0$).

$N_{cv} = 2\left(\frac{H}{D}\right) \le 10$ для $\left(\frac{H}{D}\right) \le 10$, и

$N_{qv} = \left(\frac{\phi H}{44D}\right) \le N_q$ (см. пункт Б 3.2 для определения N_q).

Смещение грунта (Δ_{qu}) от Q_u может быть найдено, как в формуле (2.16) и (2.17):

а) $0,01H \div 0,02H$ - для песка $< 0,1D$ (2.16)

б) $0,1H \div 0,2H$ - для глины $< 0,2D$ (2.17)

2.9.5 Б.3.2 Вертикальное опускание

Максимальное вертикальное осевое сопротивление грунта подъема (Q_d), действующее на единицу длины трубопровода, может быть найдено по формуле (2.18):

$$Q_d = N_c cD + N_q \bar{\gamma} HD + N_\gamma \gamma \frac{D^2}{2}, \qquad (2.18)$$

где

N_c, N_q, N_γ - допускаемые коэффициенты опускания, определенные по рис. Б 3б или по формуле (2.19):

$$N_c = \left[\cot\left(\phi + 0,001\right)\right]\left\{\exp\left[\pi \tan\left(\phi + 0,001\right)\right]\tan^2\left(45 + \frac{\phi + 0,001}{2}\right) - 1\right\}; \qquad (2.19)$$

$$N_q = \exp(\pi \tan\phi)\tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right);$$

$N_\gamma = \exp(0,18\phi - 2,5)$, и

γ - общий удельный вес грунта.

Смещение грунта (Δ_{qd}) от Q_d может быть найдено, как:

$0,1D$ - для гранулированных грунтов, и

$0,2D$ - для плотных грунтов.

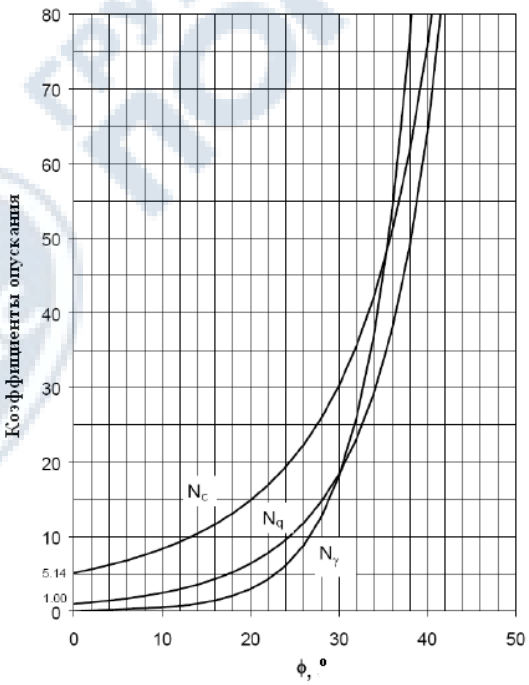


Рисунок Б 3б: Коэффициенты опускания для различных грунтов (ALA 2001)

3 .Условия проектирования для остаточного смещения грунта.

Анализ прошлых землетрясений показывает, что ОСГ - одна из главных сейсмических опасностей, которая может вызвать существенное повреждение трубопроводов. Следующие рекомендации могут улучшить поведение трубопровода против воздействия ОСГ:

1) Если ожидаемое смещение грунта превышает поглощающую способность трубы, то может использоваться усовершенствование грунта.

2) Реакция трубопровода может быть минимизирована при уменьшении смещения грунта, и/или увеличивая загруженность трубопроводной системы. Уменьшая диаметр трубы, трение грунта также может быть минимизировано. Но в то же время, должно быть проверено влияние диаметра на гидравлический расчет.

3) Трение между трубой и грунтом должно быть минимизировано при использовании соответствующего покрытия. Полиэтиленовое покрытие обычно используется для предотвращения коррозии, которая также эффективно понижает силу трения между трубой и грунтом.

4) Окружающий трубу грунт должен быть улучшен, чтобы уменьшить латеральное растекание и грунтовый поток. Для поверхностных разжижаемых отложений, для глубоких отложений устойчивость грунтовой опоры может быть построена на всем протяжении трубопровода.

5) В максимально возможной степени, трубопровод должен быть помещен ниже глубины прохождения грунтовых вод.

6) Все части трубопровода могут быть расположены вне области зоны деформации грунта.

7) Траншея может быть построена таким образом, чтобы поглощать смещения грунта при неблагоприятных условиях.

8) Трубопровод может быть спроектирован и построен таким образом, чтобы выдерживать движения грунта, оставаясь в работоспособном состоянии. Они могут быть спроектированы таким образом, чтобы двигаться вместе с грунтом без разрушения или может быть построен фундамент, который оказывает противодействие ожидаемому смещению грунта.

9) Гибкие соединения позволяют относительные смещения между опорами. В настоящее время доступны многие гибкие соединения труб, которые могут обеспечивать значительную прочность вертикального и горизонтального смещения.

10) Когда ожидаются экстремальные смещения, рекомендуется использовать специальные соединения труб или фитинги, позволяющие большие преломления соединений, растяжение и сжатие.

11) Трубопроводы не должны быть подвергнуты большой гибкости в областях ОСГ. Сваренные полиэтиленовые трубопроводы могут лучше себя вести в таких областях.

12) В сегментированных трубопроводах специальные соединения необходимы для приспособления к большим движениям грунта в областях ОСГ.

3.1 Продольное остаточное смещение грунта

По геотехническим исследованиям пространственная протяженность, т.е. длина (L), ширина (W) и максимальное продольное смещение грунта (δ^l) зоны ОСГ должны быть установлены.

Проектное смещение грунта при продольном ОСГ может быть вычислено по формуле (3.1):

$$\delta^l_{np} = \delta^l \cdot I_p, \qquad (3.1)$$

где

δ^l - максимальное продольное смещение грунта

I_p - фактор важности (таблица 2.5.2).

3.1.1 Непрерывный трубопровод

3.1.1.1 Существует 2 типа моделей, использующихся для проектирования подземных трубопроводов, подвергнутых воздействию продольного пространственно-распределенного остаточного смещения грунта, такие как:

Случай 1: Проектное смещение грунта в продольном направлении (δ^l_{np}) большое, и деформация трубы контролируется длиной (L) зоны ОСГ.

Случай 2: Длина (L) зоны ОСГ большая, и деформация трубы контролируется проектным смещением грунта (δ^l_{np}).

3.1.1.2

Когда δ^l_{np} большое (т.е. Случай 1), максимальная осевая деформация трубы для растяжения и сжатия может быть вычислена по формуле (3.2):

$$\varepsilon_a = \frac{t_u L}{2\pi DtE} \qquad (3.2)$$

где

L – длина зоны ОСГ.

σ_y - напряжение, при котором материал переходит в пластическое состояние

E – модуль упругости материала

t_u - максимальная осевая сила, действующая на единицу длины трубы

D - внешний диаметр трубы (м);

t - толщина стенки трубы (м);

3.1.1.3

Когда L большое (т.е. Случай 2) $\delta_{пр}^{l}$ контролирует величину деформации трубы, и максимальная осевая деформация трубы при растяжении и сжатии может быть вычислена по формуле (3.3):

$$\varepsilon_a = \frac{t_u L}{\pi D t E} \qquad (3.3)$$

где

L_e - эффективная длина трубопровода, подверженная действию t_u, и которая может быть найдена из уравнения (3.4):

$$\delta_{пр}^{l} = \frac{t_u L_e^2}{\pi D t E} \qquad (3.4)$$

3.1.1.4

Проектная деформация трубы $(\varepsilon_{сейсм})$ для продольного остаточного смещения грунта должна быть взята, как меньшая деформация, полученная из пунктов 3.1.1.2 и 3.1.1.3. Проектная деформация трубы должна подтвердить допустимую деформацию, данную в пункте 2.9.

3.1.2 Сегментированный трубопровод

3.1.2.1

Проектное смещение в соединении трубы может быть вычислено, как максимальное раскрытие в соединении трубы ($\Delta_{сейсм}$), соответствующее продольному ОСГ. Следовательно по формуле (3.5):

$$\Delta_{сейсм} = \delta_{пр}^{l}, \qquad (3.5)$$

где

$\delta_{пр}^{l}$ - проектное смещение грунта в продольном направлении (пункт 3.1).

Проектное смещение в соединении должно подтвердить допустимое смещение в соединении, как указано в пункте 2.7 .

3.1.2.2

Для небольшого смещения грунта, могут использоваться соединения без механических упоров в зоне ОСГ. Такое соединение может быть предусмотрено в верховье и подножье зоны ОСГ. Каждое соединение должно быть спроектировано для проектного смещения в соединении $\Delta_{сейсм}$, как указано в пункте 3.1.1.1.

3.1.2.3

В областях большого смещения грунта может быть спроектировано каскадное соединение. Обычно, каскадные соединения обязательны, когда одно соединение не может быть приспособлено к ожидаемому смещению грунта.

Проектируемые каскадные соединения должны быть предусмотрены в верховье и подножье зоны ОСГ, минимум 3 соединения должны быть установлены вне зоны ОСГ по границе зоны ОСГ.

Проектное смещение в соединении каждого сегмента трубы может быть вычислено по формуле (3.6):

$$\Delta_{сейсм} = \left(\frac{\delta_{пр}^{l}}{L/2} \right) \cdot L_a \qquad (3.6)$$

где

L_a - длина сегмента трубы

L - длина зоны ОСГ.

Проектное смещение в соединении ($\Delta_{сейсм}$) должно подтвердить допустимое смещение в соединении, как дано в пункте 3.7.

3.1.2.4

Механические упоры, которые используются в каскадных соединениях, должны быть спроектированы, чтобы приспосабливаться к максимальной силе трения ($F_{стоп}$) вычисляются по формуле (3.7):

$$F_{стоп} = 2\left(\frac{n_c + 1}{2} \right) \cdot L_a \cdot t_u \qquad (3.7)$$

где

n_c - количество каскадных соединений в верховье и подножье движения масс грунта, которые, расширяясь, поглощают общее ОСГ.

Но в любом случае $F_{стоп}$ должна быть не более, чем предел текучести материала трубы.

3.2 Поперечное остаточное смещение грунта

Как для продольного остаточного смещения грунта, по геотехническим исследованиям пространственная протяженность, т.е. длина (L), ширина (W) и максимальное поперечное смещение грунта (δ^t) зоны ОСГ должны быть установлены, и должен проводиться сейсмический контроль.

Проектное смещение грунта в продольном направлении может быть вычислено по формуле (3.8):

$$\delta^t_{пр} = \delta^t \cdot I_p \qquad (3.8)$$

где

δ^t - максимальное поперечное смещение грунта

I_p - фактор важности (таблица 2.5.2)

3.2.1 Непрерывный трубопровод

3.2.1.1

Максимальная изгибающая деформация трубы может быть вычислена, как наименьшая из следующих значений формул: (3.9) и (3.10)

$$\text{а)}\ \varepsilon_b = \pm \frac{\pi D \delta^t_{пр}}{W^2}, \qquad (3.9)$$

где

D – внешний диаметр трубы

$\delta^t_{пр}$ - поперечное смещение грунта

W – ширина зоны остаточного смещения грунта

t – толщина стенки трубы

$$\text{б)}\ \varepsilon_b = \pm \frac{P_u W^2}{3\pi E t D^2}, \qquad (3.10)$$

где

P_u- максимальное боковое сопротивление грунта, приходящееся на единицу длины трубы (Приложение Б)

E – модуль упругости материала трубы

3.2.1.2

Максимальная деформация, полученная в пункте 4.2.1.1, может быть рассмотрена, как проектная деформация трубы ($\varepsilon_{сейсм}$) и должна подтвердить допустимую деформацию трубы, данную в пункте 3.9.

3.2.1.3

Упрощенные аналитические выражения, данные выше, могут использоваться для того, чтобы определить деформации трубопровода, необходимые для предварительного проектирования. Однако, когда проектируются важные трубопроводы, принимается во внимание анализ метода конечных элементов, рассматривая нелинейность в трубе и грунта.

3.2.2 Сегментированный трубопровод

Проектное смещение в соединении трубы ($\Delta_{сейсм}$) от поперечного ОСГ может быть вычислено, как сумма от осевого удлинения и удлинения, соответствующего крутящему эффекту. Таким образом, результирующее смещение в соединении может быть написано, как в формулах (3.11) и (3.12):

$$\Delta_{сейсм} = \frac{\pi^2 L_0 \delta_{пр}^{l\ 2}}{W^2}\left[\frac{2D}{\delta_{пр}^{l}}\right] \qquad (3.11)$$

для $0,268 \le \frac{D}{\delta_{пр}^{l}} \le 3,73$

$$\Delta_{сейсм} = \frac{\pi^2 L_0 \delta_{пр}^{l\ 2}}{2W^2}\left[1+\left(\frac{D}{\delta_{пр}^{l}}\right)^2\right] \qquad (3.12)$$

Для других значений $\frac{D}{\delta_{пр}^{l}}$

где

L_0 - длина сегмента трубы

$\delta_{пр}^{l}$ - проектное поперечное смещение грунта.

3.2.1.2

Проектное смещение в соединении ($\Delta_{сейсм}$), вычисленное выше, должно подтвердить допустимое смещение, данное в пункте 3.7

3.3 Оползень

Оползни – большие движения грунта, обычно приводящие к наклонным разломам, которые могут быть вызваны сотрясениями при землетрясении.

3.3.1

При оползнях движения массы грунта являются катастрофическими. Часто при этих явлениях происходили повреждения трубопроводных систем. При проектировании трубопровода нужно избегать потенциально опасных зон образования оползней.

3.3.2

Эффект воздействия оползня на трубопроводы можно иногда избежать путем укладки трубопровода ниже ожидаемой границы скольжения грунта.

3.3.3

Если поведение оползня и вид его смещения определены, то его можно смоделировать, как остаточное смещение грунта, действующее на трубопроводы. Приложение А может быть рассмотрено для моделирования трубопровода

4. Условия проектирования выплывающего трубопровода из-за разжижения

Когда разжижение грунта происходит вокруг трубопровода, силы плавучести оказывают влияние на трубопровод, и должно быть противодействие с помощью соответствующего устройства анкеровки.

4.1 Действие выталкивающей силы на трубопровод

Результат направленной вверх силы, действующей на единицу длины трубопровода, из-за плавучести, может быть вычислен по формуле (4.1):

$$F_b = W_s - \left[W_p + W_c + \left(P_v - \gamma_w h_w \right) D \right] \qquad (4.1)$$

где

W_s - общий вес грунта, перемещенный трубопроводом, приходящийся на единицу длины трубы

W_p - вес единицы длины трубы

W_c - вес содержимого трубы, приходящейся на единицу длины трубы

P_v - вертикальное наземное давление

D - наружный диаметр трубы

γ_w - удельный вес воды

h_w - высота воды над трубой

Адгезией между грунтом и стенкой трубы для простоты расчетов пренебрегают.

4.2 Непрерывный трубопровод

4.2.1

Изгибающее напряжение, вызванное для относительно короткой секции непрерывного трубопровода, подвергнутого плавучести, может быть вычислено по формуле (4.2):

$$\sigma_{bf} = \frac{F_b L_b^2}{10Z}, \qquad (4.2)$$

где

L_b - длина трубы в зоне плавучести

Z - осевой момент сопротивления сечения трубы

F_b - выталкивающая сила, действующая на трубопровод.

Для более длинных секций трубопровода, подвергнутых силе плавучести, труба может быть представлена, как кабель, и балочное действие препятствует направленной вверх силе.

4.2.2

Максимальная деформация, соответствующая рассчитанному выше изгибающему напряжению (пункт 5.2.1), может быть получена при использовании напряженно-деформированного кривой. (пункт 3.7.4).

4.2.3

Максимальная деформация, соответствующая изгибающему напряжению, рассчитанного в пункте 5.2.2, может рассматриваться, как проектная деформация трубы ($\varepsilon_{сейсм}$) и должна подтвердить допустимую деформацию, данную в пункте 3.8.2

4.3 Сегментированный трубопровод

4.3.1

Реакция сегментированного трубопровода, испытывающая выталкивающую силу, может быть анализирована в области соединения, уравновешивающего силы и момент, как показано на рис. К 5.1 (а) и (б).

