МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТАНДАРТ

**ГОСТ
35330—
2026**

Система газоснабжения. Магистральная трубопроводная транспортировка газа

ГАЗОПРОВОДЫ МАГИСТРАЛЬНЫЕ

Проектирование в зонах высокой сейсмической активности и на пересечениях активных тектонических разломов

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2026

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий» (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации МТК 523 «Техника и технологии добычи и переработки нефти и газа»

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 января 2026 г. № 193-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Россия	RU	Росстандарт
Узбекистан	UZ	Узбекское агентство по техническому регулированию

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 марта 2026 г. № 279-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 35330—2026 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июня 2026 г.

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2026

В Российской Федерации настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Сокращения 4
5 Общие положения 5
6 Конструктивные решения магистральных газопроводов в зонах высокой сейсмической активности . 5
7 Конструктивные решения магистральных газопроводов в зоне пересечения с активным тектоническим разломом 6
8 Нагрузки и воздействия 8
9 Общие положения по применению расчетных моделей участка магистрального газопровода на пересечении активного тектонического разлома 8
10 Моделирование взаимодействия магистрального газопровода с грунтом при воздействии активного тектонического разлома 8
11 Методика расчета напряженно-деформированного состояния участка магистрального газопровода на пересечении активного тектонического разлома 10
12 Критерии предельных состояний при расчете магистрального газопровода на участке пересечения активного тектонического разлома 15
13 Методика определения толщины стенки труб на участках пересечения активного тектонического разлома 16
13.1 Методика полного расчета 16
13.2 Методика упрощенного расчета 18
14 Испытания внутренним давлением 18
Приложение А (рекомендуемое) Определение параметров диаграмм взаимодействия трубопровода с грунтом 19
Приложение Б (рекомендуемое) Аппроксимация диаграммы деформирования при растяжении на основе модели Рамберга-Осгуда 22
Приложение В (рекомендуемое) Допустимые толщины стенок в зависимости от смещения активного тектонического разлома для типовых вариантов пересечения 24
Приложение Г (справочное) Примеры расчета 90

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

Система газоснабжения.
Магистральная трубопроводная транспортировка газа

ГАЗОПРОВОДЫ МАГИСТРАЛЬНЫЕ

Проектирование в зонах высокой сейсмической активности и на пересечениях активных тектонических разломов

Gas supply system. Main pipeline gas transportation. Trunk gas pipelines.
Design in areas of high seismic activity and active fault crossing

Дата введения — 2026—06—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт распространяется на проектируемые и реконструируемые подземные магистральные газопроводы, процесс проектирования капитального ремонта магистральных газопроводов номинальным диаметром до *DN* 1400 включительно с избыточным давлением среды свыше 1,2 МПа до 30 МПа включительно, расположенные в зонах высокой сейсмической активности и/или пересекающие активные тектонические разломы.

1.2 Настоящий стандарт не распространяется на проектирование: конденсатопроводов, трубопроводов сжиженных углеводородных газов, газопроводов, прокладываемых на территории городов и других населенных пунктов, в морских акваториях и промыслах; трубопроводов, предназначенных для транспортировки газа, оказывающего коррозионное воздействие на металл труб, надземных участков магистральных газопроводов.

1.3 Настоящий стандарт не распространяется на проектирование магистральных газопроводов на площадках с расчетной сейсмичностью более 9 баллов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие межгосударственные стандарты:

ГОСТ 1497 Металлы. Методы испытаний на растяжение

ГОСТ 8736 Песок для строительных работ. Технические условия

ГОСТ 12248.3 Грунты. Определение характеристик прочности и деформируемости методом трехосного сжатия

ГОСТ 25100—2020 Грунты. Классификация

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации (gost.e-ecolog.ru по указателям национальных стандартов, издаваемым в государствах, указанных в предисловии, или на официальных сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации. Если на документ дана недатированная ссылка, то следует использовать документ, действующий на текущий момент, с учетом всех внесенных в него изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то следует использовать указанную версию этого документа. Если после принятия настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение применяется без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

Издание официальное

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины и определения в соответствии ГОСТ 1497, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **активный тектонический разлом;** АТР: Тектоническое нарушение с признаками постоянных или периодических перемещений бортов разлома в позднем плейстоцене — голоцене (за последние 100 000 лет), проявленными в рельефе и/или в разрезе отложений соответствующего возраста, величина (скорость) которых представляет опасность для сооружений и требует проведения специальных конструктивных и/или компоновочных мероприятий для обеспечения их безопасности.

Примечание — АТР считают сейсмогенерирующим, если для него не доказан исключительно криповый характер движений.

3.2 **воздействие:** Явление, вызывающее внутренние силы в элементе газопровода (изменение температуры стенки трубы, деформация основания, усадка и ползучесть материала, сейсмические и другие явления).

3.3 **газопровод:** Трубопровод, предназначенный для транспортировки газа.

3.4

глинистый грунт: Связный грунт, обладающий свойством пластичности за счет содержания минеральных частиц глинистой и пылеватой фракций.

[ГОСТ 25100—2020, пункт 3.2]

3.5

грунт: Любая горная порода, почва, осадок и техногенные минеральные образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамические системы и часть геологической среды, изучаемые в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью.

[ГОСТ 25100—2020, пункт 3.3]

3.6 **деформационная способность при изгибе:** Критическая изгибная деформация, соответствующая началу развития местной потери устойчивости стенки трубы.

3.7 **деформационная способность при сжатии:** Критическая осевая деформация сжатия, соответствующая началу гофрообразования трубы.

3.8 **деформационный критерий проектирования:** Критерий проектирования, основанный на сравнении максимальной расчетной деформации труб с заданной предельной деформацией.

3.9 **диаграмма деформирования:** Зависимость напряжения от деформации, полученная при испытании стандартного образца трубного металла на одноосное растяжение.

3.10 **диаметр номинальный *DN*:** Параметр, применяемый для трубопроводных систем в качестве характеристики присоединяемых частей, например соединений трубопроводов, фитингов и арматуры.

Примечание — Номинальный диаметр не имеет единицы измерения и приблизительно равен внутреннему диаметру присоединяемого трубопровода, выраженному в миллиметрах. Номинальный диаметр обозначается *DN* с числовым значением, например: *DN* 1200 соответствует фактическому наружному диаметру трубопровода 1220 мм.

3.11 **засыпка:** Процесс помещения грунта (извлеченного ранее или дополнительно завезенного) в траншею.

3.12 **зона высокой сейсмической активности:** Район с расчетной сейсмичностью от 8 до 9 баллов включительно[1)].

3.13 **зона термического влияния;** ЗТВ: Участок основного металла трубы или соединительных деталей трубопроводов, не подвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева при сварке.

[1)] В Российской Федерации сейсмичность определена шкалой сейсмической интенсивности по ГОСТ Р 57546—2017 «Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности».

3.14 **изгибная деформация:** Продольная деформация, вызванная изгибом трубопровода.

3.15 **категория участка магистрального газопровода:** Характеристика опасности участка магистрального газопровода, классифицируемая в зависимости от показателей опасности транспортируемого продукта, технических характеристик газопровода, плотности населения, антропогенной активности вблизи газопровода и иных факторов риска.

Примечание — Данная характеристика учитывает вероятность внешнего повреждения магистрального газопровода и последствия возможных аварий на магистральном газопроводе.

3.16 **компенсатор:** Участок трубопровода специальной конструкции, предназначенный для восприятия температурных деформаций трубопровода за счет своей податливости.

3.17 **магистральный газопровод;** МГ: Технологически неделимый, централизованно управляемый имущественный производственный комплекс, состоящий из взаимосвязанных объектов, являющихся его неотъемлемой технологической частью, предназначенных для транспортировки подготовленной в соответствии с требованиями национальных стандартов продукции (природного газа) от объектов добычи и (или) пунктов приема до пунктов сдачи потребителям и передачи в распределительные газопроводы или иной вид транспорта и (или) хранения.

3.18

массив грунта (грунтовый массив): Объем грунта, находящийся в основании здания/сооружения или вмещающий его, размеры которого не меньше зоны влияния здания/сооружения, или выделяемый для решения специальных задач.

[ГОСТ 25100—2020, пункт 3.9]

3.19 **метод конечных элементов;** МКЭ: Численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными.

3.20 **минимальный радиус упругого изгиба оси газопровода:** Минимальный по длине рассматриваемого участка радиус упругого изгиба оси газопровода.

3.21 **мягкий грунт для подсыпки и присыпки:** Сыпучий минеральный грунт, не нарушающий целостности защитного покрытия в процессе строительства и эксплуатации трубопровода.

Примечание — В качестве мягкого грунта для подсыпки и присыпки используют:
- песок мелкий, средней крупности, крупный, гравелистый по ГОСТ 25100;
- песок для строительных работ по ГОСТ 8736;
- глинистые непучинистые, малопучинистые грунты (супеси, суглинки, глины) с размером комьев не более 50 мм в поперечнике, в т. ч. мерзлых.

3.22 **нагрузка:** Силовое воздействие, вызывающее изменение напряженно-деформированного состояния конструкции (трубопровода).

3.23 **напряженно-деформированное состояние;** НДС: Совокупность внутренних напряжений и деформаций, возникающих при действии на конструкцию внешних нагрузок, температурных полей и других факторов.

3.24 **несвязный материал:** Материал, обладающий сыпучестью в сухом состоянии.

Примечание — К несвязным материалам относят песок, щебень, песчано-гравийные смеси.

3.25 **нормативный предел прочности (нормативное временное сопротивление) материала труб:** Минимальное гарантированное значение предела прочности (временного сопротивления) материала, определенное в стандартах, технических условиях и спецификациях на трубы.

3.26 **нормативный предел текучести материала труб:** Минимальное гарантированное значение предела текучести материала, определенное в стандартах, технических условиях и спецификациях на трубы.

3.27 **осевые деформации:** Равномерно распределенные по поперечному сечению стенки трубы продольные деформации, вызванные осевым растяжением или сжатием, направленным вдоль оси трубы.

3.28 **осевые напряжения:** Равномерно распределенные по поперечному сечению стенки трубы продольные напряжения, вызванные осевым растяжением или сжатием, направленным вдоль оси трубы.

3.29 **относительное равномерное удлинение:** Относительное удлинение (деформация) образца при испытании на растяжение, соответствующее временному сопротивлению металла, выраженное в процентах.

3.30 **подсыпка:** Слой рыхлого, обычно песчаного грунта, отсыпаемого на дно траншеи для предохранения от механических повреждений изоляционного покрытия при укладке трубопровода в траншею.

3.31 **предел прочности (временное сопротивление) материала:** Напряжение, соответствующее наибольшему растягивающему усилию, предшествующему разрыву образца.

3.32 **предел текучести материала:** Напряжение, при котором материал образца деформируется без заметного увеличения усилия.

3.33 **предельное состояние:** Состояние трубопровода, за пределами которого он перестает удовлетворять заданным эксплуатационным требованиям.

3.34 **присыпка:** Слой мягкого грунта для подсыпки и присыпки, отсыпаемого над уложенным в траншею трубопроводом перед засыпкой.

3.35 **продольные фибровые деформации:** Продольные деформации в наиболее удаленных от оси трубы точках поперечного сечения стенки трубы.

3.36 **продольные фибровые напряжения:** Нормальные напряжения в наиболее удаленных от оси трубы точках поперечного сечения стенки трубы, действующие в продольном направлении.

3.37 **рабочее давление $P_{раб}$:** Установленное проектом наибольшее внутреннее избыточное давление, при котором обеспечивается заданный режим эксплуатации газопровода (нормальное протекание рабочего процесса).

Примечание — Рабочее давление определяют по сечению на выходном трубопроводе газового компрессора.

3.38 **расчетная схема:** Условное изображение конструкции газопровода, принимаемое для выполнения расчетов на прочность и устойчивость.

3.39 **расчетная толщина стенки:** Толщина стенки труб, определяемая расчетом на прочность.

3.40 **температурный перепад:** Разница между максимально или минимально возможной температурой стенок труб в процессе эксплуатации и наименьшей или наибольшей температурой, при которой фиксируют расчетную схему газопровода.