Выталкивающая сила, действующая на трубопровод

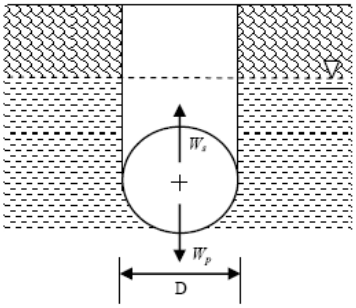


Рисунок К 5.1 (а): Поперечное сечение трубопровода, показывающее действующие на него силы, при всплытии

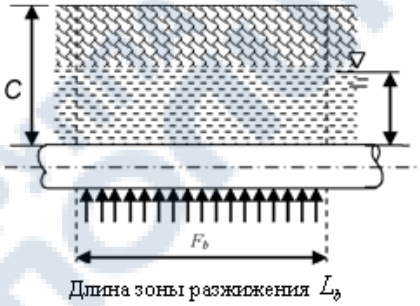


Рисунок К5.1 (б): Продольное сечение трубопровода, показывающее действующие на него силы, при всплытии

4.3.2

При анализе, соединение сегментированной трубы может быть принято, как шарнирное соединение, и находят удлинение и угол поворота. Удлинение соединения может быть принято, как проектное смещение трубопровода и должно подтвердить допустимое смещение в соединении, как определено в пункте 3.7.

5 Условия проектирования при пересечении разломов

5.1

Разлом - трещина или зона трещины между двумя блоками горной породы. Разломы позволяют горным породам перемещаться друг относительно друга. Это движение может произойти из-за внезапного смещения или может произойти из-за постепенного накопления. Внезапное движение разлома главным образом связано с сейсмическим случаем. Принимая во внимание, что, постепенное смещение главным образом связано с движением пластов.

5.2

Разломы могут быть классифицированы согласно направлению движения, как разлом сброса, сдвиговый разлом или разломы взброса. Разлом сброса, сдвиговый разлом, разлом взброса образованы из-за растягивающих, сдвигающих и сжимающих напряжений, соответственно. Часто разлом сброса и взброса происходят в комбинации со сдвиговым разломом. Этот вид разлома упоминается, как наклонный разлом. Он образуется из-за комбинации напряжений, действующих вертикально и горизонтально.

5.3

Величина смещения разлома зависит прежде всего от типа разлома, размера землетрясения, фокальной глубины и геологии.

5.4

Для подземных структур, например трубопроводов, получающих серьезное повреждение от смещения разлома. Следующие рекомендации могут уменьшить риск повреждения трубопровода, пересекаемого разлом:

1) Трубопровод, пересекающий линию разлома, должен быть ориентирован таким образом, чтобы избежать сжатия. Оптимальный угол пересечения разлома будет зависеть от плоскости, в которой находится трубопровод, и ожидаемого типа движения.

2) Упругость трубопровода в зоне пересечения разлома должна быть максимальной без излома.

3) Необходимо избежать резких изменений в толщине стенки или других концентраторах напряжения в пределах зоны разлома.

4) Во всех областях потенциального излома грунта, трубопроводы должны быть относительно прямолинейными, избегая резких изменений по направлению и высоте.

5) На сколько возможно, трубопроводы должны быть построены без изгибов, которые склонны закреплять трубопровод в грунте.

6) Если длина трубопровода способна сопротивляться движению разлома, степень деформации становится ниже. Однако, точки закрепления, как это возможно, должны быть далеко от зоны разлома, чтобы снизить уровень деформации трубопровода.

7) При близком пересечении разлома может использоваться твердое и гладкое покрытие трубопровода, такое как эпоксидное покрытие, чтобы уменьшить трение между трубой и грунтом.

8) Глубина укладки трубопровода может быть уменьшена в пределах зоны разлома, чтобы минимизировать действие грунта на трубопровод в течении движения разлома.

9) Если ожидаемое движение разлома большое, можно рекомендовать прокладку трубопровода наземно и проектировать с подвижной опорой, чтобы выдержать ожидаемое смещение грунта.

Примечания: Большинство разломов происходят глубоко в земле. Однако, наибольшую важность представляет ОСГ от разлома грунта, чем эффекты поверхностного разлома, проявляющиеся на трубопроводах.

5.2 Определение величины смещения разлома

Оценка ожидаемого смещения разлома требует специализированного и строгого анализа. В отсутствие такого анализа участка, могут использоваться определенные эмпирические соотношения. Одно из широко используемых эмпирических соотношений – это то, которое было дано Уэллсом и Копперсмитом (1994). Согласно этому соотношению, смещение разлома может быть оценено следующим образом: Формулы (5.1), (5.2), (5.3),(5.4):

для сдвигового разлома:

$$\lg \delta_{fs} = -6,32 + 0,90M \tag{5.1}$$

для разлома сброса:

$$\lg \delta_{fn} = -4,45 + 0,63M \tag{5.2}$$

для разлома взброса:

$$\lg \delta_{fr} = -0,74 + 0,08M \tag{5.3}$$

для невидимого подповерхностного разлома:

$$\lg \delta_{fb} = -4,80 + 0,69M \tag{5.4}$$

где

δ_{fs} - смещение сдвигового разлома;

δ_{fn} - смещение разлома сброса;

δ_{fr} - смещение разлома взброса;

δ_{fb} - смещение невидимого подповерхностного разлома.

M – момент магнитуды землетрясения

5.2.2

Для сдвигового разлома (рис. 5.1.2), движение разлома вдоль и поперек трубопровода, может быть вычислено следующим образом, написанным ниже.

Компонент смещения сдвигового разлома в осевом направлении может быть вычислен по формуле (5.5):

$$\delta_{fax} = \delta_{fs} \cos\beta . \qquad (5.5)$$

Компонент смещения сдвигового разлома в поперечном направлении может быть вычислен по формуле (5.6):

$$\delta_{ftr} = \delta_{fs} \sin\beta \qquad (5.6)$$

где

β - угол трубопровода (^{0}), пересекающего линию разлома (рис. 5.1.2).

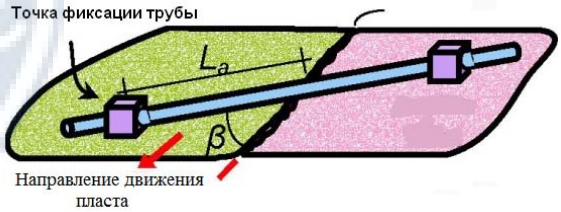


Рисунок 5.1.2: Трубопровод, пересекающий сдвиговый разлом

5.2.3

Для смещения сбросового разлома (рис. 5.1.3) движение разлома вдоль, поперек и вертикально трубопроводу может быть получено следующим образом.

Компонент смещения разлома в осевом направлении трубопровода вычисляется по формуле (5.7):

$$\delta_{fax} = \delta_{fn} \cos\psi \sin\beta. \qquad (5.7)$$

Компонент смещения разлома в поперечном направлении трубопровода вычисляется по формуле (5.8):

$$\delta_{ftr} = \delta_{fn} \cos\psi \cos\beta. \qquad (5.8)$$

Компонент смещения разлома в вертикальном направлении трубопровода вычисляется по формуле (5.9):

$$\delta_{fvt} = \delta_{fn} \sin\psi \qquad (5.9)$$

где

β - угол трубопровода, пересекающего линию разлома (рис. 5.1.3);

ψ - уг

Рисунок 5.1.3: Трубопровод, пересекающий бросовый разлом

5.2.4

В разломах взброса, компоненты смещения оценены подобным образом, как в разломах сброса, но с отрицательным сдвигом.

5.2.5

Для наклонных разломов, смещение сдвига и сброса (или взброса) может быть добавлено алгебраически в осевом, поперечном и вертикальном направлении оси трубопровода.

5.2.6

Проектное смещение разлома может быть вычислено путем умножения фактора важности (I_p) (таблица 2.5.2) на ожидаемое смещение разлома. Следовательно,

компонент проектного смещения разлома в осевом направлении трубопровода: вычисляется по формуле (5.10):

$$\delta_{faxпр} = \delta_{fax} \cdot I_p \qquad (5.10)$$

компонент проектного смещения разлома в поперечном направлении трубопровода вычисляется по формуле (5.11):

$$\delta_{ftrпр} = \delta_{fn} \cdot I_p \qquad (5.11)$$

компонент проектного смещения разлома в вертикальном направлении трубопровода вычисляется по формуле (5.12):

$$\delta_{fvtпр} = \delta_{fn} \cdot I_p \qquad (5.12)$$

5.3 Непрерывный трубопровод

5.3.1

Средняя деформация трубы, возникающая при пересечении разлома, может быть вычислена по формуле (5.13):

$$\varepsilon = 2\left[\frac{\delta_{faxпр}}{2L_a} + \frac{1}{2}\left(\frac{\delta_{ftr\ пр}}{2L_a}\right)^2\right] \qquad (5.13)$$

где

L_a – длина от точки закрепления трубы до разлома (см. пункт 5.2.2).

5.3.2

Незакрепленная длина трубопровода в зоне пересечения разлома может быть взята, как меньшее значение из следующего:

а) когда нет никаких изгибов или никакого типа ограничений на трубопровод около зоны разлома, эффективная длина ненадежно закрепленного трубопровода может быть взята по формуле (5.14):

(5.14)

где

t_u - максимальная осевая сила, действующая на трубопровод в осевом направлении;

ε_y - пластическая деформация материала трубы;

E - модуль упругости материала трубы перед пластической деформацией трубы;

D - внешний диаметр трубопровода;

t - толщина стенки трубы.

б) любое закрепление, обеспеченное конфигурацией трубы (например, изгибы или изменение в составе грунта) будет рассматриваться как фактический пункт закрепления, и длина трубопровода от точки закрепления до линии разлома будет взята, как эффективная незакрепленная длина (рис. К 5.2.1).

5.3.3

Максимальная деформация, полученная в пункте 5.2.1 может быть рассмотрена, как проектная деформация трубы ($\varepsilon_{сейсм}$) и должна подтвердить допустимую деформацию трубы, данную в пункте 3.9.

5.4 Сегментированный трубопровод

В сегментированных трубопроводах, отклонение разлома предполагается одинаковым в местах соединения трубы на каждой стороне линии разлома. Проектное смещение в соединении может быть вычислено по формуле (5.15):

$$\Delta_{сейсм} = \delta_{fax} \cdot I_p \qquad (5.15)$$

где

I_p - фактор важности (таблица 2.5.2).

5.4.1

Проектное смещение в соединении ($\Delta_{сейсм}$) для каждого соединения трубы в зоне разлома должно подтвердить допустимое смещение в соединении, как дано в пункте 3.7.

5.5 Профиль траншеи трубопровода в зоне разлома

Чтобы достичь минимального сопротивления грунта и уменьшить деформацию трубы, трубопровод может быть уложен в небольшой траншеи, как показано на рис. 5.4 (а) и рис. 5.4 (б) на мелко- или среднегранулированном грунте без булыжников или валунов. Контроль должен быть осуществлен по материалу засыпки траншеи на значительном расстоянии (~300м) на каждой стороне разлома.

Хорошая геотекстильная мембрана может использоваться между естественным грунтом и грунтом засыпки траншеи (т.е. выше стенки траншеи). Это предотвращает смешивание мелких фракций между естественным грунтом с грунтом засыпки в течение длительного периода времени.

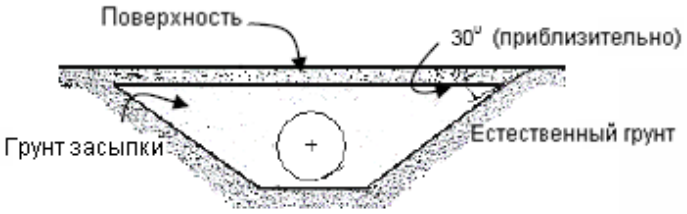


Рис. 5.4 (а): Траншея трубопровода, пересекаемая сдвиговый разлом (NIST, 1996)

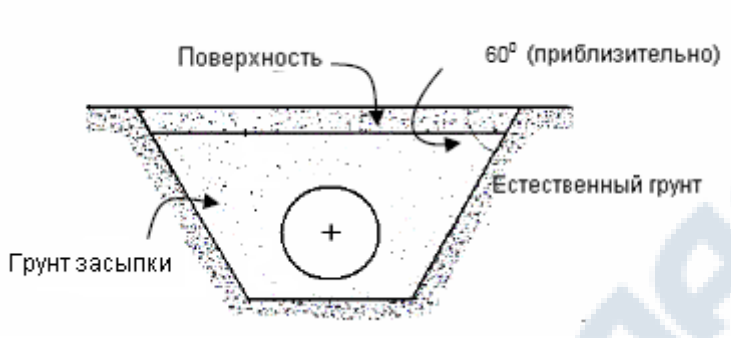


Рисунок 5.4 (б): Траншея трубопровода, пересекаемая разломом взброса (NIST, 1996)

6 Условия проектирования при сейсмическом распространении волны

Реакция трубопровода из-за распространения волны описана в терминах продольных осевых деформаций трубы. Изгибающими деформациями труб из-за искривления поверхности грунта пренебрегают, так как они являются относительно небольшими.

6.1 Проектное движение грунта

Проектное сейсмическое движение на участке часто характеризуется, как скорость сейсмического распространения волны. Проектная скорость сейсмического распространения волны может быть вычислена по формуле (6.1):

$$V_g \Pi\text{Є}\Gamma \ I \cdot {}_p \text{ (м/с)} \qquad (6.1)$$

где

$\Pi\text{Є}\Gamma$ - пиковая скорость грунта на участке (пункт 3.5);

I_p - фактор важности (таблица 2.5.2).

6.1.2 Очевидная скорость распространения волны

Очевидная скорость распространения сейсмической волны является важным параметром, который используется, чтобы вычислить деформацию трубы из-за сейсмического распространения волны.

Чтобы оценить осевую деформацию трубы, как правило, скорость сдвигающей волны (S-волна), рассматривается для участков в пределах 5 глубин заложения трубопровода от эпицентра. Для участков более 5 глубин заложения рассматриваются волны Рэлея (R-волны) (рис. 6.1.2).

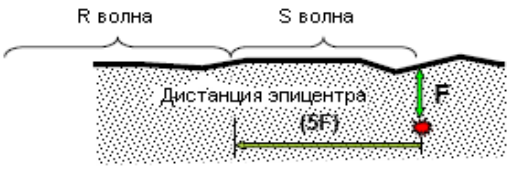


Рисунок 6.1.2: Рассмотрение влияния S-волн и R-волн при проектировании трубопровода

6.1.2.1 Для S-волн

Очевидная скорость распространения волны ($C_{sочев}$) для S-волн может быть вычислена по формуле (6.2):

$$C_{sочев} = \frac{C_s}{\sin\theta} \tag{6.2}$$

где

C_s - скорость сейсмического распространения волны для S-волн;

θ - угол падения S-волны.

6.1.2.2 Для R-волн

Очевидная скорость распространения R-волны может быть вычислена по формуле (6.3):

$$C_{rочев} = C_{rф} \tag{6.3}$$

где

$C_{rф}$ - скорость фазы R-волны.

6.2 Непрерывный трубопровод

6.2.1

Максимальная продольная осевая деформация трубопровода из-за распространения сейсмической волны, может быть приближенно вычислено по формуле (6.4):

$$\varepsilon_a = \frac{V_g}{C_{очев}} = \frac{V_g}{\alpha_g C} \qquad (6.4)$$

где

V_g - Проектная скорость сейсмического распространения волны (пункт 6.1.1)

α_ε - коэффициент деформации грунта, зависящий от угла падения и типа сейсмических волн, который принимается равным 2 для S-волн и 1 для R-волн;

C - скорость сейсмического распространения волны,

$=C_s$, для S –волн (принимается равной 2.0 км/с)

$=C_{r_ф}$ для R-волн (принимается равной 0.5 км/с).

6.2.2

Максимальная осевая деформация трубопровода, возникающая из-за трения в зоне взаимодействия трубы с грунтом, вычисляется по формуле (6.5):

$$\varepsilon_a \le \frac{t_u \lambda}{4AE} \qquad (6.5)$$

где

t_u - максимальная сила трения, действующая на единицу длины трубопровода, в зоне взаимодействия трубы с грунтом (Приложение Б);

λ - очевидная длина сейсмических волн на поверхности грунта, принимаемая равной 1000 м;

A - площадь поперечного сечения трубы;

E - модуль упругости материала трубы.

6.2.3

Осевая деформация, вычисленная по пункту 6.2.1, может быть рассмотрена, как проектная деформация трубы ($\varepsilon_{сейсм}$). Однако, проектная деформация не должна превышать деформации, возникающей в трубопроводе из-за трения с грунтом.

6.2.4

Проектная деформация трубы, вычисленная в пункте 6.2.3, должна подтвердить допустимую деформацию, как дано в пункте 3.9.

6.3 Сегментированный трубопровод

6.3.1

Проектное смещение в соединении трубопровода может быть вычислено по формуле (6.6):

$$\Delta_{сейсм} = \varepsilon_{сейсм} \cdot L_0 \qquad (6.6)$$

где

$\varepsilon_{сейсм}$ - осевая деформация, вычисленная в пункте 7.2.4 для непрерывного трубопровода;

L_0 - длина сегмента трубы.