Примечание — Фиксация расчетной схемы происходит в результате сварки захлестов, приварки компенсаторов, выполнения засыпки трубопровода.

3.41 **устойчивость газопровода:** Свойство конструкции газопровода поддерживать первоначальную форму оси или форму его поперечного сечения.

3.42 **функциональные нагрузки:** Нагрузки, обусловленные процессом эксплуатации газопровода.

3.43 **эквивалентная деформация:** Функция компонент тензора деформаций, характеризующая деформированное состояние в точке и вычисляемая в соответствии с принятой теорией прочности.

4 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ВТУ — внутритрубное устройство;

ГИС — газоизмерительная станция;

ГРС — газораспределительная станция;

ДС — деформационная способность;

ДСС — деформационная способность при сжатии;

ДСИ — деформационная способность при изгибе;

КС — компрессорная станция;

МД — максимальная прогнозная деформация;

НУЭ — нормальные условия эксплуатации;

ПГС — песчано-гравийная смесь;

ТУ — технические условия;

УРГ — узел редуцирования газа;

ЩГПС — щебеночно-гравийно-песчаная смесь;

ЩПС — щебеночно-песчаная смесь.

5 Общие положения

5.1 Проектирование линейной части МГ и ответвлений от них при подземной прокладке в зонах высокой сейсмической активности и/или на пересечениях АТР необходимо проводить с учетом сейсмических воздействий и/или смещений грунта в АТР.

5.2 Сейсмостойкость газопроводов обеспечивается:

- выбором участков трасс и площадок строительства с наименьшей расчетной сейсмичностью, отсутствием или минимальным числом пересечений АТР;
- применением рациональных конструктивных решений и антисейсмических мероприятий;
- запасом прочности, подтвержденным результатами расчетов на прочность с учетом сейсмических воздействий и нагрузок от смещения грунта в АТР.

5.3 Участки подземных МГ в зонах высокой сейсмической активности рассчитывают на прочность и устойчивость при действии дополнительных продольных напряжений от прохождения сейсмических волн вдоль оси участка МГ.

5.4 Участки МГ на пересечениях с АТР рассчитывают на прочность с учетом возможных смещений грунта в АТР.

5.5 Сведения об интенсивности сейсмических колебаний на участках строительства МГ определяют по результатам инженерных изысканий, выполняемых для целей архитектурно-строительного проектирования, и используют в качестве исходных данных при проектировании МГ.

6 Конструктивные решения магистральных газопроводов в зонах высокой сейсмической активности

6.1 Категорию участков газопроводов в зонах высокой сейсмической активности принимают не ниже С («средняя» или «I-II») в соответствии с категорированием участков, установленным в международных, межгосударственных и национальных стандартах.

6.2 При выборе трассы в сейсмических районах следует избегать косогорных участков, участков со специфическими грунтами, участков, на которых по результатам инженерных изысканий возможно развитие опасных природных процессов, территорий горных выработок, участков с расчетной сейсмичностью свыше 9 баллов по шкале сейсмической интенсивности[1)]. Прокладка МГ в указанных условиях может быть осуществлена в случае особой необходимости при соответствующем технико-экономическом обосновании. При этом в проектной документации предусматривают дополнительные мероприятия, обеспечивающие надежность МГ и обоснованные расчетом МГ на сейсмические воздействия.

6.3 Не допускается жесткое крепление газопроводов к стенам зданий и сооружений и оборудованию. В случае необходимости таких соединений следует предусматривать устройство криволинейных вставок или компенсирующих устройств, размеры и компенсационная способность которых устанавливают расчетом.

6.4 Ввод газопровода в здания (в КС, ГРС и т. д.) следует осуществлять через стальной футляр, диаметр которого превышает диаметр газопровода не менее чем на 200 мм, а длина равна толщине пересекаемой стены. Пространство между стеной и футляром следует заделывать цементным раствором или бетоном на всю толщину стены (по возможности). Зазор между газопроводом и футляром следует заделывать эластичным материалом на всю длину футляра.

6.5 При пересечении трассой трубопровода границы участков с грунтами, относящимися к разным классам по ГОСТ 25100, на расстоянии от границы по 100 м вдоль оси трубопровода необходимо предусматривать возможность свободного перемещения трубопровода за счет применения подсыпки, присыпки и засыпки траншеи несвязным материалом. Подсыпку и присыпку МГ на толщину не менее 20 см выполняют несвязным материалом (ПГС, песок мелкий, средней крупности, крупный, гравели-

---

[1)] В Российской Федерации сейсмичность определена шкалой сейсмической интенсивности ГОСТ Р 57546—2017 «Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности».

стый). Засыпку (после присыпки) до верха траншеи выполняют несвязным материалом с максимальным размером частиц не более 50 мм.

6.6 При подземной прокладке газопровода грунтовое основание газопровода уплотняют до величины не менее 0,95 естественной плотности грунта.

6.7 Прокладку МГ в грунтах, разжижаемых при сейсмических воздействиях согласно ГОСТ 25100—2020 (В.2.6), выполняют надземным способом с применением конструктивных решений, обеспечивающих устойчивость положения опор МГ и исключающих потерю целостности МГ при сейсмическом воздействии.

6.8 На участках трассы, расположенных в зонах с расчетной сейсмичностью 9 баллов, следует предусматривать автоматическую систему контроля внутреннего давления в МГ и отключения аварийных участков МГ.

6.9 Все монтажные сварные соединения МГ, прокладываемых в зонах высокой сейсмической активности, подвергают помимо всех основных видов контроля радиографическому контролю вне зависимости от категории МГ или его участка.

7 Конструктивные решения магистральных газопроводов в зоне пересечения с активным тектоническим разломом

7.1 Категорию участка МГ на участке пересечения АТР и на прилегающих участках длиной не менее 100 м вдоль оси трубопровода принимают не ниже С («средняя» или «I-II») в соответствии с градациями категорий участков, принятыми в международных, межгосударственных и национальных стандартах.

Примечания

1 В качестве участка пересечения АТР принимают участок протяженностью 100 м вдоль оси МГ с точкой пересечения разлома посередине, если по результатам инженерных изысканий не установлены иные характеристики.

2 Если разлом не выходит на дневную поверхность, то рассматривают его проекцию.

7.2 Пересечение МГ зон АТР следует выполнять подземным способом, прямолинейно. Угол пересечения АТР осью МГ (в плане) принимают близким к 90°, а также исходя из условия недопущения сжимающих продольных сил на участке пересечения АТР при возникновении смещения грунта в разломе.

7.3 Площадочные объекты МГ (КС, УРГ, ГИС, запорная арматура, узлы приема ВТУ и др.), препятствующее свободному перемещению МГ, размещают за пределами участков пересечений АТР, на расстоянии не менее 100 м от границ участка пересечения АТР. При размещении указанных объектов на расстоянии от 100 до 400 м до участка пересечения АТР их наличие следует учитывать в расчетной схеме МГ в виде связей, наложенных на продольное перемещение МГ.

7.4 На участках пересечения АТР и прилегающих к ним участках длиной не менее 100 м повороты МГ в горизонтальной плоскости не допускаются; повороты в вертикальной плоскости выполняют упругим изгибом оси МГ без применения отводов холодного и горячего гнутья. Радиус упругого изгиба следует принимать не менее 1500 наружных диаметров МГ.

При выполнении поворотов МГ в горизонтальной плоскости любым способом или в вертикальной плоскости с использованием гнутых отводов в пределах расстояний от 100 до 400 м до границ участка пересечения АТР их наличие следует учитывать в расчетной схеме МГ при анализе НДС.

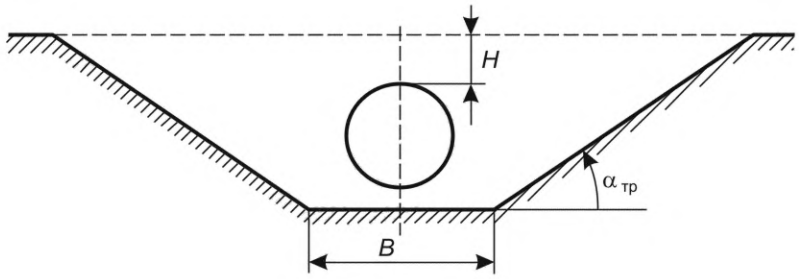
7.5 Для обеспечения продольной устойчивости участков МГ в зонах АТР допускается устройство подземных компенсаторов — упоров вне зоны АТР на расстоянии не менее 100 м от границ зоны АТР.

7.6 Для обеспечения необходимой податливости МГ при возможных подвижках грунта в зоне АТР на участках пересечений АТР и прилегающих к ним участках длиной не менее 100 м следует выполнять положения 7.7—7.12.

7.7 Глубину заложения газопровода устанавливают от 0,8 до 1,0 м от верха трубы.

7.8 Форму сечения траншеи для АТР типа «сдвиг» следует принимать трапецеидальной (см. рисунок 7.1). Угол наклона откосов траншеи к горизонтали $\alpha_{тр}$ следует принимать равным 45 – φ/2, где φ — угол внутреннего трения грунта засыпки, град.

Примечание — Угол внутреннего трения грунта засыпки определяют согласно ГОСТ 12248.3.



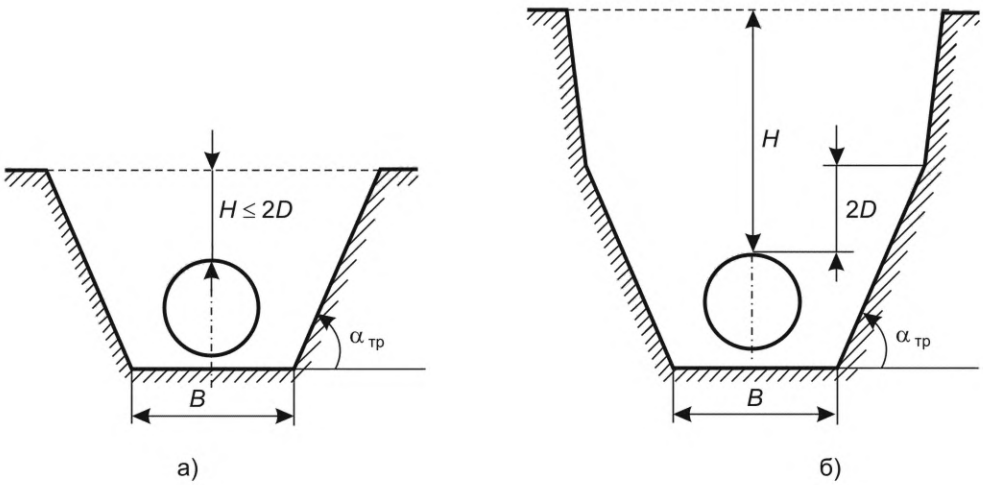
H — заглубление от поверхности грунта до верха трубы, м; *B* — ширина по дну траншеи, м; $\alpha_{тр}$ — угол наклона откоса траншеи, град

Рисунок 7.1 — Форма траншеи при пересечении АТР типа «сдвиг»

7.9 При заглублении от поверхности грунта до верха трубы *H* более 1 м при пересечении АТР типа «сдвиг» угол наклона откосов траншеи к горизонтали может быть принят не более 45°.

7.10 Форму сечения траншеи для АТР типа «сброс» следует принимать (см. рисунок 7.2)[1)]:

- трапецеидальной с углом наклона откосов к горизонтали не более 45 + φ/2 при заглублении $H \le 2D$;
- трапецеидальной с углом наклона откосов к горизонтали не более 45 + φ/2 на высоту не более 2*D* от верха трубы и с откосами допустимой крутизны в соответствии с положениями нормативных документов государств, принявших настоящий стандарт, на высоте от 2*D* до поверхности грунта при заглублении $H > 2D$.



H — заглубление от поверхности грунта до верха, м; *B* — ширина по дну траншеи, м;

$\alpha_{тр}$ — угол наклона откоса траншеи, град

Рисунок 7.2 — Форма траншеи при пересечении АТР типа «сброс» [а)] при заглублении $H \le 2D$; [б)] при заглублении $H > 2D$

7.11 Ширину по дну траншеи *B*, м, для всех вариантов пересечений АТР следует принимать не менее:

- *D* + 500 мм — для трубопроводов диаметром не более 720 мм;
- 1,8*D* — для трубопроводов диаметром 720 мм и более.