6.3.2

Проектное смещение в соединении ($\Delta_{сейсм}$), вычисленное выше, должно подтвердить допустимое смещение, данное в пункте 3.10.

6.3.3

Проектное вращение в соединении трубопровода, соответствующее распространению волны, может быть вычислено по формуле (6.7):

$$\theta_{сейсм} = 1,5 \frac{A_g}{C^2} L_0 \qquad (6.7)$$

где

A_g - максимальное ускорение грунта в направлении распространения поверхностной волны, вызванной проектным землетрясением;

C - скорость сейсмического распространения волны ,

$=C_s$, для S –волн (принимается равной 2.0 км/с);

$=C_{r_ф}$ для R-волн (принимается равной 0.5 км/с).

6.3.4

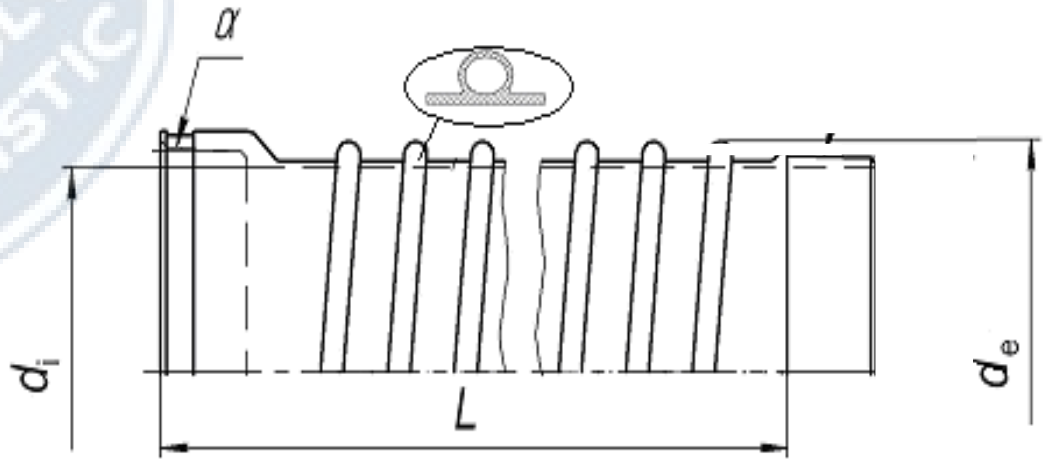
Проектное вращение в соединении должно быть меньше, чем допустимое вращение в соединение, определенное изготовителем.

Приложение А
(справочное)

Пример 1 Вычисление эксплуатационной деформации непрерывного полиэтиленового трубопровода Корсис Плюс и Корсис-Арм

Таблица А.1. Размеры труб Корсис Плюс с профилем PR
(выборка из ТУ 2248–005–73011750–2008 с Изм.1-5)

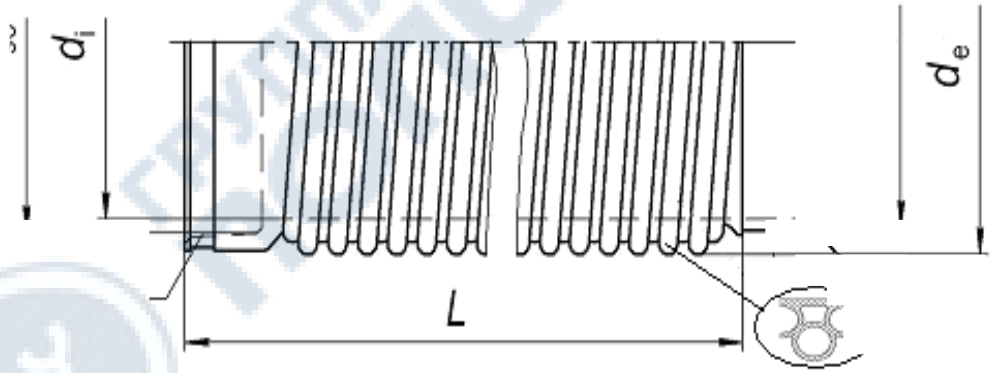
DN/ID, мм	d_i, мм	d_e, мм	SN, кН/м^{2}	I, мм^4/мм
1200	1190	1322	2	5893
		1346	4	96311
		1360	6	13927
		1372	8	18221
1400	1390	1530	2	7838
		1544	4	14274
		1578	6	24287
		1580	8	31765
1600	1580	1752	2	16570
		1762	4	21165
2000	1950	2128	2	20261



L-длина трубы (пункт 4.3)

Таблица А.1. Размеры труб Корсис Плюс с профилем OL
(выборка из ТУ 2248–005–73011750–2008 с Изм.1-5)

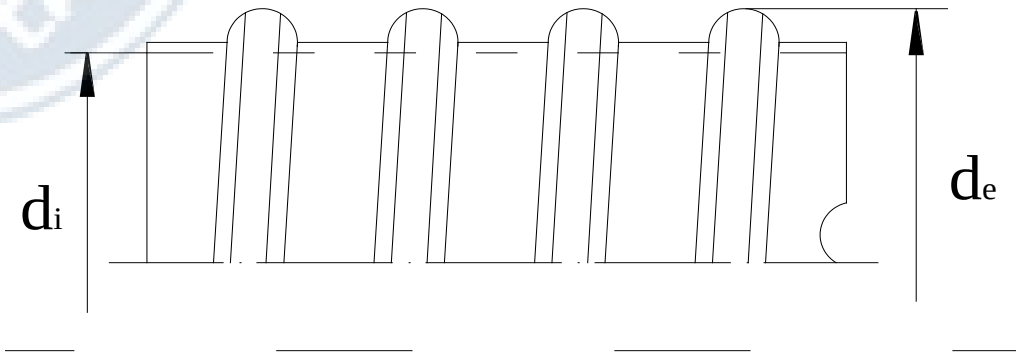
DN/ID, мм	d_i,мм	d_e,мм	SN, кН/м^2	I, мм^4/мм
1600	1580	1808	6	30808
		1832	8	44039
2000	1950	2200	4	35422
		2228	6	52204
		2250	8	69433
2200	2150	2454	2	30165
		2482	4	57233
		2506	6	85032
		2582	8	118903



L-длина трубы (пункт 4.3)

Таблица А.3. Показатели профилей PR для изготовления труб Корсис Арм (выборка из ТУ 2248–…–73011750–2010)

DN/ID, мм	d_i, мм	d_e, мм	SN, кН/м^2	I, мм^4/мм
800	800	870	8	
			16	
1000	1000	1070	8	
			16	
1200	1200	1320	8	
			16	
1400	1400		8	
			16	
1500	1500	1640	8	
			16	
1600	1600	1740	8	
			16	
2000	2000		8	
			16	
2200	2200		8	
			16	
2400	2400		8	
			16	



А.2 Постановка задачи:

Прокладываемый подземный полиэтиленовый канализационный трубопровод Корсис Плюс диаметром 1200 мм, (I класс важности). Температура монтажа трубопровода составляет 20 ^{0}С, а эксплуатации - 0 ^{0}С. Коэффициент Пуассона μ для полиэтилена составляет 0,43; коэффициент линейного теплового расширения α равен $2,2 \cdot 10^{-4}$ $1/^0$ С.

Необходимо определить деформацию трубы от внутреннего давления и температуры.

Решение:

Модуль упругости материала трубы составляет 1000 МПа.

Деформация трубы от внутреннего давления

Продольное напряжение, возникающее в трубе от внутреннего давления равно 0, так как труба безнапорная S_p=0, следовательно продольная деформация трубы от внутреннего давления ε_p также=0):

Деформация трубы от температурного изменения:

Продольное напряжение, возникающее в трубе от температурного изменения, вычисляется, как (пункт 3.8.1):

$$S_t = E\alpha(T_2 - T_1) = 10^9 \cdot 2,2 \cdot 10^{-4} \cdot (20 - 0) = 4,4 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2 = 4,4 \text{ МПа}$$

Продольная деформация трубы от температурного изменения составляет:

$$\varepsilon_p = \frac{S_t}{E} = \frac{4,4 \cdot 10^6}{10^9} = 0,0044 = 0,44\ \% \text{ (сжатие)}.$$

Поэтому, полная деформация в полиэтиленовом трубопроводе из-за внутреннего давления и температуры:

$$= 0,44 - 0 = 0,44\ \% \ (\textit{сжатие}).$$

Игнорируя деформацию трубы от начального изгиба, данная деформация может рассматриваться, как эксплуатационная деформация трубы (т.е. $\varepsilon_{эксп} = 0,44\ \%$).

Приложение Б
(справочное)

Пример 2 Вычисление пружин грунта, представляющих взаимодействие трубопровода с грунтом

Б.2 Трубопровод такой же, как в Примере 1, уложен в траншею на глубину 1,2 м. до оси трубопровода. Необходимо вычислить свойства пружин грунта (окончательное сопротивление грунта и смещение грунта), чтобы представить взаимодействие трубопровода с грунтом в (а) осевом, (б) боковом и (в) вертикальном направлении для следующих двух условий участка.

Участок 1: Средний песок с коэффициентом сцепления = 30 кПа, угол внутреннего трения грунта (ϕ) = 30 ° и эффективным удельным весом равным 18 кН/м^3

Участок 2: Песок с углом трения (ϕ) = 32 ° и эффективным удельным весом равным 18 кН/м^3.

Решение:

Участок 1:

(а) Осевая пружина грунта:

Максимальное осевое сопротивление грунта, действующее на единицу длины трубопровода (t_u):

$$t_u = \pi Dc\alpha + \pi DH\overline{\gamma}\frac{1+K_0}{2}\tan\delta',$$

где

D - диаметр трубы = 1,2 м;

c - коэффициент сцепления грунта = 30 кПа;

α - коэффициент сцепления

$$= 0,608 - 0,123c - \frac{0,274}{c^2+1} + \frac{0,695}{c^3+1} = 0,9964;$$

H - высота от оси трубопровода до поверхности = 1,2 м;

$\overline{\gamma}$ - эффективный удельный вес грунта $= 18000$ Н/м^3;

Угол трения между трубой и грунтом $= \delta' = f\phi$,

где,

f - коэффициент трения = 0,43 для полиэтилена

ϕ - угол внутреннего трения грунта = 30^0;

Следовательно, $\delta' = f\phi = 0,43 \cdot 30^0 = 12,9^0$;

K_0 - коэффициент давления грунта в покое

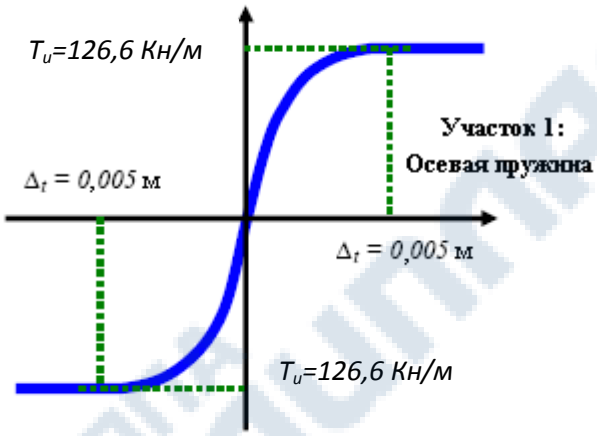
$= 1 - \sin 30^0 = 0,5.$

Следовательно,

$$t_u = \left(\pi \cdot 1,2 \cdot 30000 \cdot 0,9964\right) + \left(\pi \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 18000 \cdot \frac{1+0,5}{2} \tan 12,9^0\right) = 126611 \quad /м=126,6\ кН/м.$$

Смещение грунта в осевом направлении может быть взято, как:

$\Delta_t = 5$ мм=0,005 м (пункт Б1, 3.8.3).



(б) Боковая пружина грунта:

Максимальное поперечное сопротивление грунта, действующее на единицу длины трубопровода, может быть вычислено, как (пример Б.2, 3.8.3):

$P_u = N_{ch} cD + N_{qh} \overline{\gamma} HD,$

где

N_{ch} - горизонтальный коэффициент допустимой нагрузки для глины.

$$N_{ch} = a + bx + \frac{c}{(x+1)^2} + \frac{d}{(x+1)^3} \le 9,$$

где, $x = \frac{H}{D} = \frac{1,2}{1,2} = 1.$

$a = 6,752,$

$b = 0,065,$

$c = -11,063,$ и

d=7,119.

(См. таблицу Б.2, приложение Б).

Следовательно,

$$N_{ch} = 6,752 + 0,065 \cdot 1 + \left(\frac{-11,063}{(1+1)^2}\right) + \left(\frac{7,119}{(1+1)^3}\right) = 4,94.$$

N_{qh} - горизонтальный коэффициент допустимой нагрузки для песка.

$$N_{qh} = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4,$$

где

$a = 4,565,$

$b = 1,234,$

$c = -0,089,$

d=$4,275 \cdot 10^{-3}$,

$e = -9,159 \cdot 10^{-5}.$

(См. таблицу Б.2, приложение Б для значений a, b, c,d и e для $\phi = 30^0$).

Следовательно,

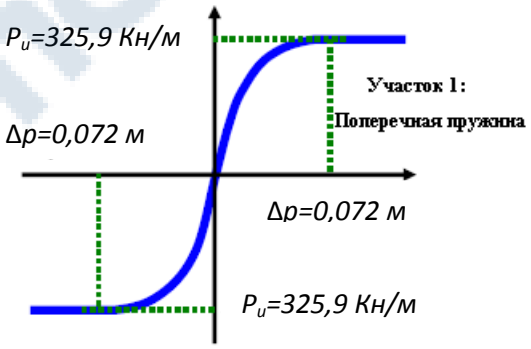
$$N_{qh} = 4,565 + 1,234 \cdot 1 + (-0,089 \cdot 1^2) + (4,275 \cdot 10^{-3} \cdot 1^3) + (-9,159 \cdot 10^{-5} \cdot 1^4) = 5,714.$$

Следовательно,

$P_u = (4,94 \cdot 30000 \cdot 1,2) + (5,714 \cdot 18000 \cdot 1,2 \cdot 1,2) = 325947$ /м=325,9 кН/м.

Смещение грунта в поперечном направлении может быть вычислено, как (пункт Б2, 3.8.3):

$$= 0,04\left(H + \frac{D}{2}\right) = 0,04 \cdot \left(1,2 + \frac{1,2}{2}\right) = 0,072 \text{ м}$$



в) Вертикальная пружина подъема

Подъем:

Максимальное вертикальное сопротивление грунта подъема, действующее на единицу длины трубопровода, может быть найдено, как (пункт Б3.1, пример Б):

$$Q_u = N_{cv} cD + N_{qv} \bar{\gamma} HD,$$

где

N_{cv} – вертикальный коэффициент подъема для глины.

$$N_{cv} = 2\left(\frac{H}{D}\right) \le 10.$$

Следовательно, $N_{cv} = 2 \cdot \frac{1,2}{1,2} = 2.$

$$N_{qv} = \left(\frac{\phi H}{44D}\right) \le N_q;$$

$$= \left(\frac{30 \cdot 1,2}{44 \cdot 1,2}\right) = 0,682.$$

Следовательно,

$$Q_u = (2 \cdot 30000 \cdot 1,2) + (0,682 \cdot 18000 \cdot 1,2 \cdot 1,2) = 89677 \text{ Н/м} = 89,7 \text{ кН/м}.$$

Смещение грунта вертикального подъема может быть вычислено, как:

$$\Delta_{qu} = 0,15 \cdot H = 0,15 \cdot 1,2 = 0,18 \text{ м}.$$

Опускание:

Максимальное вертикальное сопротивление грунта опускания, действующее на единицу длины трубопровода, может быть найдено, как (пункт Б3.2, 3.8.3):

$$Q_d = N_c cD + N_{qv}\bar{\gamma} HD + N_\gamma \gamma \frac{D^2}{2},$$

где

$N_c = 30,\ N_q = 18,\ \mathrm{N}_\gamma = 18$

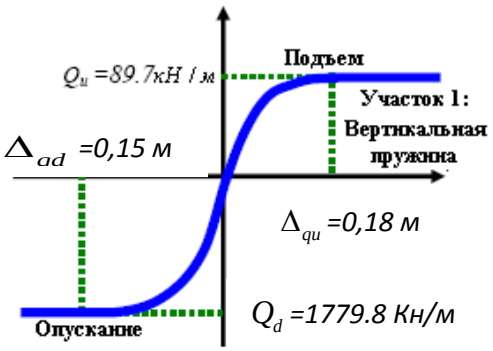
(см. рис. Б3б, 3.8.3).