7.12 Для подсыпки, присыпки и засыпки трубопровода в траншее следует применять несвязный материал (ПГС, песок мелкий, средней крупности, крупный, гравелистый). Подсыпку и присыпку МГ на толщину не менее 20 см выполняют несвязным материалом. Засыпку (после присыпки) до верха

[1)] В Российской Федерации допустимая крутизна откосов установлена в СП 86.13330.2022 «СНиП III-42-80* Магистральные трубопроводы» (8.1.6).

траншеи выполняют несвязным материалом (ПГС, ЩПС, ЩГПС с максимальным размером частиц не более 50 мм).

7.13 Все монтажные сварные соединения МГ на пересечении АТР и прилегающих участков длиной не менее 100 м от границ разлома подвергают 100 %-ному визуально-измерительному, 100 %-ному радиографическому и 100 %-ному ультразвуковому контролю.

7.14 При выполнении сварочно-монтажных работ продольный заводской сварной шов труб следует располагать таким образом, чтобы плоскость, проходящая через ось трубы и продольный заводской сварной шов, располагалась:

- преимущественно горизонтально — при АТР с преобладающим вертикальным смещением (сброс/взброс);
- преимущественно вертикально — при АТР с преобладающим горизонтальным смещением (сдвиг).

7.15 Для подземных МГ номинальным диаметром *DN* 500 и более на участках пересечений АТР необходимо обеспечить инструментальный мониторинг подвижек МГ и окружающего грунтового массива. Средства мониторинга подвижек грунтового массива размещают в пределах участка пересечения АТР на расстоянии от оси МГ не более 25 м. Состав средств мониторинга и контролируемых параметров определяют в проектной документации в соответствии с положениями нормативных документов государств, принявших настоящий стандарт.

8 Нагрузки и воздействия

8.1 Расчет участков подземных МГ, расположенных в зонах высокой сейсмической активности, выполняют с учетом действия дополнительных продольных напряжений от действия сейсмических сил, направленных вдоль продольной оси трубопровода.

8.2 Расчет участка подземного МГ на пересечении АТР выполняют с учетом воздействия необратимых смещений грунта, обусловленных сдвигом, сбросом или взбросом, которые характеризуются прогнозируемой величиной смещения и его направлением относительно продольной оси МГ в зоне АТР.

8.3 Наличие пересечений с АТР, степень их активности, прогнозируемые величины необратимых смещений грунта, их характер и направление следует определять при инженерных изысканиях.

8.4 Расчеты по 8.1, 8.2 выполняют с учетом действия постоянных и временных длительных нагрузок, возникающих при эксплуатации МГ.

9 Общие положения по применению расчетных моделей участка магистрального газопровода на пересечении активного тектонического разлома

9.1 В расчетной модели участка МГ на пересечении АТР следует учитывать:

- физически нелинейное поведение материалов (упругопластическое деформирование трубной стали и окружающего грунта);
- геометрическую нелинейность (значительные перемещения и деформации участка трубопровода).

9.2 Расчетную модель участка МГ формируют на основе положений строительной механики и механики деформируемого твердого тела. Трубопровод может моделироваться как пространственная балка (балочная модель) или оболочка (оболочечная модель).

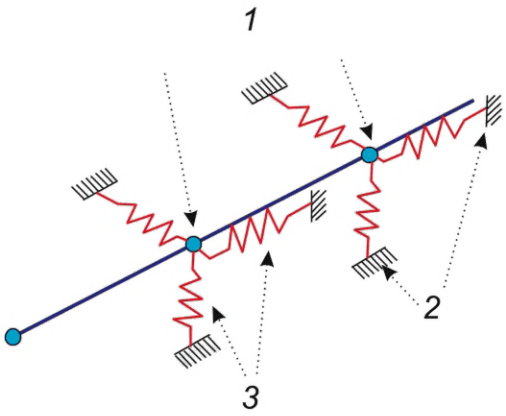
9.3 Моделирование взаимодействия трубопровода с грунтом в балочной модели МГ выполняют на основе применения дискретных упругопластических связей («грунтовых пружин»).

9.4 Для реализации расчетных моделей на пересечении участка газопровода и АТР применяют, как правило, метод конечных элементов.

10 Моделирование взаимодействия магистрального газопровода с грунтом при воздействии активного тектонического разлома

10.1 «Грунтовые пружины», применяемые в балочной модели МГ, помещают в узлах модели в трех ортогональных направлениях для описания взаимодействия МГ с грунтом в осевом, поперечном горизонтальном и поперечном вертикальном направлениях (см. рисунок 10.1).

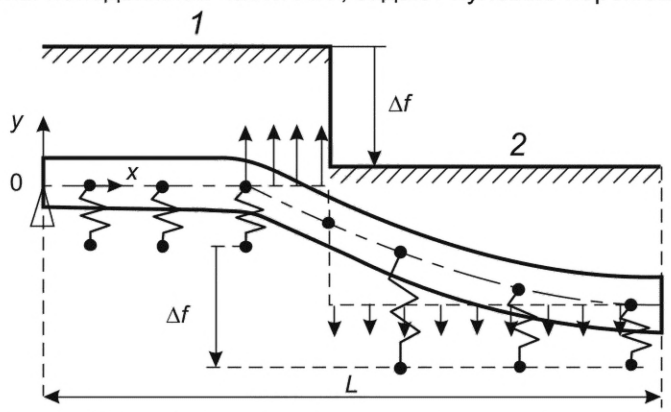
Примечание — «Грунтовые пружины» следует формулировать в одномерной постановке, обеспечивающей работу «грунтовой пружины» на относительных перемещениях ее концов только в направлении оси, соответствующей ориентации данной «грунтовой пружины».



1 — узлы балочной модели; *2* — узлы на концах «грунтовых пружин»; *3* — «грунтовые пружины»

Рисунок 10.1 — Фрагмент балочной модели МГ с обозначением элементов «грунтовых пружин»

10.2 Моделирование кинематики АТР осуществляют по схеме, приведенной на рисунке 10.2, заданием компонент перемещений разлома в узлах на свободных концах «грунтовых пружин», расположенных со стороны подвижной части разлома. В узлах на свободных концах «грунтовых пружин», расположенных со стороны неподвижной части АТР, задают нулевые перемещения.



Δf — полное прогнозное смещение АТР, м; L — длина расчетного участка газопровода, м; *1* — неподвижная сторона; *2* — подвижная сторона

Рисунок 10.2 — Схема приложения перемещений АТР

10.3 Нелинейные характеристики «грунтовых пружин» при расчетах подземного МГ задают в виде билинейных диаграмм (см. рисунок 10.3). В качестве параметров диаграммы в расчетах задают:

- предельное значение удельной силы сопротивления грунта Q_u;
- предельное значение упругого перемещения q_u.

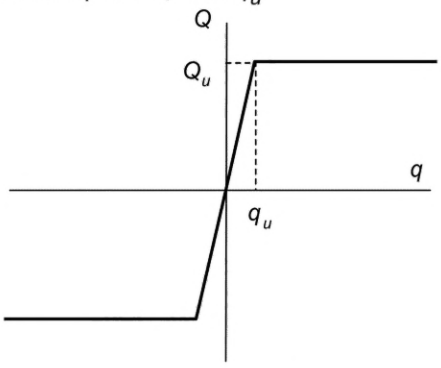


Рисунок 10.3 — Зависимость типа «билинейная диаграмма»

Расчет параметров диаграмм для «грунтовых пружин» приведен в приложении А.

10.4 При определении параметров «грунтовых пружин» следует учитывать изменение состава грунтов в пределах участка, а также изменение глубины прокладки.

10.5 При значительном количестве участков различных грунтов, пересекаемых МГ, допускается использовать уменьшенное число наборов параметров «грунтовых пружин», соответствующих грунтам с наибольшим сопротивлением относительному перемещению МГ.

10.6 При определении параметров «грунтовых пружин» следует использовать характеристики грунта засыпки, кроме направления вертикально вниз, для которого следует использовать характеристики подстилающих грунтов ненарушенной структуры.

10.7 При задании параметров «грунтовых пружин» в программе расчета по МКЭ погонные силы сопротивления, полученные в соответствии с приложением Б, следует умножить на длину, равную половине суммы длин элементов трубы, примыкающих к данному узлу.

11 Методика расчета напряженно-деформированного состояния участка магистрального газопровода на пересечении активного тектонического разлома

11.1 В качестве расчетной схемы участка перехода МГ через АТР принимают, как правило, прямолинейный участок газопровода, пересекающий АТР по середине участка.

11.2 Участок МГ на пересечении АТР моделируют как пространственную балку кольцевого сечения с использованием балочных конечных элементов.

11.3 Длину расчетного участка газопровода с каждой стороны от точки пересечения осью МГ плоскости АТР следует принимать не менее 300*D*, где *D* — наружный диаметр МГ.

11.4 В результате воздействия смещающегося массива грунта МГ испытывает комбинацию изгиба и растяжения/сжатия. Максимальные деформации и напряжения в трубопроводе ограничены участками вблизи точки пересечения плоскости АТР, длину которых с каждой стороны от точки пересечения следует принимать не менее 35*D*.

11.5 Длину конечных элементов МГ на участках по 11.4 следует принимать не более 0,5*D*.

11.6 Длину конечных элементов МГ на примыкающих участках следует принимать не более 2*D*.

11.7 Расчет следует выполнять с применением балочных конечных элементов, поддерживающих значительные деформации и перемещения, пластические свойства материала, силовые (распределенные нагрузки, внутреннее давление, сосредоточенные силы), кинематические (заданные перемещения) и температурные нагрузки.

11.8 Упругопластическое поведение материала МГ описывают на основе модели теории пластического течения с нелинейным упрочнением. Критерий текучести *f* задают в виде

$$f = \sigma_i - \sigma_Y = 0, \tag{11.1}$$

где σ_i — интенсивность напряжений, Па;

σ_Y — переменный предел текучести, Па.

11.8.1 Интенсивность напряжений σ_i, Па, вычисляют по формуле

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}}\Big[(\sigma_{11}-\sigma_{22})^2 + (\sigma_{22}-\sigma_{33})^2 + (\sigma_{33}-\sigma_{11})^2 + 6\left(\tau_{12}^2 + \tau_{13}^2 + \tau_{23}^2\right)\Big]^{1/2}, \tag{11.2}$$

где σ_{11}, σ_{22}, σ_{33} — нормальные компоненты тензора напряжений, Па;

τ_{12}, τ_{23}, τ_{13} — касательные компоненты тензора напряжений, Па.

11.8.2 Переменный предел текучести σ_Y характеризует упрочнение материала в пластической области и определяется значением работы накопленных пластических деформаций на основании диаграммы одноосного растяжения.

11.8.3 Для вычисления закона упрочнения в модели пластичности следует применять кривую одноосного растяжения, аппроксимированную по методу Рамберга-Осгуда согласно приложению Б.

Полученную аппроксимацию инженерной диаграммы деформирования для целей последующего численного анализа следует перестроить в координатах «истинное напряжение σ_{tr} — логарифмическая деформация ε_{ln}», вычисляемых по формулам:

$$\sigma_{tr} = \sigma(1 + \varepsilon), \quad (11.3)$$

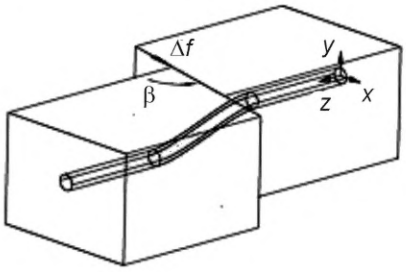
$$\sigma_{ln} = \ln(1 + \varepsilon), \quad (11.4)$$

где σ, ε — инженерные меры напряжения и деформации.