Следовательно,

$$Q_d = (30 \cdot 30000 \cdot 1,2) + (18 \cdot 18000 \cdot 1,2 \cdot 1,2) + \left(18 \cdot 18000 \cdot \frac{1,2^2}{2}\right) = 1779840 \text{ Н/м} = 1779,8 \text{ кН/м}.$$

Смещение грунта при вертикальном опускании может быть найдено, как:

$$\Delta_{qd} = 0,125 \cdot D = 0,125 \cdot 1,2 = 0,15 \text{ м}.$$



Участок 2:

(а) Осевая пружина грунта:

Максимальное осевое сопротивление грунта, действующее на единицу длины трубопровода (t_u), может быть вычислено, как (пример Б.1, 3.8.3):

$$t_u = \pi Dc\alpha + \pi DH\bar{\gamma}\frac{1+K_0}{2}\tan\delta^{'}.$$

Для песка (т.е.c=0), t_u может быть найдено, как:

$$t_u = \pi DH\bar{\gamma}\frac{1+K_0}{2}\tan\delta^{'},$$

где

D - диаметр трубы = 1,2 м;

H - высота от оси трубопровода до поверхности = 1,2 м;

$\bar{\gamma}$ - эффективный удельный вес грунта $=18000$ Н/м^3;

Угол трения между трубой и грунтом $=\delta^{'} = f\phi$;

где

f - коэффициент трения = 0,43 для полиэтиленовой трубы (таблица Б. 1а, 3.8.3);

ϕ - угол внутреннего трения грунта = 32^0;

Следовательно, $\delta^{'} = f\phi = 0,43\cdot 32^0 = 13,76^0$;

K_0 - коэффициент давления грунта в покое

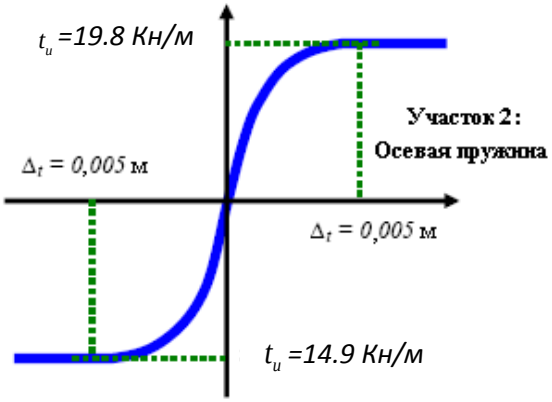
$=1-\sin 30^0 = 0,5.$

Следовательно,

$$t_u = \left(\pi\cdot 1,2\cdot 1,2\cdot 18000\cdot\frac{1+0,5}{2}\tan 13,76^0 = 14,94048\right) \text{кН/м}.$$

Смещение грунта в осевом направлении может быть взято, как:

$\Delta_t = 5$ мм=0,005 м (пункт Б1, приложение Б).



(б) Боковая пружина грунта:

Максимальное поперечное сопротивление грунта, действующее на единицу длины трубопровода, может быть вычислено, как (пример Б.2, 3.8.3):

$$P_u = N_{ch} cD + N_{qh} \overline{\gamma} HD.$$

Для песка (т.е.c=0), P_u может быть переписано, как:

$$P_u = N_{qh} \overline{\gamma} HD,$$

где

N_{qh} - горизонтальный коэффициент допустимой нагрузки для песка

$$N_{qh} = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4,$$

где, $x = \frac{H}{D} = \frac{1,2}{1,2} = 1$

$a = 5,465,$

$b = 1,548,$

$c = -0,1118,$

$d = 5,625 \cdot 10^{-3},$

$e = -1,2227 \cdot 10^{-5}.$

(См. таблицу Б.2, 3.8.3для значений a, b, c,d и e для $\phi = 32^0$).

Следовательно,

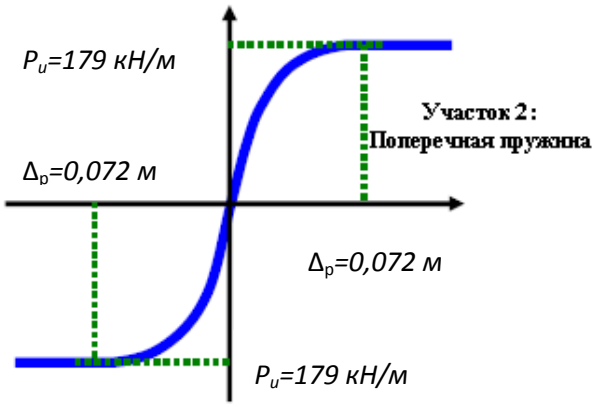
$$N_{qh} = 5,465 + 1,548 \cdot 1 + (-0,1118 \cdot 1^2) + (5,625 \cdot 10^{-3} \cdot 1^3) + (-1,2227 \cdot 10^{-4} \cdot 1^4) = 6,906.$$

Следовательно,

$$P_u = 6,906 \cdot 18000 \cdot 1,2 \cdot 1,2 = 179000 \text{ Н/м} = 179 \text{ кН/м}.$$

Смещение грунта в поперечном направлении может быть вычислено, как (пункт Б2,) 3.8.3:

$$= 0,04\left(H + \frac{D}{2}\right) = 0,04 \cdot \left(1,2 + \frac{1,2}{2}\right) = 0,072$$



в) Вертикальная пружина подъема

Подъем:

Максимальное вертикальное сопротивление грунта подъема, действующее на единицу длины трубопровода, может быть найдено, как (пункт Б3.1, 3.8.3):

$$Q_u = N_{cv} cD + N_{qv} \overline{\gamma} HD.$$

Для песка (т.е. c=0), Q_u может быть переписано, как:

$$Q_u = N_{qv} \overline{\gamma} HD,$$

где

$$N_{qv} = \left(\frac{\phi H}{44D} \right) \leq N_q$$

$$= \left(\frac{32 \cdot 1,2}{44 \cdot 1,2} \right) = 0,73$$

Следовательно,

$$Q_u = 0,73 \cdot 18000 \cdot 1,2 \cdot 1,2 = 18921 \text{ Н/м} = 18,9 \text{ кН/м}.$$

Смещение грунта вертикального подъема может быть вычислено, как:

$$\Delta_{qu} = 0,15 \cdot H = 0,15 \cdot 1,2 = 0,18 \text{ м}.$$

Опускание:

Максимальное вертикальное сопротивление грунта опускания, действующее на единицу длины трубопровода, может быть найдено, как (пункт Б3.2, 3.8.3):

$$Q_d = N_c cD + N_{qv} \overline{\gamma} HD + N_\gamma \gamma \frac{D^2}{2}.$$

Для песка (т.е. c=0), Q_u может быть найдено, как:

$$Q_d = N_{qv} \overline{\gamma} HD + N_\gamma \gamma \frac{D^2}{2},$$

где $N_q = 23$, $N_\gamma = 25$

(см. рис. Б3б, 3.8.3 для $\phi = 32^0$).

Следовательно,

$$Q_d = \left(23 \cdot 18000 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \right) + \left(25 \cdot 18000 \cdot \frac{1,2^2}{2} \right) = 920160 \text{ Н/м} = 920,16 \text{ кН/м}.$$

Смещение грунта при вертикальном опускании может быть найдено, как:

$$\Delta_{qd} = 0,125 \cdot D = 0,125 \cdot 1,2 = 0,15 \text{ м}.$$

Подведение результатов

Грунт участка	Направление движения трубы		Максимальное сопротивление грунта (кН/м)	Смещение грунта (м)
Участок 1	Осевое		$t_u = 126,6$	$\Delta_t = 0,005$
	Поперечное		$P_u = 325,9$	$\Delta_p = 0,072$
	Вертикальное	Подъем	$Q_u = 89,7$	$\Delta_{qu} = 0,18$
	Вертикальное	Опускание	$Q_d = 1779,8$	$\Delta_{qd} = 0,15$
Участок 2	Осевое		$t_u = 14,9$	$\Delta_t = 0,005$
	Поперечное		$P_u = 179$	$\Delta_p = 0,072$
	Вертикальное	Подъем	$Q_u = 18,9$	$\Delta_{qu} = 0,18$
	Вертикальное	Опускание	$Q_d = 920,1$	$\Delta_{qd} = 0,15$

Приложение В
(справочное)

Пример 3 Оценка сейсмической безопасности непрерывного полиэтиленового трубопровода Корсис Плюс

Постановка задачи:

Прокладываемый канализационный трубопровод Корсис Плюс внутренним диаметром 1200 мм,(I класс важности) уложен в траншею на глубину 1,2 м. до оси трубопровода. Необходимо проверить безопасность трубопровода при следующих условиях.

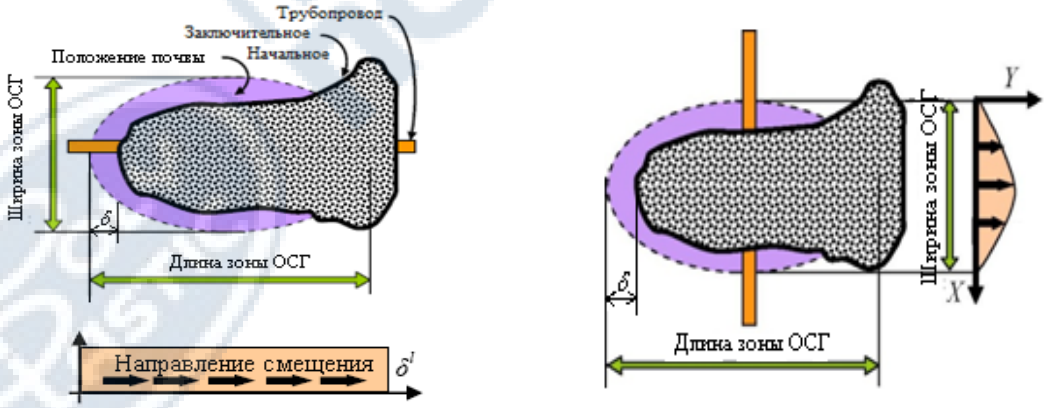
Случай I: Остаточное смещение грунта (ОСГ)

Длина и ширина зоны ОСГ составляют 100 м и 50 м, соответственно. Трубопровод в зоне ОСГ уложен в грунт (Песок с углом трения (ϕ) = 32 ° и эффективным удельным весом равным 18 кН/м^3.)

Смещение грунта (δ^l и δ^t) составляет 2 м. Необходимо проверить трубопровод, если он ориентирован:

1) параллельно движению грунта (Рис. В3.1(а) и

2) поперечно движению грунта (Рис. В3.1(б).



(а) **(б)**

Рисунок В3.1: а) Трубопровод параллельно пересекает движение грунта; **б)** Трубопровод поперек пересекает движение грунта

Случай II: Плавучесть из-за разжижения грунта

Труба, как ожидается, испытает выталкивающую силу во время разжижения грунта по длине приблизительно 10 м. Удельная плотность насыщенного грунта составляет 18кН/м^3. Предполагается, что грунтовые воды находятся на 1 м ниже залегания трубы.

Случай III: Пересечение разлома

Трубопровод пересекает сбросовый разлом со смещением разлома равным 1,5 м. и под углом наклона 35^0 (рис. В3.2). Трубопровод пересекает линию разлома под углом 40^0 к линии разлома. Источник землетрясения, как предполагается, находится на расстоянии 20 км. Трубопровод в зоне разлома сталкивается с таким же грунтом, как на участке 1 из примера 2.

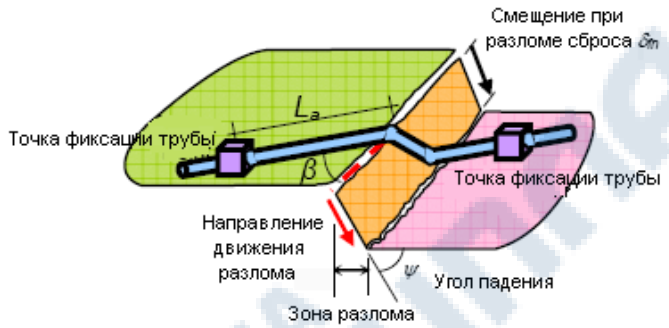


Рисунок В3.2: Трубопровод, проходящий через сбросовый разлом

Случай IV: Сейсмическое распространение волны

Ожидаемое пиковое ускорение грунта (ПУГ) на участке составляет 0,45g в основном каменистом слое. Грунт на участке такой же, как и на участке 1 из примера 2.

Решение:

Основное:

Модуль упругости материала трубы равен 1000 МПа.

Класс грунта: Е (таблица 3.3).

Класс трубопровода: I (пункт 3.2).

Случай I: Остаточное смещение грунта (ОСГ):

а) Параллельное пересечение (т.е. продольное ОСГ).

Ожидаемая величина остаточного смещения грунта параллельного оси трубопровода $= \delta^l = 2$ м.

Максимальная длина постоянного смещения зоны составляет 150 м.

Проектное смещение грунта =

$$\delta_{пр}^{l} = \delta^{l} \cdot I_{p} \text{ (пункт 4.1)},$$

где

I_p - фактор важности (таблица 3.5.2).

Для трубопровода I класса, $I_p = 1,5$.

$$\delta_{пр}^{l} = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ мм}$$

Как описано в пункте 4.1.1.1, могут использоваться 2 типа моделей продольного ОСГ.

Соответствующая 1 случаю:

Величина движения грунта ($\delta_{пр}^{l}$) считается большой, и деформация трубы контролируется длиной (L) зоны остаточного смещения грунта. Максимальная деформация полиэтиленовой трубы (растяжение/сжатие) для этого случая вычисляется как: (пункт 4.1.1.2) (без поправочных коэффициентов)

$$\varepsilon_a = \frac{t_u L}{2\pi DtE},$$

где

t_u - максимальная осевая грунтовая сила, действующая на единицу длины трубопровода, для условия грунта, соответствующего “участку 2” (см. пример 2).

$t_u = 14900$ Н/м.

Следовательно,

$$\varepsilon_a = \frac{14900 \cdot 100}{2 \cdot \pi \cdot 1,2 \cdot 0,0266 \cdot 10^9} = 0,0074 = 0,74\ \%.$$

Соответствующая 2 случаю:

Длина (L) зоны остаточного смещения грунта большая, и деформация трубы контролируется величиной движения грунта ($\delta_{пр}^{t}$) (пункт 4.1.1.3). Максимальная деформация трубы (растяжение/сжатие) для этого случая вычисляется, как (без поправочных коэффициентов):

$$\varepsilon_a = \frac{t_u L}{\pi DtE}$$

где

L_e - эффективная длина трубопровода, подверженная действию t_u, и которая может быть найдена из следующего уравнения (без поправочных коэффициентов):

$$\delta_{пр}^{l} = \frac{t_u L_e^2}{\pi DtE}.$$

Отсюда, эффективная длина трубопровода вычисляется, как: $L_e = 79$ м.

Отсюда,

$$\varepsilon_a = \frac{14900 \cdot 79}{\pi \cdot 1,2 \cdot 0,0266 \cdot 10^9} = 0,0117 = 1,17\ \%.$$

Проектная деформация трубы берется, как меньшее значение из этих 2 случаев.

$= \varepsilon_{сейсм} = 0,0074$ (растяжение/сжатие).

Операционная деформация трубы $= \varepsilon_{эксп} = 0,0044$ (сжатие).

Отсюда,

общая растягивающая деформация трубы

$= 0,0074 - 0,0044 = 0,0030$

общая сжимающая деформация $= 0,0074 + 0,0044 = 0,0118$.

Допустимая растягивающая деформация полиэтиленовых труб для ОСГ (пункт 3.9) $= 20\ \% = 0,2$

Допустимая сжимающая деформация для полиэтиленовых трубопроводов (пункт 3.9)

$= \varepsilon_{cr-c} = 30\% = 0.3$

t - толщина трубы

R - радиус трубы.

Отсюда, общая деформация трубы от продольной деформации меньше, чем допустимая деформация.

б) Поперечное пересечение (т.е. поперечное ОСГ)

Ожидаемая величина поперечного остаточного смещения грунта (δ^t) = 2 м.

Проектное поперечное смещение грунта (пункт 4.2) $= \delta^t_{пр} = \delta^t \cdot I_p = 2 \cdot 1,5 = 3$ м

Максимальная изгибающая деформация трубы может быть вычислена, как наименьшее значение из следующих 2 (пункт 4.2.1.1):

а) $\varepsilon_b = \pm \dfrac{\pi D \delta^t_{пр}}{W^2} = \pm \dfrac{\pi \cdot 1,2 \cdot 3}{50^2} = \pm 0,0045$, и

б) $\varepsilon_b = \pm \dfrac{P_u W^2}{3\pi E t D^2}$,

где

P_u - максимальное поперечное сопротивление грунта, действующее на единицу длины трубопровода, для условия грунта, соответствующего “участку 2” (см. пример 2) $=179000$ Н/м.