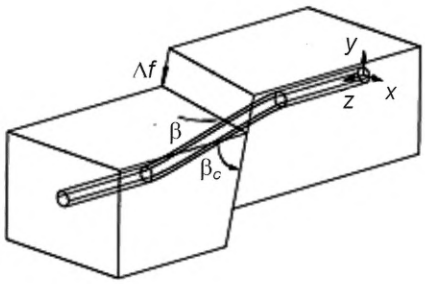
11.8.4 При внесении данных по аппроксимированной диаграмме деформирования в расчетный комплекс рекомендуется использовать сгущение расчетных точек в начальной части диаграммы (до величины деформации — 2 %), характеризующейся резким изменением кривизны диаграммы.

11.9 Граничные условия в модели участка трубопровода при пересечении АТР задают в соответствии с 11.9.1—11.9.6.

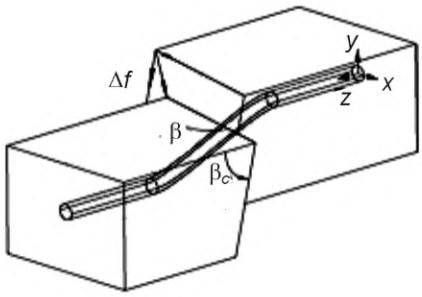
11.9.1 В зависимости от кинематики АТР следует рассматривать схемы участка трубопровода, пересекающего АТР типов «сдвиг», «сброс» («взброс») или комбинированного типа, приведенные на рисунке 11.1.



а) АТР типа «сдвиг»



б) АТР типа «сброс» («взброс»)



в) АТР комбинированного типа

Δf — полное прогнозное смещение АТР; β — угол пересечения в плане, измеряемый от оси газопровода до направления вектора смещения; β_c — угол сброса (взброса), отсчитываемый от горизонтали в вертикальной плоскости, перпендикулярной линии АТР

Рисунок 11.1 — Схема участка подземного газопровода на пересечении активного тектонического разлома

11.9.2 На конце участка МГ со стороны неподвижной части АТР задают нулевые значения перемещений (и углов поворота) по всем степеням свободы (три линейных перемещения и три угла поворота).

11.9.3 На конце участка МГ со стороны подвижной части АТР задают:

- для АТР типа «сдвиг» — компоненты перемещения разлома в поперечном горизонтальном направлении Δf_x по условию

$$u_x = \Delta f_x, \quad (11.5)$$

где u_x — компонента перемещений МГ в направлении оси x, м;

- для АТР типов «сброс», «взброс» или комбинированного типа — компоненты перемещения разлома в поперечном горизонтальном направлении Δf_x, м, и поперечном вертикальном направлении Δf_y, м, по условиям:

$$u_x = \Delta f_x, \quad (11.6)$$

$$u_y = \Delta f_y, \quad (11.7)$$

где u_x — компонента перемещений МГ в направлении оси x, м;

u_y — компонента перемещений МГ в направлении оси y, м.

Задание перемещений (закрепление) МГ в продольном направлении на обоих концах участка одновременно следует избегать. В случае недостаточности длины расчетного участка для затухания продольных перемещений будет возникать искусственное растяжение МГ, существенно искажающее реальное НДС МГ.

11.9.4 На свободных концах «грунтовых пружин», расположенных со стороны неподвижной части АТР, задают нулевые перемещения в трех ортогональных направлениях по условию

$$u_x = u_y = u_z = 0. \quad (11.8)$$

11.9.5 На свободных концах «грунтовых пружин», расположенных со стороны подвижной части АТР, задают компоненты перемещения разлома в поперечном горизонтальном Δf_x, поперечном вертикальном Δf_y и продольном Δf_z направлениях по условиям:

$$u_x = \Delta f_x, \quad (11.9)$$

$$u_y = \Delta f_y, \quad (11.10)$$

$$u_z = \Delta f_z, \quad (11.11)$$

где u_x — компонента перемещений в направлении оси x, м;

u_y — компонента перемещений в направлении оси y, м;

u_z — компонента перемещений в направлении оси z, м.

11.9.6 Компоненты перемещения АТР в поперечном горизонтальном Δf_x, поперечном вертикальном Δf_y и продольном Δf_z направлениях вычисляют по формулам:

- для АТР типа «сдвиг»:

$$\Delta f_x = \Delta f \cdot \sin \beta, \quad (11.12)$$

$$\Delta f_z = \Delta f \cdot \cos \beta; \quad (11.13)$$

- для АТР типа «сброс» или «взброс»:

$$\Delta f_x = -\Delta f \cdot \cos \beta_c \cdot \cos \beta, \quad (11.14)$$

$$\Delta f_y = -\Delta f \cdot \sin \beta_c, \quad (11.15)$$

$$\Delta f_z = \Delta f \cdot \cos \beta_c \cdot \sin \beta, \quad (11.16)$$

где Δf — полное прогнозное смещение АТР, м;

β — угол пересечения в плане, измеряемый от оси газопровода до направления вектора смещения, град;

β_c — угол сброса (взброса), отсчитываемый от горизонтали в вертикальной плоскости, перпендикулярной линии АТР, град;

- для АТР комбинированного типа:

$$\Delta f_x = \Delta f_{сд} \cdot \sin \beta - \Delta f_{сб} \cdot \cos \beta_c \cdot \cos \beta, \quad (11.17)$$

$$\Delta f_y = -\Delta f_{сб} \cdot \sin \beta_c, \quad (11.18)$$

$$\Delta f_z = \Delta f_{сд} \cdot \cos \beta + \Delta f_{сб} \cdot \cos \beta_c \cdot \sin \beta, \quad (11.19)$$

где $\Delta f_{сд}$ — прогнозная амплитуда компоненты сдвига, м;

$\Delta f_{сб}$ — прогнозная амплитуда компоненты сброса, м;

β — угол пересечения в плане, измеряемый от оси газопровода до направления вектора смещения, град;

β_c — угол сброса (взброса), отсчитываемый от горизонтали в вертикальной плоскости, перпендикулярной линии АТР, град.

Примечания

1 Для АТР типа «взброс» знаки в правых частях формул (11.14)—(11.16) меняются на противоположные.

2 Для АТР типа «взброс» в соотношениях (11.17)—(11.19) выполняют замену $\Delta f_{сб}$ на $-\Delta f_{вз}$, где $\Delta f_{вз}$ — прогнозная амплитуда компоненты взброса.

11.10 Распределенную нагрузку от веса грунта прикладывают в виде сосредоточенных сил в узлах балочной модели МГ. Узловую силу грунта $F_{гр}$, Н, вычисляют по формуле

$$F_{гр} = -\rho_{гр} g h D (L_1 + L_2)/2, \quad (11.20)$$

где $\rho_{гр}$ — плотность грунта засыпки, кг/м^3;

g — ускорение свободного падения, принимаемое равным 9,81 м/с^2;

h — высота грунта над верхней образующей трубы в данной точке, м;

D — наружный диаметр МГ, м;

L_1 — расстояние между рассматриваемым узлом и ближайшим узлом слева;

L_2 — расстояние между рассматриваемым узлом и ближайшим узлом справа.

Примечание — Знак «минус» указывает, что данная нагрузка направлена вертикально вниз.

11.11 Результаты расчета формируют в соответствии с 11.11.1—11.11.5.

11.11.1 В результате расчета следует получать значения следующих характеристик НДС вдоль оси газопровода:

а) продольные фибровые деформации;

б) продольные фибровые напряжения;

в) осевые деформации;

г) осевые напряжения;

д) перемещения осевые, поперечные вертикальные, поперечные горизонтальные.

Примечание — Параметры в перечислениях б) и д) не участвуют в критериях предельных состояний участка МГ на пересечении АТР, в то же время распределение данных параметров по длине участка МГ дает более полную картину НДС участка и позволяет дополнительно контролировать корректность полученных результатов.

11.11.2 Для АТР типа «сдвиг» характеристики НДС следует выводить для точек сечения, расположенных на концах горизонтального диаметра, которые соответствуют максимальным напряжениям и деформациям при изгибе в горизонтальной плоскости.

11.11.3 Для АТР типа «сброс»/«взброс» или комбинированного типа характеристики НДС следует выводить для точек сечения, соответствующих максимальным значениям параметров НДС при пространственном изгибе участка МГ.

11.11.4 Если смещение АТР происходит в направлении, близком к вертикальному ($\beta_c \geq 80°$), то характеристики НДС допускается выводить в точках сечения, расположенных на концах вертикального диаметра, которые соответствуют максимальным напряжениям и деформациям при изгибе в вертикальной плоскости в результате воздействия АТР типа «сброс» или «взброс».

11.11.5 Результаты расчета НДС участка перехода МГ через АТР далее используют при проверке критериев предельных состояний, приведенных в разделе 12.

11.12 Состав исходных данных, необходимых для расчета участка подземного МГ на пересечении АТР, приведен в таблице 1.

Таблица 1 — Состав исходных данных для расчета магистрального газопровода на пересечении активного тектонического разлома

Наименование параметра	Обозначение	Примечание
Геометрия участка		
1 Диаметр наружный, мм	D	—
2 Толщина стенки, мм	t	Базовая, от действия функциональных нагрузок
3 Глубина заложения от поверхности грунта до оси трубы, м	H	Средняя на участке
Функциональные нагрузки		
4 Рабочее давление, Па	$P_{раб}$	—
5 Температурный перепад, °С	ΔT	Определяется с учетом фактической температуры грунта при замыкании участка и температуры транспортируемого газа
Материал труб		
6 Предел текучести, МПа	σ_y	—
7 Предел прочности, МПа	σ_u	—
8 Деформация относительного равномерного удлинения, %	δ_p	—
9 Диаграмма деформирования		При наличии
10 Тип и характеристики покрытия труб		—
Параметры грунтов[1]		
11 Наименование грунта		—
12 Плотность грунта (удельный вес), кг/м^3 (кН/м^3)	$\rho_{гр}(\gamma)$	—
13 Сцепление, кПа	c	—
14 Угол внутреннего трения, град	φ	—
Параметры АТР		
15 Кинематика разлома		—
16 Прогнозная амплитуда подвижки при сдвиге, м	$\Delta f_{сд}$	—
17 Прогнозная амплитуда подвижки при сбросе/взбросе, м	$\Delta f_{сб}$	—
18 Угол падения сместителя[2], градус	β_c	—
19 Угол пересечения трубопроводом АТР в плане, градус	β	—

Примечания

1 Параметры грунтов приводят для грунтов засыпки траншеи и природных грунтов, взаимодействующих с МГ при воздействии АТР.

2 Определяют в соответствии с приведенными на рисунке 11.1.

12 Критерии предельных состояний при расчете магистрального газопровода на участке пересечения активного тектонического разлома

12.1 Для участков подземных МГ, пересекающих АТР, следует рассматривать следующие виды предельных состояний:

- разрыв МГ;
- местная потеря устойчивости стенки МГ;
- гофрообразование по телу трубы;
- образование трещин в кольцевых и продольных сварных швах, ЗТВ, по телу трубы.

12.2 Разрыв МГ при воздействии АТР происходит за счет высоких продольных напряжений и деформаций в результате развития трещины в кольцевом направлении. Критические продольные растягивающих деформаций по отношению к разрыву МГ определяют по 12.5.

12.3 Местная (локальная) потеря устойчивости стенки МГ (местное смятие) происходит при общем изгибе МГ в зоне действия сжимающих продольных напряжений. С целью исключения местной потери устойчивости стенки МГ следует ограничить уровень изгибных деформаций в стенке трубы. Для изгибных деформаций следует выполнять проверку условия

$$\frac{\varepsilon_{изг}}{\varepsilon_{M_{max}}} \le 0,9, \tag{12.1}$$

где $\varepsilon_{изг}$ — общая изгибная деформация;

$\varepsilon_{M_{max}}$ — деформация, соответствующая максимуму на диаграмме «изгибающий момент — изгибная деформация».

При сочетании изгиба с растяжением/сжатием в условии (12.1) следует использовать максимальную фибровую деформацию сжатия, взятую по модулю.

Деформация $\varepsilon_{M_{max}}$ характеризует деформационную способность трубы при изгибе. Деформационная способность при изгибе в общем случае зависит от диаметра, толщины стенки, материала трубы и ее геометрии, уровня внутреннего давления, способа приложения нагрузок, граничных условий. Деформацию $\varepsilon_{M_{max}}$ допускается определять по результатам испытаний труб на изгиб или численного моделирования с использованием откалиброванной расчетной модели. При отсутствии результатов испытаний труб на изгиб деформацию $\varepsilon_{M_{max}}$ вычисляют по формуле

$$\varepsilon_{M_{max}} = 0,5\frac{t}{D}, \tag{12.2}$$

где t — толщина стенки трубы, м;

D — наружный диаметр МГ, м.

12.4 Гофрообразование при воздействии АТР возникает в случае реализации высоких сжимающих осевых деформаций. С целью исключения гофрообразования следует ограничить величину осевых деформаций сжатия в МГ. Критерий гофрообразования определяют соотношением

$$\frac{\bar{\varepsilon}_{пр.N}}{\varepsilon_{гофр}} \le k_{гофр}, \tag{12.3}$$

где $\bar{\varepsilon}_{пр.N}$ — осевая деформация сжатия;

$\varepsilon_{гофр}$ — осевая деформация сжатия, при которой начинается гофрообразование;

$k_{гофр}$ — относительная допустимая осевая деформация сжатия, которую принимают равной 0,80.

Осевая деформация сжатия $\varepsilon_{гофр}$ соответствует точке начала потери устойчивости при сжатии и характеризует ДС трубы при сжатии. ДС при сжатии зависит от диаметра, толщины стенки, материала трубы и ее геометрии, уровня внутреннего давления, способа приложения нагрузок, граничных условий.

Осевую деформацию гофрообразования $\varepsilon_{гофр}$ допускается определять по результатам испытаний труб на сжатие или по результатам численного моделирования с использованием откалиброванной

расчетной модели. При отсутствии результатов испытаний труб на сжатие допускается принимать $\varepsilon_{гофр} = 0{,}009$.

Примечания

1 При расчетах с применением балочной модели трубопровода непосредственно не моделируют состояния, соответствующие местной потере устойчивости и горообразованию. Вывод о возникновении данных предельных состояний делается на основе вычисления максимальных фибровых деформаций сжатия и осевых деформаций сжатия.

2 При наличии данных о ДСИ и ДСС, предоставленных производителем труб, в условиях (12.1) и (12.4) выполняют следующую подстановку: $\varepsilon_{M_{max}}$ = ДСИ, $k_{гофр}$ = ДСС.

12.5 Образование трещин в кольцевых сварных швах и по телу трубы происходит при высоких уровнях деформаций растяжения. На пересечениях АТР высокий уровень деформаций растяжения возникает при существенной компоненте перемещения АТР в проекции на направление оси МГ. С целью исключения образования трещин в кольцевых сварных швах и по телу трубы следует обеспечить высокие прочностные свойства материала сварного шва, а также ограничить абсолютные продольные деформации растяжения в МГ согласно условиям:

$$\frac{\sigma_{y.св}}{\sigma_y} \geq 1{,}10, \tag{12.4}$$

$$\varepsilon^{+}_{пр} \leq \left[\varepsilon^{+}_{пр}\right], \tag{12.5}$$

где σ_y — минимальный нормативный предел текучести основного металла трубы;

$\sigma_{y.св}$ — минимальный нормативный предел текучести материала сварного шва/ЗТВ;

$\varepsilon^{+}_{пр}$ — максимальная продольная деформация растяжения в сечении газопровода;

$[\varepsilon^{+}_{пр}]$ — допустимая деформация растяжения, которую принимают равной 0,02 (2 %).

13 Методика определения толщины стенки труб на участках пересечения активного тектонического разлома

13.1 Методика полного расчета

13.1.1 Расчет выполняют в соответствии с блок-схемой алгоритма определения толщины стенки труб подземного МГ для участков пересечения АТР, приведенной на рисунке 13.1.

13.1.2 На первом этапе определяют исходные данные, необходимые для расчета толщины стенки — наружный диаметр D, рабочее давление $P_{раб}$, материал труб.

13.1.3 На втором этапе осуществляют расчет толщины стенки в соответствии с базовым нормативным документом по проектированию МГ.

13.1.4 На третьем этапе выполняют проверку прочности МГ без учета воздействия АТР. На данном этапе учитывают постоянные и временные длительные нагрузки, возникающие при эксплуатации МГ (давление, температурный перепад), а также дополнительные продольные напряжения от прохождения сейсмических волн в соответствии с положениями нормативного документа, принятого для проектирования МГ в государствах, принявших настоящих стандарт.

13.1.5 На четвертом этапе проверяют условия прочности на стадии НУЭ. Если условия прочности не выполняются, принимают конструктивные и/или технологические мероприятия, снижающие нагрузки на МГ, и повторно выполняют проверку условий прочности.

13.1.6 На пятом этапе проводят аппроксимацию диаграммы деформирования трубной стали для последующего использования в численной реализации упругопластической модели деформирования материала трубы. Аппроксимацию выполняют в соответствии с характеристиками материала, приведенными в ТУ или стандартах на трубы, по методике, рассмотренной в разделе 11. Предпочтительнее в качестве альтернативы использовать диаграмму деформирования, предоставленную производителем труб. В последнем случае диаграмму заносят в расчетную модель в виде таблицы (по точкам). В каждом из указанных выше случаев инженерную диаграмму деформирования следует преобразовать в «истинную» диаграмму деформирования.

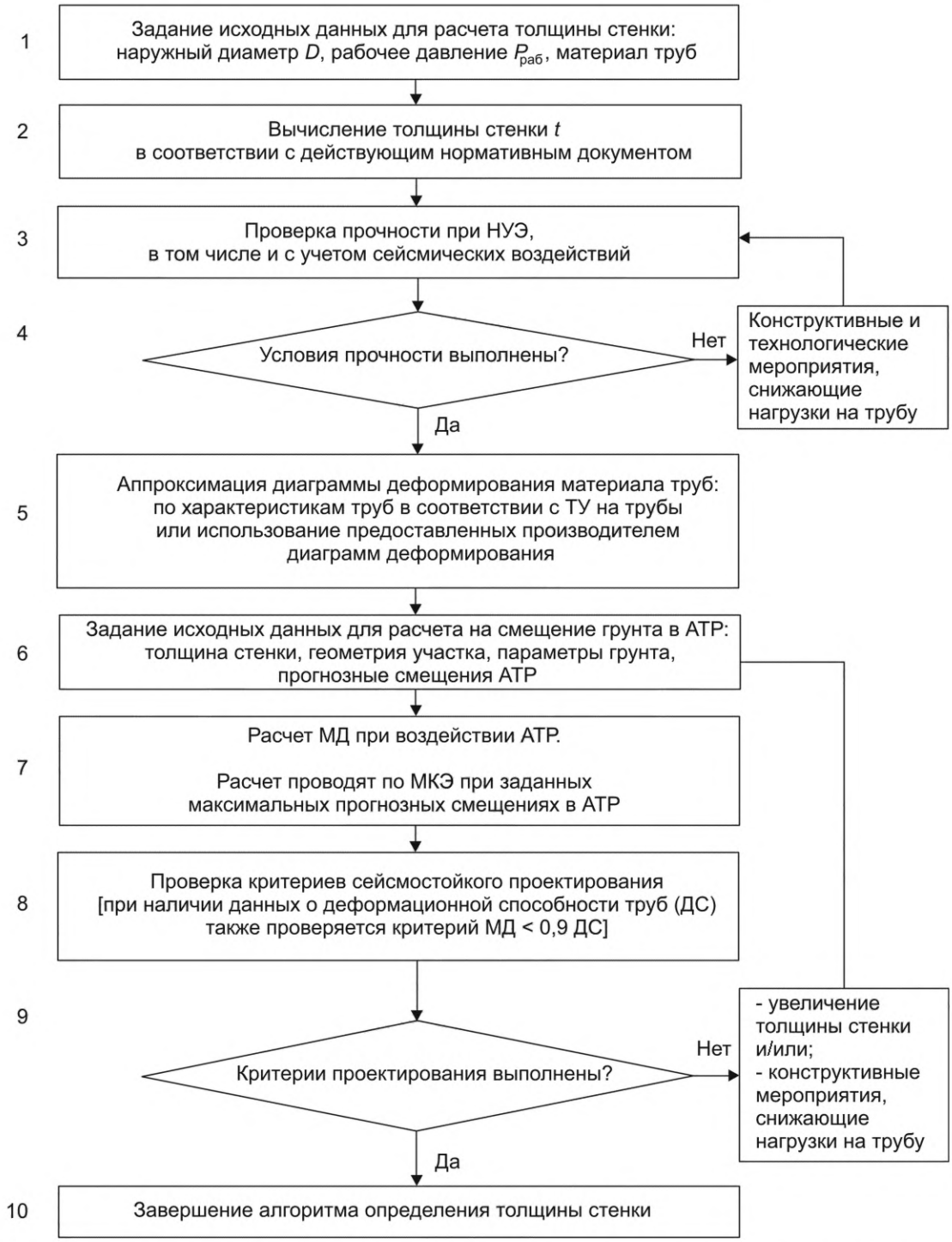


Рисунок 13.1 — Блок-схема алгоритма определения толщины стенки труб для участков пересечения АТР

13.1.7 На шестом этапе определяют исходные данные для расчета воздействия АТР на МГ. Геометрия участка перехода должна соответствовать проекту в части пространственного положения МГ, заглубления, типов и характеристик грунта. Характеристики грунта используют для вычисления параметров «грунтовых пружин» в соответствии с положениями приложения А.

13.1.8 На седьмом этапе проводят расчет модели участка МГ на воздействие заданных смещений АТР. Расчет следует выполнять исходя из условий эксплуатации МГ.

Нагружение участка МГ осуществляют пошагово. На первом шаге задают внутреннее давление, температурный перепад и весовые нагрузки (вес трубы с продуктом, вес вышележащего грунта). На последующих шагах прикладывают приращения перемещений АТР. Полное перемещение АТР прикладывают за 20—50 шагов догрузки. На каждом шаге параметры текущего НДС участка выводят в файлы данных для последующего анализа.

13.1.9 На восьмом этапе выполняют обработку результатов расчета. Из полученных результатов выделяют данные, приведенные в 11.10. По полученным данным проводят проверку критериев предельного состояния в соответствии с разделом 12.

13.1.10 Если критерии предельных состояний не выполняются, следует рассмотреть конструктивные мероприятия, снижающие воздействие на трубу со стороны грунта при возникновении смещения разлома (уменьшение глубины заложения, засыпка слабосвязанным материалом и т. д.), или увеличить толщину стенки трубы. Далее выполняют повторный расчет участка на воздействие смещающегося грунта в АТР.

При выполнении критериев сейсмостойкого проектирования расчет толщины стенки завершен.

13.2 Методика упрощенного расчета

13.2.1 Для типовых случаев пересечения АТР расчет толщины стенки допускается выполнять по данным, содержащим расчетные результаты по минимально допустимой толщине стенки t в зависимости от сочетаний основных расчетных параметров (см. приложение В).

13.2.2 Упрощенный расчет по приложению В выполняют при следующих условиях:

- соответствие параметров рассматриваемого участка одному из приведенных в приложении В расчетных случаев;
- возможность интерполяции между приведенными расчетными случаями.

13.2.3 Упрощенный расчет толщины стенки состоит из следующих шагов:

- расчет параметров АТР и подбор таблицы, соответствующей рассматриваемому расчетному случаю (см. приложение В);
- расчет толщины стенки интерполяцией между приведенными табличными значениями;
- округление найденной толщины стенки в бóльшую сторону с точностью до 1 мм.

13.2.4 Примеры расчета по методикам, приведенным в подразделах 13.1 и 13.2, приведены в приложении Г.

14 Испытания внутренним давлением

14.1 МГ до ввода в эксплуатацию следует подвергать очистке полости, калибровке, испытаниям на прочность, проверке на герметичность, осушке полости и заполнению инертной средой (азотом) в соответствии с положениями международных, межгосударственных и национальных стандартов, а также иных технических документов, применение которых согласовано в установленном порядке и положениями настоящего раздела.