Отсюда,

$$\varepsilon_b = \pm \frac{179000 \cdot 50^2}{3 \cdot \pi \cdot 10^9 \cdot 0,0266 \cdot 1,2^2} = 1.24$$

Отсюда, максимальная деформация трубы от поперечного ОСГ может быть взята, как $= \varepsilon_{сейсм} = \pm 0,00023$ (растяжение/сжатие).

Эксплуатационная деформация трубы (пример 5) $= \varepsilon_{эксп} = 0,0044$ (сжатие).

Отсюда,

общая продольная растягивающая деформация трубы

$= 0,0045 - 0,0044 = 0,001$;

общая продольная сжимающая деформация трубы

$= 0,0045 + 0,0044 = 0,0089.$

Допустимая сжимающая деформация для полиэтиленовых трубопроводов (пункт 3.9)

$\varepsilon_{cr-c} = 30$ %.

Общая деформация трубы от поперечного ОСГ меньше, чем допустимая деформация для сжатия.

Случай II: Плавучесть из-за разжижения грунта

Результат направленной вверх силы, действующей на единицу длины трубопровода, из-за плавучести, может быть вычислен, как:

Протяженность разжижения $= L_b = 10$ м.

$$F_b = \frac{\pi D^2}{4}\left(\gamma_{sat} - \gamma_{content}\right) - \pi D t \gamma_{pipe};$$

$$F_b = \frac{\pi \cdot 1,2^2}{4}\left(18000 - 0\right) - \pi \cdot 1,2 \cdot 0,0266 \cdot 9500 = 20054 \text{ Н/м}$$

Удельный вес полиэтиленового трубопровода (γ_{pipe}) взят равным 9500 Н/м^3.

Изгибающая деформация трубы от выталкивающей силы (F_b) может быть вычислена, как:

$$\sigma_{bf} = \pm \frac{F_b L_b^2}{10Z},$$

где

L_b - длина трубы в плавучей зоне;

Z - осевой момент сопротивления сечения трубы

$$= \frac{\pi}{32}\frac{\left(1,2^4 - 0,0736^4\right)}{1,2} = 0.17 \text{ м}^4;$$

$$\sigma_{bf} = \pm\frac{20054}{10 \cdot 0.17} = 1,17 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2.$$

Максимальная деформация трубы, соответствующая вышеупомянутому изгибающему напряжению, может быть вычислена, как (без поправочных коэффициентов):

$$\varepsilon = \frac{\sigma_{bf}}{E} = \frac{1,17 \cdot 10^4}{10^9} = 0,000012 = 0,0012 \text{ \%} \text{ (растяжение/сжатие).}$$

Эксплуатационная деформация трубы (пример 5) $= \varepsilon_{эксп} = 0,0044$ (сжатие).

Отсюда,

общая продольная растягивающая деформация трубы

$= 0,000012 - 0,0044 = -0,00444$ (деформация является сжимающей);

общая продольная сжимающая деформация трубы

$= 0,000012 + 0,0044 = 0,0044.$

Допустимая сжимающая деформация для полиэтиленовых трубопроводов (пункт 3.9)

$\varepsilon_{cr-c} = 30$ %.

Общая деформация трубы в результате эффекта всплытия меньше, чем допустимая деформация для полиэтиленовых трубопроводов при сжатии.

Случай III: Пересечение разлома

Ожидаемое смещение сбросового разлома

$= \delta_{fn} = 1,5$ м.

Угол наклона движения разлома $= \psi = 35^0$.

Угол между трубопроводом и линией разлома

$= \beta = 40^0$.

Компонент смещения разлома в осевом направлении трубопровода (пункт 6.1.3):

$$\delta_{fax} = \delta_{fn}\cos\psi\sin\beta = 1,5 \cdot \cos 35^0 \cdot \sin 40^0 = 0,790 \text{ м.}$$

Компонент смещения разлома в поперечном направлении трубопровода:

$$\delta_{ftr} = \delta_{fn}\cos\psi\cos\beta = 1,5 \cdot \cos 35^0 \cdot \cos 40^0 = 0,941 \text{ м.}$$

Фактор важности для движения разлома для I класса трубопровода $= I_p = 2,3$ (таблица 3.5.1).

Применяя фактор важности, проектное смещение разлома в осевом направлении становится равным:

$= \delta_{faxпр} = \delta_{fax} \cdot I_p = 0,790 \cdot 2,3 = 1,81$ м.

И проектное смещение разлома в поперечном направлении становится равным:

$= \delta_{ftrпр} = \delta_{ftr} \cdot I_p = 0,941 \cdot 2,3 = 2,164$ м.

Средняя деформация трубы от движения разлома в осевом направлении может быть вычислена, как:

$$\varepsilon = 2\left[\frac{\delta_{faxпр}}{2L_a} + \frac{1}{2}\left(\frac{\delta_{ftr\ пр}}{2L_a}\right)^2\right],$$

где

L_a – эффективная незакрепленная длина трубы в зоне разлома (пункт 6.2.2).

$$L_a = \frac{E_i \varepsilon_y \pi D t}{t_u} = \frac{10^9 \cdot 0,2 \cdot \pi \cdot 1,2 \cdot 0,0266}{132552} = 47 \text{ м}$$

или

L_a – фактическая длина закрепления = 100 м.

Отсюда, закрепленная длина берется наименьшей из верхних значений (пункт 6.2.2).

Так $L_a = 47$ м.

Отсюда, осевая деформация трубы равна:

$$\varepsilon = 2\left[\frac{1,81}{2 \cdot 47} + \frac{1}{2}\left(\frac{2,164}{2 \cdot 47}\right)^2\right]$$

$= 0,039 = 3,9$ % (растяжение).

Эксплуатационная деформация трубы (Пример 5) $= \varepsilon_{эксп} = 0,0044$ (сжатие).

Отсюда, общая растягивающая деформация трубы

$= 0,039 - 0,0044 = 0,0346 = 3,5$ %.

Допустимая растягивающая деформация трубы (пункт 3.9) $= 20$ %=0,2.

Общая растягивающая деформация трубы при пересечении разлома меньше, чем допустимая растягивающая деформация для полиэтиленовых трубопроводов.

Случай IV: Сейсмическое распространение волн

Ожидаемое ПУГ на участке в основном каменистом слое $ПУГ_r = 0,45g$.

Для грунта класса Е, ПУГ $= 0,45 \cdot I_g$.

$= 0,45 \cdot 0,9 = 0,405g$ (Таблица 3.5.3 (б)).

Преобразуя ПУГ в ПСГ с использованием таблицы 3.5.5

$$\frac{ПСГ}{ПУГ} = 140$$

(Рассматривается мягкий грунт, и магнитуда проектного основного землетрясения (М) равна 6,5, и расстояние до источника землетрясения примерно 20 км).

Отсюда, $ПСГ = 0,405 \cdot 140 = 56,7$ см/с.

Проектная ПСГ (пункт 7.1.1)

$= V_g ПСГ \cdot I_p$,

где

$I_p = 1,5$ (таблица 3.5.2).

Отсюда, $V_g = 56,7 \cdot 1,5 = 85,05$ см/с=0,85 м.

Максимальная осевая деформация от скорости волны может быть вычислена, как (пункт 7.2.1):

$$= \varepsilon_a = \frac{V_g}{\alpha_\varepsilon \cdot C} = \frac{0,85}{2 \cdot 2000} = 0,00021,$$

где

С – скорость сейсмического распространения волны.

$= 2$ км/с (скорость сдвигающей волны принимается доминирующей) (пункт 7.1.2 и 7.2.1)

α_ε - коэффициент деформации грунта =2,0 (пункт 7.2.1).

Максимальная осевая деформация, которая может быть передана трением грунта, может быть вычислена, как:

$$\varepsilon_a = \frac{t_u \lambda}{4AE} = \frac{126611 \cdot 1000}{4 \cdot 1,13 \cdot 10^9} = 0,028$$

где

$$t_u = \pi Dc\alpha + \pi DH\bar{\gamma}\frac{1+K_0}{2}\tan\delta'.$$

$t_u = 126611$ Н/м (см. Пример 6).

Площадь поперечного сечения (А) трубопровода:

$= A = \frac{\pi}{4}\left(1,2^2\right) = 1,13$ м^2

λ - очевидная длина сейсмических волн на поверхности грунта (пункт 7.2.2) =1000 м.

Вычисленная осевая деформация трубы от прохождения волны (т.е. 0,00021), должна быть не более, чем деформация, переданная трением грунта (т.е. 11,5).

Эксплуатационная деформация трубы (Пример 5) $= \varepsilon_{эксп} = 0,0044$(сжатие).

Отсюда, общая растягивающая деформация трубы

$= 0,00021 - 0,0044 = -0,00419$ (т.е. общая деформация является сжимающей).

Допустимая сжимающая деформация для полиэтиленовых трубопроводов (пункт 3.9)

$= \varepsilon_{cr-c} = 30$ %.

Максимальная деформация трубы от распространения волны меньше, чем допустимая деформация для полиэтиленовых трубопроводов при сжатии.

Подведение результатов

Случай	Максимальная растягивающая деформация трубы	Максимальная сжимающая деформация трубы	Допустимая растягивающая деформация трубы	Допустимая сжимающая деформация трубы	Безопасно/ Опасно
I	$0,0030$	$0,0118$	$0,2$	$0,3$	Безопасно
II	-	$0,0044$	$0,2$	$0,3$	Безопасно
III	$0,0346$	-	$0,2$	$0,3$	Безопасно
IV	-	$0,00419$	$0,2$	$0,3$	Безопасно

Приложение Г
(справочное)

Пример 4 – Вычисление эксплуатационной деформации непрерывного полиэтиленового водопровода.

По данной методике рассчитаем полиэтиленовый водопровод в сейсмических районах. Полиэтиленовый трубопровод является непрерывным, поэтому все расчеты для него будем вести, как в примерах 1-3 данных руководящих принципов.

Размеры труб должны соответствовать указанным в таблице 1.

Таблица 1

В миллиметрах

Средний наружный диаметр		SDR 26		SDR 21		SDR 17.6		SDR 17		SDR 13.6		SDR 11		SDR 7.4		Оваль-ность после экструзии
		Максимальное рабочее давление воды при 20 ºС, МПа														
		0,6		0,8		0,95		1,0		1,25		1,6		2,5		
		Толщина стенки														
номин.	пред. откл.	номин.	пред. откл.	номин.	пред. откл.	номин.	пред. откл.	номин.	пред. откл.	номин.	пред. откл.	номин.	пред. откл.	номин.	пред. откл.	
50	+0,5	–	–	2,4	+0,5	2,9	+0,5	–	–	–	–	–	–	6,9	1,1	1,4
63	+0,6	2,5	+0,5	3,0	+0,5	3,6	+0,6	–	–	–	–	–	–	8,6	1,3	1,5
75	+0,7	2,9	+0,5	3,6	+0,6	4,3	+0,7	–	–	–	–	–	–	10,3	1,6	1,6
90	+0,9	3,5	+0,6	4,3	+0,7	5,2	+0,8	–	–	–	–	–	–	12,3	1,9	1,8
110	+1,0	4,2	+0,7	5,3	+0,8	6,3	+1,0	–	–	–	–	–	–	15,1	2,3	2,2
125	+1,2	4,8	+0,8	6,0	+0,9	7,1	+1,1	–	–	–	–	–	–	17,1	2,6	2,5
140	+1,3	5,4	+0,9	6,7	+1,1	8,0	+1,2	–	–	–	–	–	–	19,2	2,9	2,8
160	+1,5	6,2	+1,0	7,7	+1,2	9,1	+1,4	–	–	–	–	–	–	21,9	3,3	3,2
180	+1,7	6,9	+1,1	8,6	+1,3	10,2	+1,6	–	–	–	–	–	–	24,6	3,7	3,6
200	+1,8	7,7	+1,2	9,6	+1,5	11,4	+1,8	–	–	–	–	–	–	27,4	4,2	4,0
225	+2,1	8,6	+1,3	10,8	+1,7	12,8	+2,0	–	–	–	–	–	–	30,8	4,7	4,5
250	+2,3	9,6	+1,5	11,9	+1,8	14,2	+2,2	–	–	–	–	–	–	34,2	5,2	5,0
280	+2,6	10,7	+1,7	13,4	+2,1	15,9	+2,4	–	–	–	–	–	–	38,3	5,8	9,8
315	+2,9	12,1	+1,9	15,0	+2,3	17,9	+2,7	–	–	–	–	–	–	43,1	6,5	11,1
355	+3,2	13,6	+2,1	16,9	+2,6	20,1	+3,1	–	–	–	–	–	–	48,5	7,3	12,5
400	+3,6	15,3	+2,3	19,1	+2,9	22,7	+3,5	–	–	–	–	–	–	54,7	8,3	14,0
450	+4,1	17,2	+2,6	21,5	+3,3	25,5	+3,9	–	–	–	–	–	–	61,5	9,3	15,6
500	+4,5	19,1	+2,9	23,9	+3,6	28,3	+4,3	–	–	–	–	–	–	68,3	10,3	17,5
560	+5,0	21,4	+3,3	26,7	+4,1	31,7	+4,8	–	–	–	–	–	–	–	–	19,6
630	+5,7	24,1	+3,7	30,0	+4,5	35,7	+5,4	–	–	–	–	–	–	–	–	22,1
710	+6,4	27,2	+4,1	33,9	+5,1	40,2	+6,1	–	–	–	–	64,5	+9,7	–	–	24,9
800	+7,2	30,6	+4,6	38,1	+5,8	45,3	+6,8	–	–	–	–	72,6	+10,9	–	–	28,0
900	+8,1	34,4	+5,2	42,9	+6,5	51,0	+7,7	–	–	66,1	+10,0	–	–	–	–	31,5
1000	+9,0	38,2	+5,8	47,7	+7,2	56,6	+8,5	–	–	73,5	+11,1	–	–	–	–	35,0
1200	+10,0	45,9	+6,9	57,2	+8,6	68,0	+10,2	71,1	+10,7	–	–	–	–	–	–	42,0

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ:

Прокладываемый подземный полиэтиленовый водопровод внешним диаметром 225 мм, SDR 26, рассчитан на давление 0,6 МПа (III класс важности). Температура монтажа трубопровода составляет 20 ^{0}С, а эксплуатации - 0 ^{0}С. Коэффициент Пуассона μ для полиэтилена составляет 0,43; коэффициент линейного теплового расширения α равен $2,2 \cdot 10^{-4}$ 1/^{0} С.

Необходимо определить деформацию трубы от внутреннего давления и температуры.

Решение:

Модуль упругости материала трубы составляет 1000 МПа.

Деформация трубы от внутреннего давления

Продольное напряжение, возникающее в трубе, от внутреннего давления вычисляется (пункт 3.8.1):

$$S_p = \frac{PD\mu}{2t} = \frac{600000 \cdot 0,225 \cdot 0,43}{2 \cdot 0,0082} = 3,54 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2 = 3,54 \text{ МПа}.$$

Продольная деформация трубы от внутреннего давления составляет:

$$\varepsilon_p = \frac{S_p}{E} = \frac{3,54 \cdot 10^6}{10^9} = 0,0035 = 0,35 \text{ \% (растяжение)}.$$

Деформация трубы от температурного изменения:

Продольное напряжение, возникающее в трубе от температурного изменения, вычисляется, как (пункт 3.8.1):

$$S_t = E\alpha(T_2 - T_1) = 10^9 \cdot 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ 1/}^0\text{C} \cdot (20 - 0) = 4,4 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2 = 4,4 \text{ МПа}.$$

Продольная деформация трубы от температурного изменения составляет:

$$\varepsilon_p = \frac{S_t}{E} = \frac{4,4 \cdot 10^6}{10^9} = 0,0044 = 0,44 \text{ \% (сжатие)}.$$

Поэтому, полная деформация в полиэтиленовом трубопроводе из-за внутреннего давления и температуры:

$$= 0,44 - 0,35 = 0,09 \text{ \% (}\textit{сжатие}\text{)}.$$

Игнорируя деформацию трубы от начального изгиба, данная деформация может рассматриваться, как эксплуатационная деформация трубы (т.е. $\varepsilon_{эксп} = 0,09$ %).

Приложение Д
(справочное)

Пример 5 – Вычисление пружин грунта, представляющих взаимодействие непрерывного полиэтиленового водопропровода с грунтом

Трубопровод такой же, как в Примере 1, уложен в траншею на глубину 1 м. до оси трубопровода. Необходимо вычислить свойства пружин грунта (окончательное сопротивление грунта и смещение грунта), чтобы представить взаимодействие трубопровода с грунтом в (а) осевом, (б) боковом и (в) вертикальном направлении для следующих двух условий участка.

Участок 1: Средний песок с коэффициентом сцепления = 30 кПа, угол внутреннего трения грунта (ϕ) = 30 ° и эффективным удельным весом равным 18 кН/м^3

Участок 2: Песок с углом трения (ϕ) = 32 ° и эффективным удельным весом равным 18 кН/м^3.

Решение:

Участок 1:

(а) Осевая пружина грунта:

Максимальное осевое сопротивление грунта, действующее на единицу длины трубопровода (t_u), может быть вычислено, как (пример Б.1, приложение Б):

$$t_u = \pi Dc\alpha + \pi DH\overline{\gamma}\frac{1+K_0}{2}\tan\delta',$$

где

D - диаметр трубы = 0,225 м;

c - коэффициент сцепления грунта = 30 кПа;

α - коэффициент сцепления

$$= 0,608 - 0,123c - \frac{0,274}{c^2+1} + \frac{0,695}{c^3+1} = 0,9964;$$

H - высота от оси трубопровода до поверхности $= 1$ м;

$\overline{\gamma}$ - эффективный удельный вес грунта $= 18000$ Н/м^3;

Угол трения между трубой и грунтом $= \delta' = f\phi$,

где

f - коэффициент трения = 0,43 - для полиэтиленовой трубы

ϕ - угол внутреннего трения грунта = 30^0;

Следовательно, $\delta' = f\phi = 0,43 \cdot 30^0 = 12.9^0$;

K_0 - коэффициент давления грунта в покое

$= 1 - \sin 30^0 = 0,5$

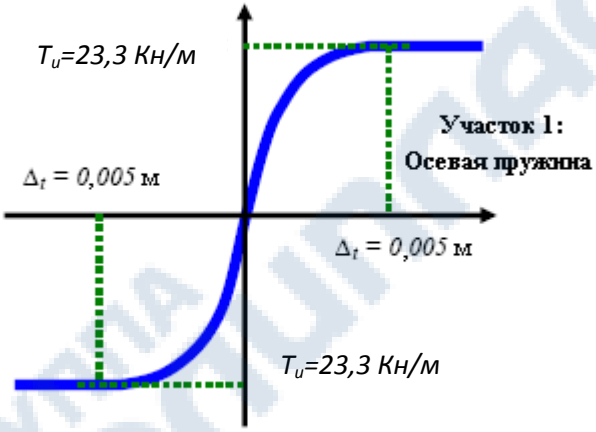
Следовательно,

$$t_u = \left(\pi \cdot 0,225 \cdot 30000 \cdot 0,9964\right) + \left(\pi \cdot 0,225 \cdot 1 \cdot 18000 \cdot \frac{1+0,5}{2} \tan 18^0\right) = 23302.8 \text{ Н/м=23,3 кН/м.}$$

Смещение грунта в осевом направлении может быть взято, как:

T_u=*23,3 Кн/м*

$\Delta_t = 5$ мм=0,005 м (пункт Б1, приложение Б).



(б) Боковая пружина грунта:

Максимальное поперечное сопротивление грунта, действующее на единицу длины трубопровода, может быть вычислено, как (пример Б.2, приложение Б):

$$P_u = N_{ch} cD + N_{qh} \overline{\gamma} HD,$$

где

N_{ch} - горизонтальный коэффициент допустимой нагрузки для глины

$$N_{ch} = a + bx + \frac{c}{(x+1)^2} + \frac{d}{(x+1)^3} \le 9,$$

где

$$x = \frac{H}{D} = \frac{1}{0,225} = 4,44$$

$a = 6,752,$

$b = 0,065,$

$c = -11,063,$ и

d=7,119.

(См. таблицу Б.2, приложение Б).

Следовательно,

$$N_{ch} = 6,752 + 0,065 \cdot 4,44 + \left(\frac{-11,063}{(4,44+1)^2}\right) + \left(\frac{7,119}{(4,44+1)^3}\right) = 6,714.$$

N_{qh} - горизонтальный коэффициент допустимой нагрузки для песка.

$$N_{qh} = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4,$$

где

$a = 4,565,$

$b = 1,234,$

$c = -0,089,$

d=$4,275 \cdot 10^{-3}$,

$e = -9,159 \cdot 10^{-5}$.

(См. таблицу Б.2, приложение Б для значений a, b, c,d и e для $\phi = 30^0$).

Следовательно,

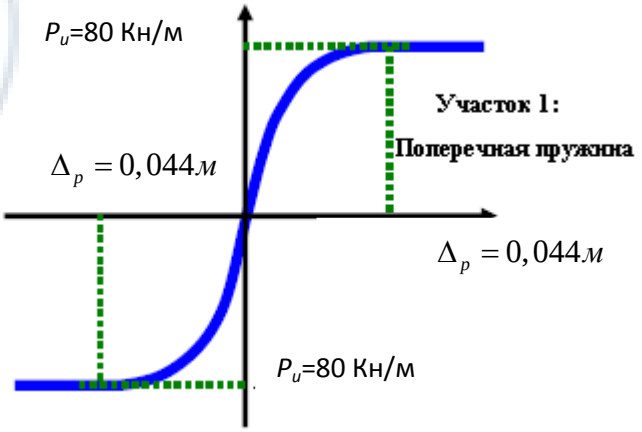
$$N_{qh} = 4,565 + 1,234 \cdot 4,44 + (-0,089 \cdot 4,44^2) + (4,275 \cdot 10^{-3} \cdot 4,44^3) + (-9,159 \cdot 10^{-5} \cdot 4.44^4) = 8,63.$$

Следовательно,

$$P_u = (6,714 \cdot 30000 \cdot 0,225) + (8,63 \cdot 18000 \cdot 1 \cdot 0,225) = 80271 \text{ Н/м=80 кН/м.}$$

Смещение грунта в поперечном направлении может быть вычислено, как (пункт Б2, приложение Б):

$$\Delta_p = 0,04\left(H + \frac{D}{2}\right) = 0,04 \cdot \left(1 + \frac{0,225}{2}\right) = 0,044$$



в) Вертикальная пружина подъема

Подъем:

Максимальное вертикальное сопротивление грунта подъема, действующее на единицу длины трубопровода, может быть найдено, как (пункт Б3.1, пример Б):

$$Q_u = N_{cv} cD + N_{qv} \overline{\gamma} HD,$$

где

N_{cv} – вертикальный коэффициент подъема для глины.

$$N_{cv} = 2\left(\frac{H}{D}\right) \le 10.$$

Следовательно, $N_{cv} = 2 \cdot \frac{1}{0,225} = 8,88.$

Принимаем $N_{cv} = 10$

$$N_{qv} = \left(\frac{\phi H}{44D}\right) \le N_q$$

$$= \left(\frac{30 \cdot 1}{44 \cdot 0,225}\right) = 3,03.$$

Следовательно,

$Q_u = (8,88 \cdot 30000 \cdot 0,225) + (3,03 \cdot 18000 \cdot 1 \cdot 0,225) = 72211$ Н/м=72,2 кН/м.

Смещение грунта вертикального подъема может быть вычислено, как:

$\Delta_{qu} = 0,15 \cdot H = 0,15 \cdot 1 = 0,15$ м.

Опускание:

Максимальное вертикальное сопротивление грунта опускания, действующее на единицу длины трубопровода, может быть найдено, как (пункт Б3.2, пример Б):

$$Q_d = N_c cD + N_{qv} \overline{\gamma} HD + N_\gamma \gamma \frac{D^2}{2}.$$

$$Q_d = N_{qv} \overline{\gamma} HD + N_\gamma \gamma \frac{D^2}{2},$$

где $N_c = 30,\ N_q = 18,\ \mathrm{N}_\gamma = 18$

(см. рис. Б3б, приложение Б).

Следовательно,

$$Q_d = \left(30 \cdot 30000 \cdot 0,225\right) + \left(18 \cdot 18000 \cdot 1 \cdot 0,225\right) + \left(18 \cdot 18000 \cdot \frac{0,225^2}{2}\right) = 283601,25 \text{ Н/м=283,6 кН/м.}$$

Смещение грунта при вертикальном опускании может быть найдено, как:

$\Delta_{qd} = 0,125 \cdot D = 0,125 \cdot 0,225 = 0,028$ м.

Участок 2:

(а) Осевая пружина грунта:

Максимальное осевое сопротивление грунта, действующее на единицу длины трубопровода (t_u), может быть вычислено, как (пример Б.1, приложение Б):

$$t_u = \pi Dc\alpha + \pi DH\bar{\gamma}\frac{1+K_0}{2}\tan\delta^{'}.$$

Для песка (т.е. с=0), t_u может быть найдено, как:

$$t_u = \pi DH\bar{\gamma}\frac{1+K_0}{2}\tan\delta^{'},$$

где

D - диаметр трубы = 0,225 м;

H - высота от оси трубопровода до поверхности = 1 м;

$\bar{\gamma}$ - эффективный удельный вес грунта $=18000$ Н/м^3;

Угол трения между трубой и грунтом $=\delta^{'} = f\phi$,

где

f - коэффициент трения = 0,43, для гладкой стальной трубы

ϕ - угол внутреннего трения грунта = 32^0.

Следовательно, $\delta^{'} = f\phi = 0,43\cdot 32^0 = 13,76^0$;

K_0 - коэффициент давления грунта в покое

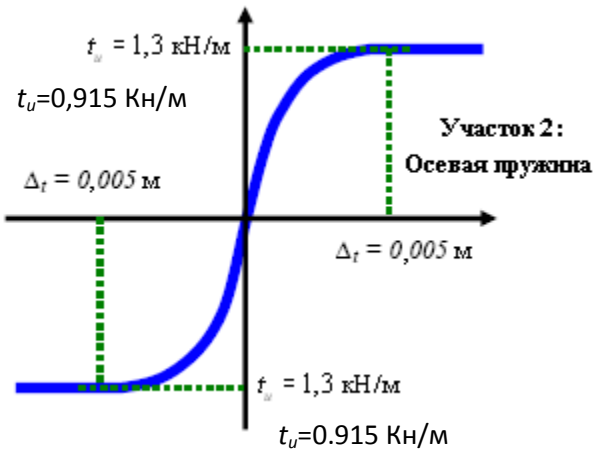
$=1-\sin 32^0 = 0,47$

Следовательно,

$$t_u = \left(\pi\cdot 0,09\cdot 1\cdot 18000\cdot\frac{1+0,47}{2}\tan 13,76^0 + 0,9\cdot 1\cdot 15\right) = 91,15 кН/м.$$

Смещение грунта в осевом направлении может быть взято, как:

$\Delta_t = 5$ мм=0,005 м (пункт Б1, приложение Б).



(б) Боковая пружина грунта:

Максимальное поперечное сопротивление грунта, действующее на единицу длины трубопровода, может быть вычислено, как (пример Б.2, приложение Б):

$$P_u = N_{ch}cD + N_{qh}\overline{\gamma}HD.$$

Для песка (т.е. c=0), P_u может быть переписано, как:

$$P_u = N_{qh}\overline{\gamma}HD,$$

где

N_{qh} - горизонтальный коэффициент допустимой нагрузки для песка.

$$N_{qh} = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4,$$

где, $x = \dfrac{H}{D} = \dfrac{1}{0,225} = 4,4$

$a = 5,565,$

$b = 1,548,$

$c = -0,1118,$

d=$5,625 \cdot 10^{-3}$,

$e = -1,2227 \cdot 10^{-5}.$

(См. таблицу Б.2, приложение Б для значений a, b, c,d и e для $\phi = 32^0$).

Следовательно,

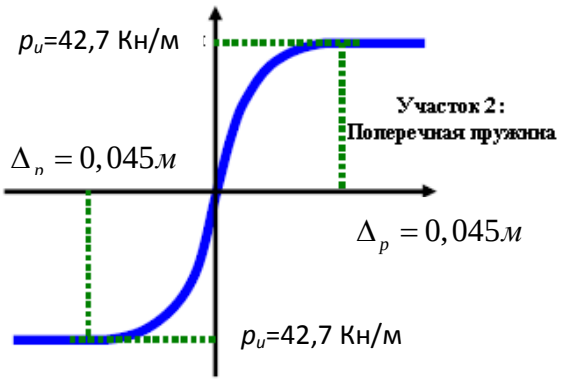
$$N_{qh} = 5,465 + 1,548 \cdot 4,4 + (-0,1118 \cdot 4,4^2) + (5,625 \cdot 10^{-3} \cdot 4,4^3) + (-1,2227 \cdot 10^{-4} \cdot 4,4^4) = 10,55.$$

Следовательно,

$P_u = 10,55 \cdot 18000 \cdot 1 \cdot 0,225 = 42728$ Н/м=42,7 кН/м.

Смещение грунта в поперечном направлении может быть вычислено, как (пункт Б2, приложение Б):

$$= 0,04\left(H + \frac{D}{2}\right) = 0,04 \cdot \left(1 + \frac{0,225}{2}\right) = 0,045 \text{ м}$$



в) Вертикальная пружина подъема

Подъем:

Максимальное вертикальное сопротивление грунта подъема, действующее на единицу длины трубопровода, может быть найдено, как (пункт Б3.1, пример Б):

$$Q_u = N_{cv} cD + N_{qv} \overline{\gamma} HD.$$

Для песка (т.е. c=0), Q_u может быть переписано, как:

$$Q_u = N_{qv} \overline{\gamma} HD,$$

где

$$N_{qv} = \left(\frac{\phi H}{44D}\right) \le N_q$$

$$= \left(\frac{32 \cdot 1}{44 \cdot 0,225}\right) = 3,2$$

Следовательно,

$$Q_u = 3,2 \cdot 18000 \cdot 1 \cdot 0,225 = 12960 \text{ Н/м} = 12,96 \text{ кН/м}.$$

Смещение грунта вертикального подъема может быть вычислено как:

$$\Delta_{qu} = 0,15 \cdot H = 0,15 \cdot 1 = 0,15 \text{ м}.$$

Опускание:

Максимальное вертикальное сопротивление грунта опускания, действующее на единицу длины трубопровода, может быть найдено, как (пункт Б3.2, пример Б):

$$Q_d = N_c cD + N_{qv} \overline{\gamma} HD + N_\gamma \gamma \frac{D^2}{2}.$$

Для песка (т.е. c=0), Q_u может быть найдено, как:

$$Q_d = N_{qv}\bar{\gamma}HD + N_\gamma \gamma \frac{D^2}{2},$$

где $N_q = 23,\ \mathrm{N}_\gamma = 25$

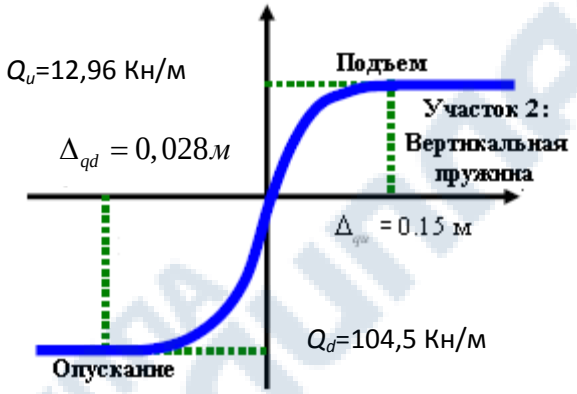
(см. рис. Б3б, приложение Б для $\phi = 32^0$).

Следовательно,

$$Q_d = \left(23 \cdot 18000 \cdot 1 \cdot 0,225\right) + \left(25 \cdot 18000 \cdot \frac{0,225^2}{2}\right) = 104540.6 \quad \text{Н/м.}$$

Смещение грунта при вертикальном опускании может быть найдено, как:

$$\Delta_{qd} = 0,125 \cdot D = 0,125 \cdot 0,225 = 0,028 \text{ м.}$$



Подведение результатов

Грунт участка	**Направление движения трубы**		**Максимальное сопротивление грунта (кН/м)**	**Смещение грунта (м)**
Участок 1	Осевое		$t_u = 23,3$	$\Delta_t = 0,005$
	Поперечное		$P_u = 80$	$\Delta_p = 0,044$
	Вертикальное	Подъем	$Q_u = 72,2$	$\Delta_{qu} = 0,15$
	Вертикальное	Опускание	$Q_d = 283,6$	$\Delta_{qd} = 0,028$
Участок 2	Осевое		$t_u = 0,915$	$\Delta_t = 0,005$
	Поперечное		$P_u = 42,7$	$\Delta_p = 0,06$
	Вертикальное	Подъем	$Q_u = 12,96$	$\Delta_{qu} = 0,15$
	Вертикальное	Опускание	$Q_d = 104,5$	$\Delta_{qd} = 0,028$

Приложение Е
(справочное)

Пример 6 – Оценка сейсмической безопасности непрерывного полиэтиленового водопровода

Постановка задачи:

Прокладываемый подземный полиэтиленовый газопровод наружным диаметром 225 мм, SDR 26, рассчитан на давление 0,6 МПа (III класс важности). Трубопровод уложен в траншею на глубину 1 м до оси трубопровода. Необходимо проверить безопасность трубопровода при следующих условиях.