14.2 Участки трубопровода категории С (I) в зонах высокой сейсмической активности и/или пересекающие АТР испытывают на прочность и проверяют на герметичность в два этапа:

- на первом этапе после укладки и засыпки участков гидравлическим либо пневматическим способом (для участков газопроводов с рабочим давлением свыше 11,8 МПа — только гидравлическим способом) давлением 1,25 $P_{раб}$ в течение 12 ч;
- на втором этапе одновременно с газопроводом гидравлическим либо пневматическим способом давлением 1,1 $P_{раб}$ в течение 24 ч (12 ч в случае испытаний пневматическим способом).

Приложение А
(рекомендуемое)

Определение параметров диаграмм взаимодействия трубопровода с грунтом

А.1 Определение параметров диаграммы для продольного направления

А.1.1 Предельное сопротивление грунта Q_u, Н/м, вычисляют по формуле

$$Q_u = \pi D \alpha c + \frac{1}{2}\pi D H \gamma \left(1 + K_0\right) \mathrm{tg}\varphi', \tag{А.1}$$

где π — число «пи», математическая константа, равная 3,14159 (с точностью до пяти знаков после запятой);

D — наружный диаметр трубы, м;

α — коэффициент адгезии;

c — удельное сцепление грунта, Па;

H — глубина от поверхности грунта до оси трубы, м;

γ — удельный вес грунта, Н/м^3;

K_0 — коэффициент статического давления грунта;

φ' — угол трения между трубой и грунтом.

Угол трения между трубой и грунтом φ' вычисляют по формуле

$$\varphi' = f \cdot \varphi, \tag{А.2}$$

где φ — угол внутреннего трения грунта;

f — коэффициент интерфейсного трения, зависящий от типа покрытия труб, приведенный в таблице А.1.

Таблица А.1 — Значения коэффициента интерфейсного трения f

Тип покрытия					
Бетон	Каменноугольная смола	Шероховатая сталь	Гладкая сталь	Эпоксидная смола	Полиэтилен
1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6

Коэффициент адгезии α вычисляют по формуле

$$\alpha = 0{,}608 - 0{,}123c - \frac{0{,}274}{c^2 + 1} + \frac{0{,}695}{c^3 + 1}, \tag{А.3}$$

где c — удельное сцепление грунта, кПа/100.

Коэффициент статического давления грунта K_0 вычисляют по формуле

$$K_0 = 1 - \sin\varphi, \tag{А.4}$$

где φ — угол внутреннего трения грунта.

А.1.2 Перемещение q_u при достижении предельного сопротивления грунта Q_u принимает следующие значения:

а) 3 мм — для плотного песка;

б) 5 мм — для рыхлого песка;

в) 8 мм — для тяжелых глин;

г) 10 мм — для суглинков и легких глин.

А.2 Определение параметров диаграммы для поперечного горизонтального направления

А.2.1 Предельное сопротивление грунта Q_u, Н/м, в поперечном направлении вычисляют по формуле

$$Q_u = N_{ch}cD + N_{qh}\gamma HD, \quad (A.5)$$

где N_{ch} — коэффициент несущей способности для глинистого грунта (N_{ch} = 0 при c = 0);

c — удельное сцепление грунта, Па;

D — наружный диаметр трубы, м;

N_{qh} — коэффициент несущей способности для песчаного грунта (N_{qh} = 0 при φ = 0);

γ — удельный вес грунта, Н/м^3;

H — глубина от поверхности грунта до оси трубы, м.

Коэффициент несущей способности для глинистого грунта N_{ch} вычисляют по формуле

$$N_{ch} = 6{,}752 + 0{,}065x - \frac{11{,}063}{(x+1)^2} + \frac{7{,}119}{(x+1)^3}, \quad (A.6)$$

где x — отношение глубины от поверхности грунта до оси трубы H к наружному диаметру трубы D (H/D), $x \le 5$.

Коэффициент несущей способности для песчаного грунта N_{qh} вычисляют по формуле

$$N_{qh} = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4, \quad (A.7)$$

где x — отношение глубины от поверхности грунта до оси трубы H к наружному диаметру трубы $D(H/D)$, $x \le 5$;

a_0—a_4 — коэффициенты, значения которых зависят от угла внутреннего трения грунта, приведенные в таблице А.2.

Таблица А.2 — Значения коэффициентов a_0—a_4

φ, град	a_0	a_1	a_2	a_3, 10^{-3}	a_4, 10^{-4}
20	2,399	0,439	–0,03	1,059	–0,1754
25	3,332	0,839	–0,090	5,606	–1,319
30	4,565	1,234	–0,089	4,275	–0,9159
35	6,816	2,019	–0,146	7,651	–1,683
40	10,959	1,783	0,045	–5,425	–1,153
45	17,658	3,309	0,048	–6,443	–1,299

Для промежуточных значений углов внутреннего трения коэффициенты выражения (А.6) допускается определять с помощью интерполяции.

А.2.2 Перемещение q_u, м, при достижении предельного сопротивления грунта Q_u вычисляют по формуле

$$q_u = 0{,}04(H + D/2), \quad (A.8)$$

где H — глубина от поверхности грунта до оси трубы, м;

D — наружный диаметр трубы, м.

А.3 Определение параметров диаграммы для поперечного вертикального направления при перемещении трубы вверх

А.3.1 Предельное сопротивление грунта Q_u, Н/м, при перемещении трубы вверх вычисляют по формуле

$$Q_u = N_{cv}cD + N_{qv}\gamma HD, \quad (A.9)$$

где N_{cv} — коэффициент несущей способности при движении трубы вверх для глинистого грунта (N_{cv} = 0 при c = 0), $N_{cv} \le 10$, вычисляемый по формуле

$$N_{cv} = 2\frac{H}{D}, \quad (A.10)$$

где H — глубина от поверхности грунта до оси трубы, м;

D — наружный диаметр трубы, м;

c — удельное сцепление грунта, Па;

N_{qv} — коэффициент несущей способности для песчаного грунта (N_{qv} = 0 при φ = 0), вычисляемый по формуле

$$N_{qv} = \frac{\varphi H}{44D} \le N_q, \quad (A.11)$$

где φ — угол внутреннего трения грунта, град;

N_q — коэффициент несущей способности, вычисляемый по формуле

$$N_q = \exp(\pi \cdot \operatorname{tg} \varphi) \cdot \operatorname{tg}^2(45 + \varphi/2); \quad (A.12)$$

γ — удельный вес грунта, Н/м^3.

А.3.2 Предельное перемещение q_u при достижении предельного сопротивления грунта Q_u составляет:

- для песков (от плотных до рыхлых) — от 0,01H до 0,02H;
- глинистых грунтов (от твердых до мягких) — от 0,1H до 0,2H.

А.4 Определение параметров диаграммы для поперечного вертикального направления при перемещении трубы вниз

А.4.1 Предельное сопротивление грунта Q_u, Н/м, при перемещении трубы вниз вычисляют по формуле

$$Q_u = N_c c D + N_q \gamma H D + \frac{1}{2} N_\gamma \gamma D^2, \quad (A.13)$$

,

где N_c, N_γ — коэффициенты несущей способности;

c — удельное сцепление грунта, Па;

D — наружный диаметр трубы, м;

γ — удельный вес грунта, Н/м^3;

H — глубина от поверхности грунта до оси трубы, м.

Коэффициент несущей способности N_c вычисляют по формуле

$$N_c = \cot \varphi_1 \{\exp(\pi \cdot \operatorname{tg}\varphi_1) \cdot \operatorname{tg}^2(45 + \varphi_1/2) - 1\}, \quad (A.14)$$

где φ_1 — параметр грунта, град, вычисляемый через угол внутреннего трения грунта как φ + 0,001.

Коэффициент несущей способности N_γ вычисляют по формуле

$$N_\gamma = \exp(0{,}18\varphi - 2{,}5), \quad (A.15)$$

где φ — угол внутреннего трения грунта, град.

А.4.2 Предельное перемещение q_u составляет:

- 0,1D — для несвязных грунтов (песок);
- 0,2D — для связных грунтов (глина, суглинок).

Приложение Б
(рекомендуемое)

Аппроксимация диаграммы деформирования при растяжении на основе модели Рамберга-Осгуда

Б.1 Функциональная зависимость между напряжениями σ и деформациями ε при одноосном растяжении (сжатии) в соответствии с моделью Рамберга-Осгуда имеет следующий вид:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}\left[1+\frac{3}{7}\left(\frac{\sigma}{\sigma_y}\right)^{n-1}\right], \tag{Б.1}$$

где E — модуль упругости материала, Па;

σ_y — параметр модели, Па;

n — безразмерный показатель степени.

Примечание — Впервые данная модель опубликована в работе Рамберг В., Осгуд В.Р. Описание кривой «напряжение-деформация» тремя параметрами. Техническая записка//Национальный консультативный комитет по аэронавтике, Вашингтон, Округ Колумбия, 1943 № 902.

Б.2 Если условный предел текучести определен как напряжение, соответствующее остаточным деформациям 0,2 %, то параметры модели σ_y и n определяют по формулам

$$\sigma_y = \frac{\sigma_{0,2}}{\left[\frac{7}{3}\left(\frac{\varepsilon_{0,2}}{\varepsilon^e_{0,2}}-1\right)\right]^{1/(n-1)}}, \tag{Б.2}$$

$$n = 1+\frac{\lg\left[\left(\frac{\varepsilon_{0,2}}{\varepsilon^e_{0,2}}-1\right)\Big/\left(\frac{\varepsilon_B}{\varepsilon^e_B}-1\right)\right]}{\lg\left(\sigma_{0,2}/\sigma_B\right)}, \tag{Б.3}$$

где $\sigma_{0,2}$ — условный предел текучести;

$\varepsilon_{0,2}$, $\varepsilon^e_{0,2}$ — полные и упругие деформации, соответствующие напряжениям $\sigma_{0,2}$, определяемые по формулам:

$$\varepsilon^e_{0,2} = \sigma_{0,2}/E, \tag{Б.4}$$

$$\varepsilon_{0,2} = 0{,}002 + \varepsilon^e_{0,2}, \tag{Б.5}$$

где σ_B — временное сопротивление (предел прочности);

ε_B, $\varepsilon^e_B = \sigma_B/E$ — полные и упругие деформации, соответствующие напряжениям σ_B (значение ε_B определяют по результатам испытаний стандартных образцов на растяжение).

Полную деформацию ε_B вычисляют по формуле

$$\varepsilon_B = 0{,}01 \cdot \delta_p, \tag{Б.6}$$

где δ_p — равномерное относительное удлинение, %.

При отсутствии данных для параметра δ_p применяют соотношение

$$\varepsilon_B = 0{,}004 \cdot \delta_5, \tag{Б.7}$$

где δ_5 — остаточное относительное удлинение при растяжении пятикратных образцов (цилиндрический образец, у которого расчетная длина образца составляет пять диаметров в соответствии с ГОСТ 1497), %.

Б.3 Если условный предел текучести определен как напряжение, соответствующее полным деформациям 0,5 %, то параметры модели σ_y и n определяют по формулам:

$$\sigma_y = \frac{\sigma_{YS}}{\left[\frac{7}{3}\left(\frac{\varepsilon_{YS}}{\varepsilon^e_{YS}} - 1\right)\right]^{1/(n-1)}}, \tag{Б.8}$$

$$n = 1 + \frac{\lg\left[\left(\frac{\varepsilon_{YS}}{\varepsilon^e_{YS}} - 1\right) \Big/ \left(\frac{\varepsilon_B}{\varepsilon^e_B} - 1\right)\right]}{\lg\left(\sigma_{YS} / \sigma_B\right)}, \tag{Б.9}$$

где σ_{YS} — условный предел текучести, Па;

ε_{YS} — полные деформации, равные $\varepsilon_{YS} = 0{,}005$ и соответствующие условному пределу текучести; σ_{YS};

$\varepsilon^e_{YS} = \sigma_{YS}/E$ — упругие деформации, соответствующие условному пределу текучести σ_{YS};

ε_B, $\varepsilon^e_B = \sigma_B/E$ — полные и упругие деформации, соответствующие напряжениям σ_B;

σ_B — условный предел прочности, Па;

E — модуль упругости стали, Па.

Приложение В
(рекомендуемое)

Допустимые толщины стенок в зависимости от смещения активного тектонического разлома для типовых вариантов пересечения

В.1 Исходные данные

В.1.1 Исходные данные, использованные при проведении расчетов, приведены в таблицах В.1—В.4.

Таблица В.1 — Основные параметры трубопровода

Категория участка МГ	Наружный диаметр трубы D, мм	Рабочее давление $P_{раб}$, МПа	Температурный перепад ΔT, °С	Класс прочности труб	Глубина заложения (до верха трубы), м
I (С)	530/720/1020/1220/1420	5,4/9,8/11,8/14,7	+40	К55/К60/К65/К70	0,8

Таблица В.2 — Механические характеристики труб

Класс прочности труб	Условный предел текучести, МПа	Предел прочности $R_1^н$, МПа	Остаточное относительное удлинение δ_5, не менее, %
К55	390	540	20
К60	485	590	20
К65	555	640	18
К70	600	695	16

Таблица В.3 — Механические характеристики глинистого грунта

Плотность, кг/м^3	Удельное сцепление c, МПа	Угол внутреннего трения φ, град
2000	0,042	24

Таблица В.4 — Механические характеристики песчаного грунта засыпки

Плотность, кг/м^3	Удельное сцепление c, МПа	Угол внутреннего трения φ, град
1700	0,001	40

В.1.2 Структура графических и табличных данных по приложению В приведена в таблице В.5.

Таблица В.5 — Структура графических и табличных данных по приложению В

Тип АТР	Грунт	Класс прочности труб	Рисунок	Таблица
Сдвиг	Песок	К55	В.1—В.4	В.6—В.9
		К60	В.5—В.8	В.10—В.13
		К65	В.9—В.12	В.14—В.17
		К70	В.13—В.16	В.18—В.21

Окончание таблицы В.5

Тип АТР	Грунт	Класс прочности труб	Рисунок	Таблица
Сдвиг	Глина	К55	В.17—В.20	В.22—В.25
		К60	В.21—В.24	В.26—В.29
		К65	В.25—В.28	В.30—В.33
		К70	В.29—В.32	В.34—В.37
Сброс	Песок	К55	В.33—В.36	В.38—В.41
		К60	В.37—В.40	В.42—В.45
		К65	В.41—В.44	В.46—В.49
		К70	В.45—В.48	В.50—В.53
	Глина	К55	В.49—В.52	В.54—В.57
		К60	В.53—В.56	В.58—В.61
		К65	В.57—В.60	В.62—В.65
		К70	В.61—В.64	В.66—В.69

Для каждой комбинации параметров «тип АТР/грунт/класс прочности труб» приведены расчетные данные по допустимой толщине стенки для четырех вариантов давления: 5,4; 9,8; 11,8; 14,7 МПа.

Расчетные данные содержат графические и числовые зависимости минимально допустимой толщины стенки [t] от значения смещения АТР Δf для значений наружного диаметра D = 530; 720; 1020; 1220 и 1420 мм.

В.1.3 Для АТР типа «сдвиг» в глинистом грунте с учетом существенного влияния угла пересечения в плане приведены результаты для трех значений угла β = 90° (сплошные линии), 75° и 60° (пунктирные линии); для песчаного грунта в силу более слабого влияния данного параметра — результаты расчета для случаев β = 90° (сплошные линии) и 60° (пунктирные линии).

В.1.4 Для АТР типа «сброс» приведены расчеты для случаев β = 90° (сплошные линии) и 60° (пунктирные линии). При указанных значениях β_c угол пересечения АТР в плане β незначительно влияет на результаты, так что в расчетах принято β = 90°, а результаты допускается применять для значений 60° ≤ β ≤ 90°.

В.1.5 Для АТР комбинированного типа «сдвиг» и типов «сброс»/«взброс» максимальные деформации от каждой из компонент смещения $\Delta f_{сд}$ и $\Delta f_{сб}$ возникают в разных сечениях. Взаимное влияние компонент смещения на максимальные параметры деформаций от каждой компоненты смещения незначительно.

Толщину стенки трубы для АТР со смешанной кинематикой определяют как максимальное значение, полученное по отдельности для сдвига и сброса с соответствующими прогнозными смещениями $\Delta f_{сд}$ и $\Delta f_{сб}$:

$$[t] = \max([t]_{сд}, [t]_{сб}). \quad (В.1)$$

В.2 Графические и табличные материалы

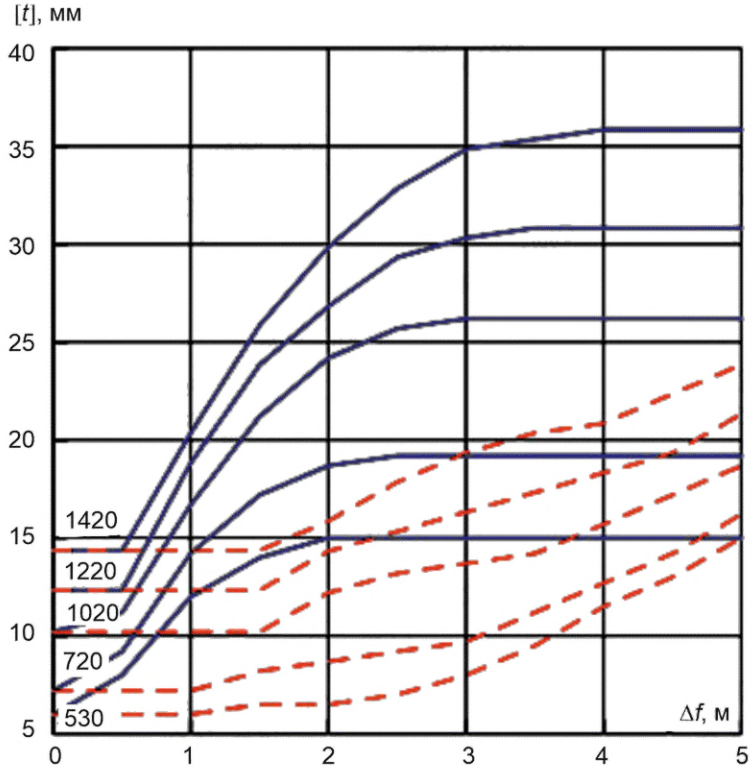


Рисунок В.1 — Сдвиг, песок, К55, p = 5,4 МПа

Таблица В.6 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, песок, К55, p = 5,4 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	6,0	6,0	7,2	7,2	10,2	10,2	12,3	12,3	14,36	14,36
0,5	8,0	6,0	9,2	7,2	11,2	10,2	12,3	12,3	14,36	14,36
1,0	12,0	6,0	14,2	7,2	16,7	10,2	18,8	12,3	20,36	14,36
1,5	14,0	6,5	17,2	8,2	21,2	10,2	23,8	12,3	25,86	14,36
2,0	15,0	6,5	18,7	8,7	24,2	12,2	26,8	14,3	29,86	15,86
2,5	15,0	7,0	19,2	9,2	25,7	13,2	29,3	15,3	32,86	17,86
3,0	15,0	8,0	19,2	9,7	26,2	13,7	30,3	16,3	34,86	19,36
3,5	15,0	9,5	19,2	11,2	26,2	14,2	30,8	17,3	35,36	20,36
4,0	15,0	11,5	19,2	12,7	26,2	15,7	30,8	18,3	35,86	20,86
4,5	15,0	13,0	19,2	14,2	26,2	17,2	30,8	19,3	35,86	22,36
5,0	15,0	15,0	19,2	16,2	26,2	18,7	30,8	21,3	35,86	23,86

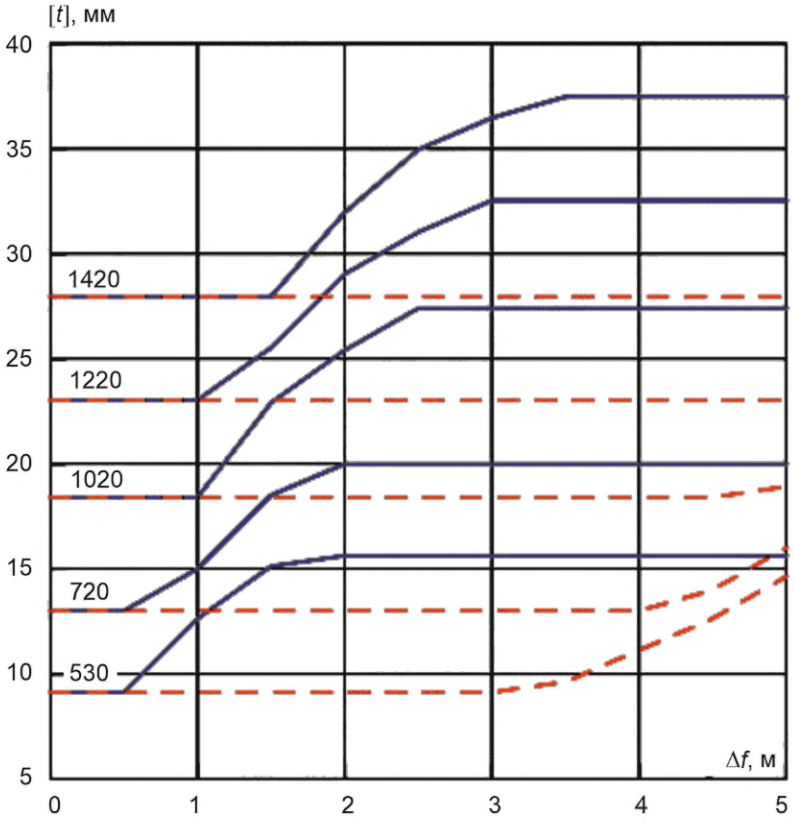


Рисунок В.2 — Сдвиг, песок, К55, p = 9,8 МПа

Таблица В.7 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, песок, К55, p = 9,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	9,13	9,13	13,0	13,0	18,41	18,41	23,03	23,03	27,97	27,97
0,5	9,13	9,13	13,0	13,0	18,41	18,41	23,03	23,03	27,97	27,97
1,0	12,63	9,13	15,0	13,0	18,41	18,41	23,03	23,03	27,97	27,97
1,5	15,13	9,13	18,5	13,0	22,91	18,41	25,53	23,03	27,97	27,97
2,0	15,63	9,13	20,0	13,0	25,41	18,41	29,03	23,03	31,97	27,97
2,5	15,63	9,13	20,0	13,0	27,41	18,41	31,03	23,03	34,97	27,97
3,0	15,63	9,13	20,0	13,0	27,41	18,41	32,53	23,03	36,47	27,97
3,5	15,63	9,13	20,0	13,0	27,41	18,41	32,53	23,03	37,47	27,97
4,0	15,63	11,13	20,0	13,0	27,41	18,41	32,53	23,03	37,47	27,97
4,5	15,63	12,63	20,0	14,0	27,41	18,41	32,53	23,03	37,47	27,97
5,0	15,63	14,63	20,0	16,0	27,41	18,91	32,53	23,03	37,47	27,97