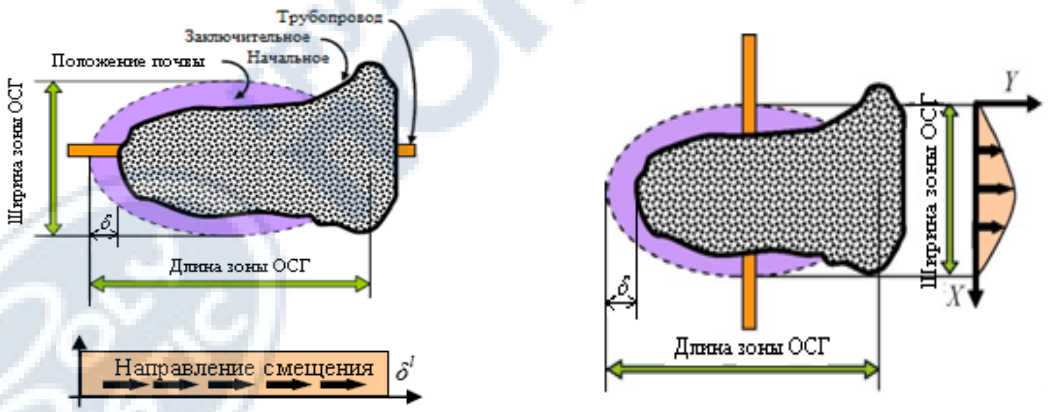
Случай I: Остаточное смещение грунта (ОСГ)

Длина и ширина зоны ОСГ составляют 100 м и 50 м, соответственно. Трубопровод в зоне ОСГ уложен в такой же грунт, как и на участке 2 из примера 2.

Смещение грунта (δ^l и δ^t) составляет 2 м. Необходимо проверить трубопровод, если он ориентирован:

1) параллельно движению грунта (Рис. Е3.1(а) и

2) поперечно движению грунта (Рис. Е3.1(б).



(а) **(б)**

Рисунок Е3.1: а) Трубопровод параллельно пересекает движение грунта; **б)** Трубопровод поперек пересекает движение грунта

Случай II: Плавучесть из-за разжижения грунта

Труба, как ожидается, испытает выталкивающую силу во время разжижения грунта по длине приблизительно 10 м. Удельная плотность насыщенного грунта составляет 18кН/м^3. Предполагается, что грунтовые воды находятся на 1 м ниже залегания трубы.

Случай III: Пересечение разлома

Трубопровод пересекает сбросовый разлом со смещением разлома равным 1,5 м. и под углом наклона 35^0 (рис. Е3.2). Трубопровод пересекает линию разлома под углом 40^0 к линии разлома. Источник землетрясения, как предполагается, находится на расстоянии 20 км. Трубопровод в зоне разлома сталкивается с таким же грунтом, как на участке 1 из примера 2.

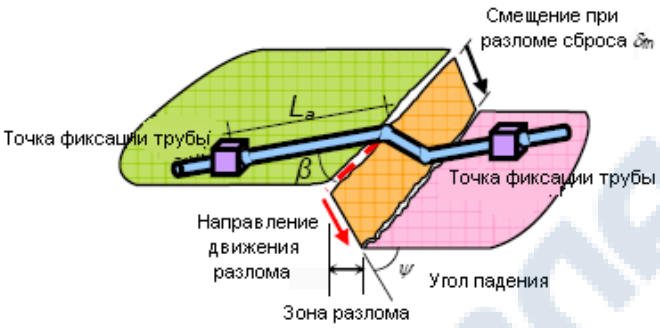


Рисунок Е3.2: Трубопровод, проходящий через сбросовый разлом

Случай IV: Сейсмическое распространение волны

Ожидаемое пиковое ускорение грунта (ПУГ) на участке составляет 0,45g в основном каменистом слое. Грунт на участке такой же, как и на участке 1 из примера 2.

Решение:

Основное:

Модуль упругости материала трубы равен 1000 МПа.

Класс грунта: Е (таблица 3.3).

Класс трубопровода: III (пункт 3.2).

Эксплуатационная деформация трубы равна 0,44 % (сжатие) (см. пример 5).

Случай I: Остаточное смещение грунта (ОСГ):

а) Параллельное пересечение (т.е. продольное ОСГ).

Ожидаемая величина остаточного смещения грунта параллельного оси трубопровода $= \delta^l = 2$ м.

Максимальная длина постоянного смещения зоны составляет 150 м.

Проектное смещение грунта =

$\delta^l_{пр} = \delta^l \cdot I_{пр}$ (пункт 4.1),

где

I_p - фактор важности (таблица 3.5.2).

Для трубопровода III класса, $I_p = 1,00$.

$\delta_{np}^{l} = 2 \cdot 1,00 = 2,0$

Как описано в пункте 4.1.1.1, могут использоваться 2 типа моделей продольного ОСГ.

Соответствующая 1 случаю:

Величина движения грунта (δ_{np}^{l}) считается большой, и деформация трубы контролируется длиной (L) зоны остаточного смещения грунта. Максимальная деформация полиэтиленовой трубы (растяжение/сжатие) для этого случая вычисляется как: (пункт 4.1.1.2) (без поправочных коэффициентов)

$$\varepsilon_a = \frac{t_u L}{2\pi DtE},$$

где

t_u - максимальная осевая грунтовая сила, действующая на единицу длины трубопровода, для условия грунта, соответствующего “участку 2” (см. пример 2).

$t_u = 915$ Н/м.

Следовательно,

$$\varepsilon_a = \frac{915 \cdot 100}{2 \cdot \pi \cdot 0,225 \cdot 0,0082 \cdot 10^9} = 0,0079 = 0,8\ \%.$$

Соответствующая 2 случаю:

Длина (L) зоны остаточного смещения грунта большая, и деформация трубы контролируется величиной движения грунта (δ_{np}^{t}) (пункт 4.1.1.3). Максимальная деформация трубы (растяжение/сжатие) для этого случая вычисляется, как (без поправочных коэффициентов):

$$\varepsilon_a = \frac{t_u L}{\pi DtE}$$

где

L_e - эффективная длина трубопровода, подверженная действию t_u, и которая может быть найдена из следующего уравнения (без поправочных коэффициентов):

$$\delta_{np}^{l} = \frac{t_u L_e^2}{\pi DtE}.$$

Отсюда, эффективная длина трубопровода вычисляется, как: $L_e = 112,5$ м.

Отсюда,

$$\varepsilon_a = \frac{915 \cdot 112,5}{\pi \cdot 0,225 \cdot 0,0082 \cdot 10^9} = 0,018 = 1,8\ \%.$$

Проектная деформация трубы берется, как меньшее значение из этих 2 случаев.

$= \varepsilon_{сейсм} = 0,018$ (растяжение/сжатие).

Операционная деформация трубы (Пример 5) $= \varepsilon_{эксп} = 0,0044$ (сжатие).

Отсюда,

общая растягивающая деформация трубы

$= 0,018 - 0,0044 = 0,0136$,

общая сжимающая деформация $= 0,018 + 0,0044 = 0,0224$.

Допустимая растягивающая деформация полиэтиленовых труб для ОСГ (пункт 3.9) $= 20\ \%$=0,2

Допустимая сжимающая деформация для полиэтиленовых трубопроводов (пункт 3.9)

$\varepsilon_{cr-c} = 30\ \%$

Отсюда, общая деформация трубы от продольной деформации меньше, чем допустимая деформация.

б) Поперечное пересечение (т.е. поперечное ОСГ)

Ожидаемая величина поперечного остаточного смещения грунта (δ^t) = 2 м.

Проектное поперечное смещение грунта (пункт 4.2) $= \delta^t_{пр} = \delta^t \cdot I_p = 2 \cdot 1,00 = 2,0$

Максимальная изгибающая деформация трубы может быть вычислена, как наименьшее значение из следующих 2 (пункт 4.2.1.1):

а) $\varepsilon_b = \pm \dfrac{\pi D \delta^t_{пр}}{W^2} = \pm \dfrac{\pi \cdot 0,225 \cdot 2}{50^2} = \pm 0,00057$, и

б) $\varepsilon_b = \pm \dfrac{P_u W^2}{3\pi E t D^2}$,

где

P_u - максимальное поперечное сопротивление грунта, действующее на единицу длины трубопровода, для условия грунта, соответствующего “участку 2” (см. пример 2) $= 42700$ Н/м.

Отсюда,

$$\varepsilon_b = \pm \frac{42700 \cdot 50^2}{3 \cdot \pi \cdot 10^9 \cdot 0,0082 \cdot 0,225^2} = 27,3.$$

Отсюда, максимальная деформация трубы от поперечного ОСГ может быть взята, как $= \varepsilon_{сейсм} = \pm 0,00057$ (растяжение/сжатие).

Эксплуатационная деформация трубы (пример 5) $= \varepsilon_{эксп} = 0,0044$ (сжатие).

Отсюда,

общая продольная растягивающая деформация трубы

$= 0,00057 - 0,0044 = -0,00383$ (общая деформация является сжимающей);

общая продольная сжимающая деформация трубы

$= 0,00057 + 0,0044 = 0,00497.$

Допустимая сжимающая деформация для стальных трубопроводов (пункт 3.9)

$\varepsilon_{cr-c} = 30$ %.

Общая деформация трубы от поперечного ОСГ меньше, чем допустимая деформация для сжатия.

Случай II: Плавучесть из-за разжижения грунта

Результат направленной вверх силы, действующей на единицу длины трубопровода, из-за плавучести, может быть вычислен, как:

Протяженность разжижения $= L_b = 10$ м.

$$F_b = \frac{\pi D^2}{4}\left(\gamma_{sat} - \gamma_{content}\right) - \pi D t \gamma_{pipe};$$

$$F_b = \frac{\pi \cdot 0,09^2}{4}\left(18000 - 0\right) - \pi \cdot 0,09 \cdot 0,0082 \cdot 9500 = 92 \text{ Н/м}$$

Предполагается, что вес газа, текущего в трубе, незначителен. Удельный вес полиэтиленового трубопровода (γ_{pipe}) взят равным 9500 Н/м^3.

Изгибающая деформация трубы от выталкивающей силы (F_b) может быть вычислена, как:

$$\sigma_{bf} = \pm \frac{F_b L_b^2}{10Z},$$

где

L_b - длина трубы в плавучей зоне;

Z - осевой момент сопротивления сечения трубы

$$= \frac{\pi}{32}\frac{\left(0,09^4 - 0,0736^4\right)}{0,09} = 3,2\cdot 10^{-4}\ м^4;$$

$$\sigma_{bf} = \pm\frac{92\cdot 10^2}{10\cdot 3,2\cdot 10^{-4}} = 2,88\cdot 10^6\ Н/м^2.$$

Максимальная деформация трубы, соответствующая вышеупомянутому изгибающему напряжению, может быть вычислена, как (без поправочных коэффициентов):

$$\varepsilon = \frac{\sigma_{bf}}{E} = \frac{2,88\cdot 10^6}{10^9} = 0,00288 = 0,29\ \%\ (растяжение/сжатие).$$

Эксплуатационная деформация трубы (пример 5) $= \varepsilon_{эксп} = 0,0044$ (сжатие).

Отсюда,

общая продольная растягивающая деформация трубы

$= 0,00288 - 0,003 = 0,00588 = -0,00312$ (общая деформация является сжимающей);

общая продольная сжимающая деформация трубы

$= 0,00288 + 0,003 = 0,00588.$

Допустимая сжимающая деформация для полиэтиленовых трубопроводов (пункт 3.9)

$\varepsilon_{cr-c} = 30\ \%.$

Общая деформация трубы в результате эффекта всплытия меньше, чем допустимая деформация для полиэтиленовых трубопроводов при сжатии.

Случай III: Пересечение разлома

Ожидаемое смещение сбросового разлома

$\delta_{fn} = 1,5$ м.

Угол наклона движения разлома

$\psi = 35^0.$

Угол между трубопроводом и линией разлома

$\beta = 40^0.$

Компонент смещения разлома в осевом направлении трубопровода (пункт 6.1.3):

$$\delta_{fax} = \delta_{fn}\cos\psi\sin\beta = 1,5\cdot\cos 35^0\cdot\sin 40^0 = 0,790\ м.$$

Компонент смещения разлома в поперечном направлении трубопровода:

$$\delta_{ftr} = \delta_{fn}\cos\psi\cos\beta = 1,5\cdot\cos 35^0\cdot\cos 40^0 = 0,941\ м.$$

Фактор важности для движения разлома для II класса трубопровода $= I_p = 1,5$ (таблица 3.5.1).

Применяя фактор важности, проектное смещение разлома в осевом направлении становится равным:

$$\delta_{faxпр} = \delta_{fax} \cdot I_p = 0,790 \cdot 1,5 = 1,185 \text{ м}$$

И проектное смещение разлома в поперечном направлении становится равным:

$$\delta_{ftrпр} = \delta_{ftr} \cdot I_p = 0,941 \cdot 1,5 = 1,412 \text{ м}$$

Средняя деформация трубы от движения разлома в осевом направлении может быть вычислена, как:

$$\varepsilon = 2\left[\frac{\delta_{faxпр}}{2L_a} + \frac{1}{2}\left(\frac{\delta_{ftr\ пр}}{2L_a}\right)^2\right],$$

где

L_a – эффективная незакрепленная длина трубы в зоне разлома (пункт 6.2.2).

$$L_a = \frac{E_i \varepsilon_y \pi D t}{t_u} = \frac{10^9 \cdot 0,2 \cdot \pi \cdot 0,09 \cdot 0,0082}{9687} = 48 \text{ м}$$

или

L_a – фактическая длина закрепления = 100 м.

Отсюда, закрепленная длина берется наименьшей из верхних значений (пункт 6.2.2).

Так $L_a = 48$ м.

Отсюда, осевая деформация трубы равна:

$$\varepsilon = 2\left[\frac{1,185}{2 \cdot 48} + \frac{1}{2}\left(\frac{1,412}{2 \cdot 48}\right)^2\right]$$

$= 0,025 = 2,5$ % (растяжение).

Эксплуатационная деформация трубы (Пример 5) $= \varepsilon_{эксп} = 0,003$ (сжатие).

Отсюда, общая растягивающая деформация трубы $= 0,025 - 0,0044 = 0,021 = 2,1$ %.

Допустимая растягивающая деформация трубы (пункт 3.9) $= 20$ %=0,2.

Общая растягивающая деформация трубы при пересечении разлома меньше, чем допустимая растягивающая деформация для полиэтиленовых трубопроводов.

Случай IV: Сейсмическое распространение волн

Ожидаемое ПУГ на участке в основном каменистом слое $ПУГ_r = 0,45g$.

Для грунта класса Е, ПУГ $= 0,45 \cdot I_g. = 0,45 \cdot 0,9 = 0,405g$ (Таблица 3.5.3 (б)).

Преобразуя ПУГ в ПСГ с использованием таблицы 3.5.5

$$\frac{ПСГ}{ПУГ} = 140$$

(Рассматривается мягкий грунт, и магнитуда проектного основного землетрясения (М) равна 6,5, и расстояние до источника землетрясения примерно 20 км).

Отсюда, $ПСГ = 0,405 \cdot 140 = 56,7$ см/с.

Проектная ПСГ (пункт 7.1.1)

$$= V_g ПСГ \; I \; \cdot \; {}_p,$$

где

$I_p = 1,25$ (таблица 3.5.2).

Отсюда, $V_g = 56,7 \cdot 1,25 = 70,88$ см/с=0,71 м.

Максимальная осевая деформация от скорости волны может быть вычислена, как (пункт 7.2.1):

$$= \varepsilon_a = \frac{V_g}{\alpha_\varepsilon \cdot C} = \frac{0,71}{2 \cdot 2000} = 0,00018,$$

где

С – скорость сейсмического распространения волны.

$= 2$ км/с (скорость сдвигающей волны принимается доминирующей) (пункт 7.1.2 и 7.2.1)

α_ε - коэффициент деформации грунта =2,0 (пункт 7.2.1).

Максимальная осевая деформация, которая может быть передана трением грунта, может быть вычислена, как:

$$\varepsilon_a = \frac{t_u \lambda}{4AE} = \frac{9687 \cdot 1000}{4 \cdot 0,0021 \cdot 10^9} = 11,5,$$

где

$$t_u = \pi Dc\alpha + \pi DH\bar{\gamma}\frac{1+K_0}{2}\tan\delta'.$$

$t_u = 9687$ Н/м (см. Пример 6).

Площадь поперечного сечения (А) трубопровода:

$$= A = \frac{\pi}{4}\left(0,09^2 - 0,0736^2\right) = 0,0021 \text{ м}^2$$

λ - очевидная длина сейсмических волн на поверхности грунта (пункт 7.2.2) =1000 м.

Вычисленная осевая деформация трубы от прохождения волны (т.е. 0,00018), должна быть не более, чем деформация, переданная трением грунта (т.е. 11,5).

Эксплуатационная деформация трубы (Пример 5) $= \varepsilon_{эксп} = 0,0044$ (сжатие).

Отсюда, общая растягивающая деформация трубы

$= 0,00018 - 0,0044 = -0,00422$ (общая деформация является сжимающей).

Допустимая сжимающая деформация для полиэтиленовых трубопроводов (пункт 3.9) $\varepsilon_{cr-c} = 30$ %.

Максимальная деформация трубы от распространения волны меньше, чем допустимая деформация для полиэтиленовых трубопроводов при сжатии.

Подведение результатов

Случай	Максимальная растягивающая деформация трубы	Максимальная сжимающая деформация трубы	Допустимая растягивающая деформация трубы	Допустимая сжимающая деформация трубы	Безопасно/ Опасно
I	$0,025$	$0,031$	$0,2$	$0,3$	Безопасно
II	-	$0,00588$	$0,2$	$0,3$	Безопасно
III	$0,022$	-	$0,2$	$0,3$	Безопасно
IV	-	$0,00282$	$0,2$	$0,3$	Безопасно

Приложение И
(справочное)

Пример 7. Расчет сейсмической безопасности трубопровода из труб “КОРСИС” (сегментированный трубопровод)

Постановка задачи:

Канализационный трубопровод из труб “КОРСИС” спроектирован вдоль мягкого наклонного грунта. Длина каждого сегмента трубы составляет 12 м. Материал трубы полиэтилен с диаметром (D) 1,0 м. и толщиной стенки (t) – 0,0050 м. Глубина укладки трубопровода составляет 1,2 м до его оси. Температура монтажа трубопровода составляет 20 ^{0}C, а эксплуатации - 0 ^{0}C; коэффициент линейного теплового расширения α равен $2,2 \cdot 10^{-4}$ 1/^{0} C.

Таблица размеров для труб “КОРСИС” и ”КОРСИС ПРО”

Таблица 1

В миллиметрах

Ном. размер трубопровода/ внутренний диаметр (DN/OD)/d_i	Средний наружный диаметр d_{em}		Внутр. диаметр d_i*	Высота гофра e_c		Толщина стенки гофра e_3, не менее для номинальной кольцевой жесткости			Толщина стенки внутреннего слоя e_5, не менее			Толщина стенки e_4, не менее	Шаг гофра t*	Ширина выступа гофра ℓ*
	Ном. наружный диаметр d_n	пред. откл.		ном	пред. откл.	SN 4	SN 6 (ПЭ) SN 12 (ПП)	SN 8 (ПЭ) SN 16 (ПП)	SN 4	SN 6 (ПЭ) SN 12 (ПП)	SN 8 (ПЭ) SN 16 (ПП)			
110/91	110	±0,6	91	8,7	±0,8	0,4	0,45	0,5	0,3	0,55	0,8	1,0	12,6	8,6
125/107	125	±0,7	107	9,0	±0,9	0,4	0,5	0,6	0,5	0,65	0,8	1,0	12,6	8,6
160/139	160	±0,8	139	10,0	±1,0	0,4	0,6	0,7	0,6	0,7	0,8	1,0	12,6	9
200/176	200	±1,0	176	13,0	±1,0	0,5	0,6	0,7	1,1			1,4	16,5	12
250/216	250	±1,2	216	15,0	±1,5	0,5	0,7	0,8	1,4			1,7	37	23
315/271	315	±1,4	271	21,0	±1,5	0,6	0,9	1,2	1,6			1,9	42	27
400/343	400	±1,8	343	26,0	±1,5	0,8	1,2	1,5	2,0			2,3	49	30
500/427	500	±2,0	427	33,0	±1,5	1,0	1,4	1,7	2,8			2,8	58	38
630/535	630	±2,4	535	45,0	±2,0	1,2	1,6	1,9	3,3			3,3	75	47
800/678	800	$^{+2,0}_{-4,0}$	678	55,0	±2,0	1,3	1,7	2,1	4,1			4,1	89	56
1000/851	1000	$^{+2,4}_{-4,8}$	851	71,0	±2,0	1,5	2,0	2,4	5,0			5,0	98	60
1200/1030	1200	$^{+2,8}_{-5,6}$	1030	79,0	±2,0	1,7	2,2	2,6	5,0			5,0	110	80

Спроектируйте соединение трубы для следующих условий:

Случай I: Остаточное смещение грунта (ОСГ)

Длина и ширина зоны ОСГ составляют 100 м и 40 м, соответственно. Трубопровод в зоне ОСГ уложен в такой же грунт, как и на участке 2 из примера 2.

Смещение грунта (δ^l и δ^t) составляет 2 м. Необходимо проверить трубопровод, если он ориентирован:

1) параллельно движению грунта, и

2) поперечно движению грунта.

Случай II: Пересечение разлома

Трубопровод пересекает сбросовый разлом со смещением разлома равным 2,5 м. и под углом наклона 35^0 (рис. Е3.2). Трубопровод пересекает линию разлома под углом 40^0 к линии разлома. Источник землетрясения, как предполагается, находится на расстоянии 20 км. Трубопровод в зоне разлома сталкивается с таким же грунтом, как на участке 1 из примера 2.

Случай III: Сейсмическое распространение волны

Ожидаемое пиковое ускорение грунта (ПУГ) на участке составляет 0.45g в основном каменистом слое. Грунт на участке такой же, как и на участке 1 из примера 2.

Решение:

Основное:

Класс грунта: Е (таблица 3.3).

Класс трубопровода: III (пункт 3.2).

а) Деформация трубы от внутреннего давления

Т.к. давления внутри трубы “КОРСИС” нет, то деформация трубы от внутреннего давления равна 0.

б) Деформация трубы от температурного изменения:

Продольное напряжение, возникающее в трубе от температурного изменения, вычисляется, как (пункт 3.7.1):

$$S_t = E\alpha(T_2 - T_1) = 10^9 \cdot 2,2 \cdot 10^{-4}\ \text{Н/м}^2 \cdot (20 - 40) = 4,4 \cdot 10^6\ \text{Па} = 4,4\ \text{МПа}$$

Продольная деформация трубы от температурного изменения составляет:

$$\varepsilon_p = \frac{S_t}{E} = \frac{4,4 \cdot 10^6}{10^9} = 0,0044 = 0,44\ \%.$$

Поэтому, полная деформация в трубопроводе “КОРСИС” равна деформации из-за перепада температуры во время монтажа и эксплуатации:

$= 0,0044 = 0,44\ \%$

Игнорируя деформацию трубы от начального изгиба, данная деформация может рассматриваться, как эксплуатационная деформация трубы (т.е. $\varepsilon_{эксп} = 0,44\ \%$).

Для сегментированных трубопроводов, смещение в соединении может быть вычислено, как:

$\Delta = деформация\ трубы \times длина\ сегмента\ трубы$

Т.о. вычисленная выше деформация трубопровода, соответствующая перепаду температур в трубе “КОРСИС”, может использоваться для вычисления смещения в соединении трубопровода из труб “КОРСИС” от перепада температур:

$L_o \times 0,0044,$

где

L_o - длина сегмента трубы.

Игнорируя смещение в соединении трубы от начального изгиба, вычисленное выше смещение в соединении, может быть рассмотрено, как эксплуатационное смещение в трубопроводе из труб “КОРСИС” (т.е. $\Delta_{эксп} = L_o \times 0,0009$).

Эксплуатационное смещение в соединении $= \Delta_{эксп} = 12 \cdot 0,0044 = 0,0528$ м (см. пример 1),где длина каждого сегмента трубопровода =12 м.

Случай I: Остаточное смещение грунта (ОСГ):

а) Параллельное пересечение (т.е. продольное ОСГ).

Ожидаемая величина остаточного смещения грунта параллельного оси трубопровода $= \delta^l = 2$ м.

Длина постоянной зоны смещения составляет 100 м.

Проектное смещение грунта:

$\delta^l_{пр} = \delta^l \cdot I_p$ (пункт 4.1),

где

I_p - фактор важности (таблица 3.5.2).

Для трубопровода I класса, $I_p = 1,0$.

Следовательно, проектное продольное смещение грунта составляет:

$= \delta^l_{пр} = 2 \cdot 1,0 = 2,0$ м

Смещение в соединении, соответствующее ожидаемому движению грунта =

$\Delta_{сейсм} = \delta^l_{пр}$ (пункт 4.1.1.1).

Эксплуатационное смещение в соединении трубы “КОРСИС” $= \Delta_{эксп} = 0,0528$ м.

Таким образом, общее смещение в соединении трубы “КОРСИС”, соответствующее сейсмическому действию и эксплуатационному давлению и температуре составляет:

$$= 2,0 + 0,0528 = 2,0528$$

Дополнительно, принимая во внимание, 0,6 см смещение в соединении трубы “КОРСИС”, общее смещение в соединении становится равным (пункт 3.7):

$$= 2,0528 + 0,006 = 2,0588$$

Т.к смещение грунта велико, то целесообразно предусмотреть каскадное соединение в зоне ОСГ.

Количество соединений, предусмотренных около верховья и подножья зоны ОСГ, составляет:

$$= \frac{L}{2L_a} = \frac{100}{2 \cdot 12} = 4,2 \cong 4.$$

Таким образом, каждое соединение из труб “КОРСИС” в области верховья и подножья должны быть спроектированы для способности поглощать смещение, равное $\frac{2,0588}{8} = 0,26$ м=26 см (пункт 4.1.2.3).

Вдоль спроектированных соединений в зоне ОСГ, должны быть предусмотрены за пределами границы зоны ОСГ дополнительные 3 соединения с 26 см. поглощающей способностью смещения (пункт 4.1.2.3).

б) Поперечное пересечение (т.е. поперечное ОСГ)

Ожидаемая величина поперечного остаточного смещения грунта (δ^t) = 2 м.

Проектное поперечное смещение грунта (пункт 4.2)

$$= \delta^t_{пр} = \delta^t \cdot I_p = 2 \cdot 1,0 = 2,0$$

где

I_p - фактор важности =1,0 (таблица 3.5.2).

Таким образом, поперечное смещение грунта составляет:

$$= \delta^t_{пр} = 2,0 \text{ м.}$$

В соответствии с пунктом 4.2.2.1, максимальное раскрытие трубы “КОРСИС”, соответствующее поперечному ОСГ, составляет:

$$\Delta_{сейсм} = \frac{\pi^2 L_0 \delta^{l\ 2}_{пр}}{2W^2} \left[\frac{2D}{\delta^l_{пр}} \right]$$

для $\frac{D}{\delta^{l}_{пр}} = \frac{1,0}{2,0} = 0,5.$

Следовательно,

$$\Delta_{сейсм} = \frac{\pi^2 \cdot 12 \cdot 2,0^2}{2 \cdot 40^2}\left[1+\left(\frac{1,0}{2,0}\right)^2\right]$$

$= 0,185$ м=18,5 см.

Эксплуатационное смещение в соединении трубы “КОРСИС” $= \Delta_{эксп}$=0,0528 м.

Таким образом, общее смещение в соединении трубы “КОРСИС” от сейсмического действия и перепада температуры составляет:

$= 0,185$+0,0528=0,2378 м.

Дополнительно, принимая во внимание 0,6 см смещение в соединении трубы “КОРСИС”, общее смещение в соединении становится равным (пункт 3.10.2):

$= 0,2378 + 0,006 = 0,2438$ м=24,38 см.

Случай II: Пересечение разлома

Ожидаемое смещение сбросового разлома

$= \delta_{fn} = 2,5$ м.

Угол наклона движения разлома $= \psi = 35^0$.

Угол между трубопроводом и линией разлома

$= \beta = 40^0$.

Компонент смещения разлома в осевом направлении трубопровода (пункт 6.1.3):

$\delta_{fax} = \delta_{fn} \cos\psi \sin\beta = 2,5 \cdot \cos 35^0 \cdot \sin 40^0 = 1,316$ *м.*

Компонент смещения разлома в поперечном направлении трубопровода:

$\delta_{ftr} = \delta_{fn} \cos\psi \cos\beta = 2,5 \cdot \cos 35^0 \cdot \cos 40^0 = 1,569$ *м.*

Фактор важности для движения разлома для III класса трубопровода $= I_p = 1,0$ (таблица 3.5.2).

Применяя фактор важности, проектное смещение разлома в осевом направлении (пункт 6.1.6):

$= \delta_{faxпр} = \delta_{fax} \cdot I_p = 1,316 \cdot 1,0 = 1,316$ м

и проектное смещение разлома в поперечном направлении становится равным (пункт 6.1.6):

$= \delta_{ftr-пр} = \delta_{ftr} \cdot I_p = 1,569 \cdot 1,0 = 1,569$ м

Смещение в соединении от вероятного движения разлома может быть взято, как:

$\Delta_{сейсм} = \delta_{fax-пр} = 1,316$ м.

Эксплуатационное смещение в соединении трубы $= \Delta_{эксп} = 0,0528$ м.

Т.о. общее смещение трубы “КОРСИС” составляет:

$= 1,316 + 0,0528 = 1,3688$ м

Дополнительно, принимая во внимание, 0,6 см смещение в соединении трубы “КОРСИС”, общее смещение в соединении становится равным (пункт 3.10.2):

$= 1,3688 + 0,006 = 1,3748$ м = 137,5 см.

Если поглощающая способность каждого смещения в соединении трубы Корсис составляет 35 см, тогда можно будет сконструировать последовательность из 4 соединений в зоне разлома, чтобы поглощать смещение разлома. Также профиль траншеи должен состоять из соответствующего материала.

Случай III: Сейсмическое распространение волн

Ожидаемое ПУГ на участке в основном каменистом слое $ПУГ_r = 0,45g$.

Для грунта класса Е, ПУГ $= 0,45 \cdot I_g. = 0,45 \cdot 0,9 = 0,405g$ (Таблица 3.5.3 (б)).

Преобразуя ПУГ в ПСГ с использованием таблицы 3.5.5

$$\frac{ПСГ}{ПУГ} = 140$$

(Рассматривается мягкий грунт, и магнитуда проектного основного землетрясения (М) равна 6,5, и расстояние до источника землетрясения примерно 20 км).

Отсюда, $ПСГ = 0,405 \cdot 140 = 56,7$ см/с.

Проектная ПСГ $= V_g ПСГ \cdot I_p$,

где

$I_p = 1,0$ (таблица 3.5.2).

Отсюда, $V_g = 56,7 \cdot 1,0 = 56,7$ см/с=0,57 м/с.

Максимальная осевая деформация трубы трубы “КОРСИС” от скорости волны может быть вычислена, как (пункт 7.2.1):

$$\varepsilon_a = \frac{V_g}{\alpha_\varepsilon \cdot C} = \frac{0,57}{2 \cdot 2000} = 0,00014,$$

где

С – скорость сейсмического распространения волны.

$=2$ км/с (скорость сдвигающей волны принимается доминирующей) (пункт 7.1.2 и 7.2.1);

α_ε - коэффициент деформации грунта =2,0 (пункт 7.2.1).

Так смещение соединения трубы “КОРСИС”, соответствующее распространению волны, может быть $= L_0 \cdot 0,00014$ м=0,00168 м.

Эксплуатационное смещение в соединении трубы “КОРСИС” $= \Delta_{эксп} = 0,0528$ м.

Т.о. общее смещение составляет:

$= 0,00168 + 0,0528 = 0,05448$ м

Дополнительно, принимая во внимание, 0,6 см смещение в соединении, общее смещение в соединении трубы “КОРСИС” становится равным (пункт 3.10.2):

$= 0,05448 + 0,006 = 0,06048$ м=6,0 см.

Осевое смещение в соединении, соответствующее распространению волны, очень мало. Соединение трубопровода из труб “КОРСИС” должно иметь поглощающую способность смещения в соединении равное или большее, чем 6,0 см.

Библиография

[1] *IITK-GSDMA Guidelines for seismic design of buried pipelines: provisions with commentary and explanatory examples*, National Information Center of Earthquake Engineering, Kanpur, India.

[2] IS 1893-2002

[3] ТУ 2248–005–73011750–2008 с Изм.1-5 «трубы из полиэтилена «Корсис ПЛЮС» для водоотведения и канализации»

[4] ТУ 2248–…–73011750–2010 “Трубы многослойные армированные КОРСИС-АРМ технические условия”.

[5] ГОСТ 18599 “Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия”

ГРУППА ПОЛИПАСТИК
POLY PLASTIC