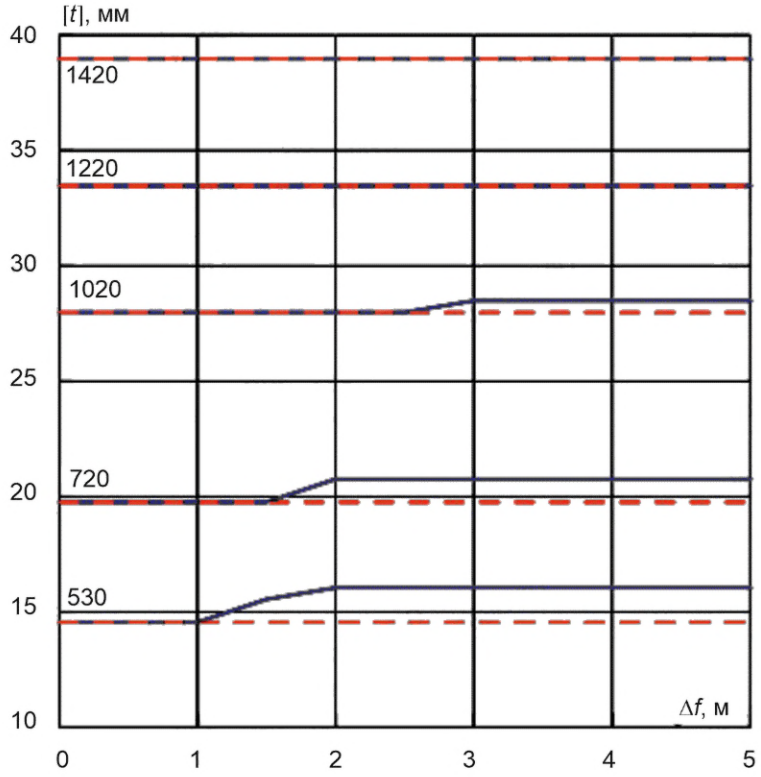


Рисунок В.3 — Сдвиг, песок, К55, p = 11,8 МПа

Таблица В.8 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, песок, К55, p = 11,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	14,55	14,55	19,76	19,76	27,99	27,99	33,48	33,48	38,97	38,97
0,5	14,55	14,55	19,76	19,76	27,99	27,99	33,48	33,48	38,97	38,97
1,0	14,55	14,55	19,76	19,76	27,99	27,99	33,48	33,48	38,97	38,97
1,5	15,55	14,55	19,76	19,76	27,99	27,99	33,48	33,48	38,97	38,97
2,0	16,05	14,55	20,76	19,76	27,99	27,99	33,48	33,48	38,97	38,97
2,5	16,05	14,55	20,76	19,76	27,99	27,99	33,48	33,48	38,97	38,97
3,0	16,05	14,55	20,76	19,76	28,49	27,99	33,48	33,48	38,97	38,97
3,5	16,05	14,55	20,76	19,76	28,49	27,99	33,48	33,48	38,97	38,97
4,0	16,05	14,55	20,76	19,76	28,49	27,99	33,48	33,48	38,97	38,97
4,5	16,05	14,55	20,76	19,76	28,49	27,99	33,48	33,48	38,97	38,97
5,0	16,05	14,55	20,76	19,76	28,49	27,99	33,48	33,48	38,97	38,97

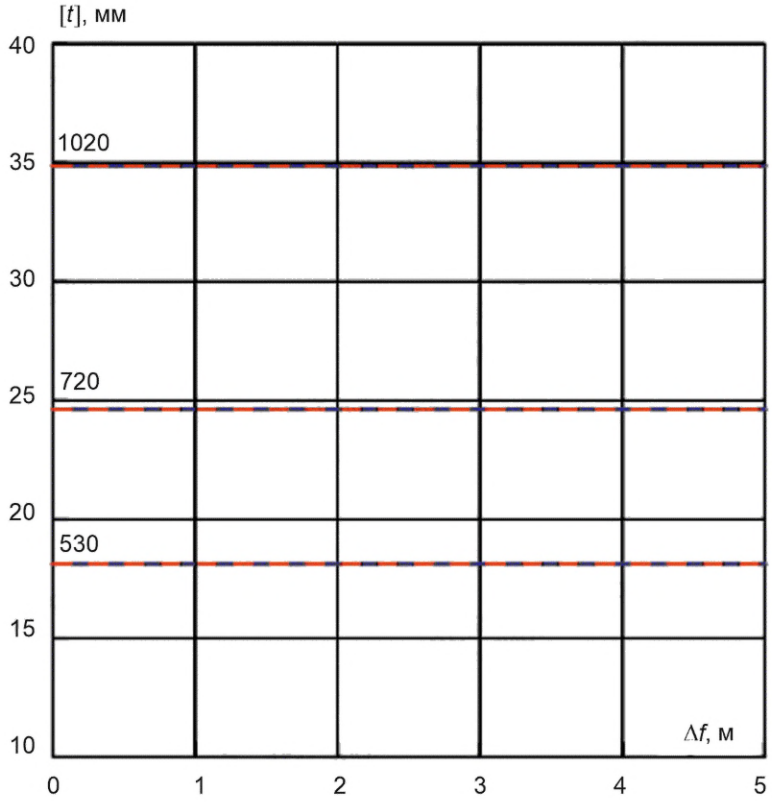


Рисунок В.4 — Сдвиг, песок, К55, p = 14,7 МПа

Таблица В.9 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, песок, К55, p = 14,7 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	18,12	18,12	24,62	24,62	34,87	34,87	—	—	—	—
0,5	18,12	18,12	24,62	24,62	34,87	34,87	—	—	—	—
1,0	18,12	18,12	24,62	24,62	34,87	34,87	—	—	—	—
1,5	18,12	18,12	24,62	24,62	34,87	34,87	—	—	—	—
2,0	18,12	18,12	24,62	24,62	34,87	34,87	—	—	—	—
2,5	18,12	18,12	24,62	24,62	34,87	34,87	—	—	—	—
3,0	18,12	18,12	24,62	24,62	34,87	34,87	—	—	—	—
3,5	18,12	18,12	24,62	24,62	34,87	34,87	—	—	—	—
4,0	18,12	18,12	24,62	24,62	34,87	34,87	—	—	—	—
4,5	18,12	18,12	24,62	24,62	34,87	34,87	—	—	—	—
5,0	18,12	18,12	24,62	24,62	34,87	34,87	—	—	—	—

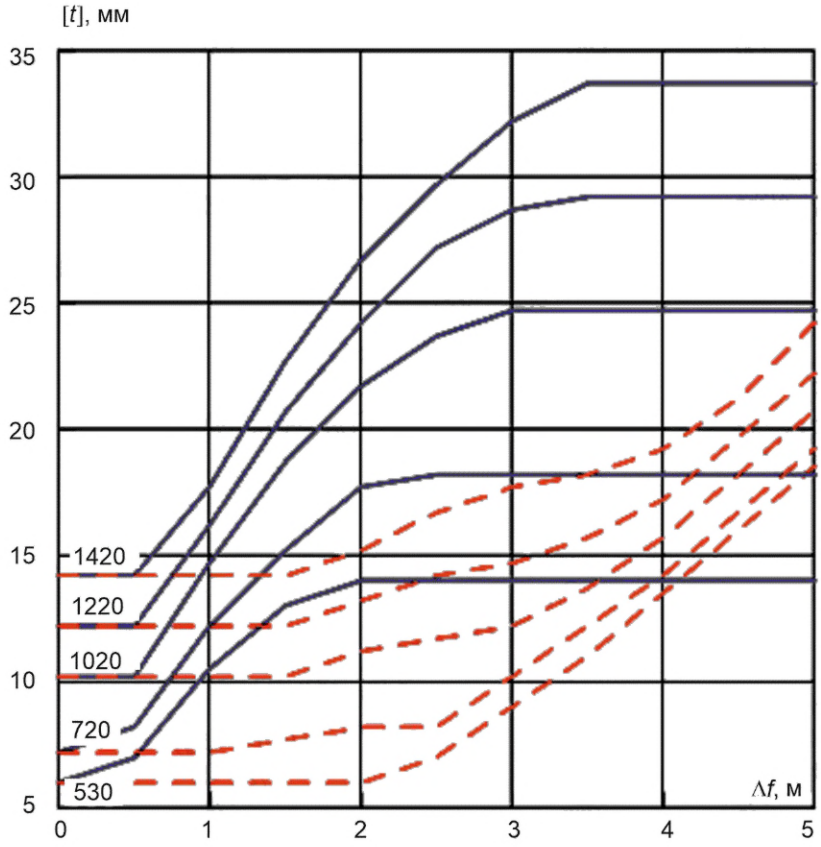


Рисунок В.5 — Сдвиг, песок, К60, p = 5,4 МПа

Таблица В.10 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, песок, К60, p = 5,4 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	6,0	6,0	7,2	7,2	10,2	10,2	12.2	12,2	14,2	14,2
0,5	7,0	6,0	8,2	7,2	10,2	10,2	12,2	12,2	14,2	14,2
1,0	10,5	6,0	12,2	7,2	14,7	10,2	16,2	12,2	17,7	14,2
1,5	13,0	6,0	15,2	7,7	18,7	10,2	20,7	12,2	22,7	14,2
2,0	14,0	6,0	17,7	8,2	21,7	11,2	24,2	13,2	26,7	15,2
2,5	14,0	7,0	18,2	8,2	23,7	11,7	27,2	14,2	29,7	16,7
3,0	14,0	9,0	18,2	10,2	24,7	12,2	28,7	14,7	32,2	17,7
3,5	14,0	11,0	18,2	12,2	24,7	13,7	29,2	15,7	33,7	18,2
4,0	14,0	13,5	18,2	14,2	24,7	15,7	29,2	17,2	33,7	19,2
4,5	14,0	16,0	18,2	16,7	24,7	18,2	29,2	19,7	33,7	21,2
5,0	14,0	18,5	18,2	19,2	24,7	20,7	29,2	22,2	33,7	24,2

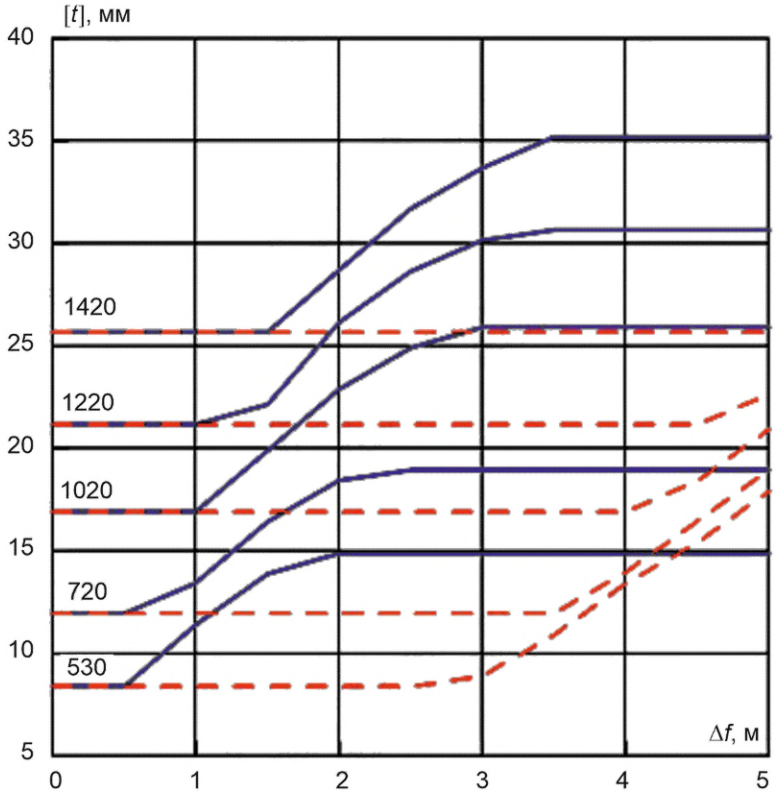


Рисунок В.6 — Сдвиг, песок, К60, p = 9,8 МПа

Таблица В.11 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, песок, К60, p = 9,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	8,38	8,38	11,93	11,93	16,9	16,9	21,15	21,15	25,69	25,69
0,5	8,38	8,38	11,93	11,93	16,9	16,9	21,15	21,15	25,69	25,69
1,0	11,38	8,38	13,43	11,93	16,9	16,9	21,15	21,15	25,69	25,69
1,5	13,88	8,38	16,43	11,93	19,9	16,9	22,15	21,15	25,69	25,69
2,0	14,88	8,38	18,43	11,93	22,9	16,9	26,15	21,15	28,69	25,69
2,5	14,88	8,38	18,93	11,93	24,9	16,9	28,65	21,15	31,69	25,69
3,0	14,88	8,88	18,93	11,93	25,9	16,9	30,15	21,15	33,69	25,69
3,5	14,88	10,88	18,93	11,93	25,9	16,9	30,65	21,15	35,19	25,69
4,0	14,88	13,38	18,93	13,93	25,9	16,9	30,65	21,15	35,19	25,69
4,5	14,88	15,38	18,93	16,43	25,9	18,4	30,65	21,15	35,19	25,69
5,0	14,88	17,88	18,93	18,93	25,9	20,9	30,65	22,65	35,19	25,69

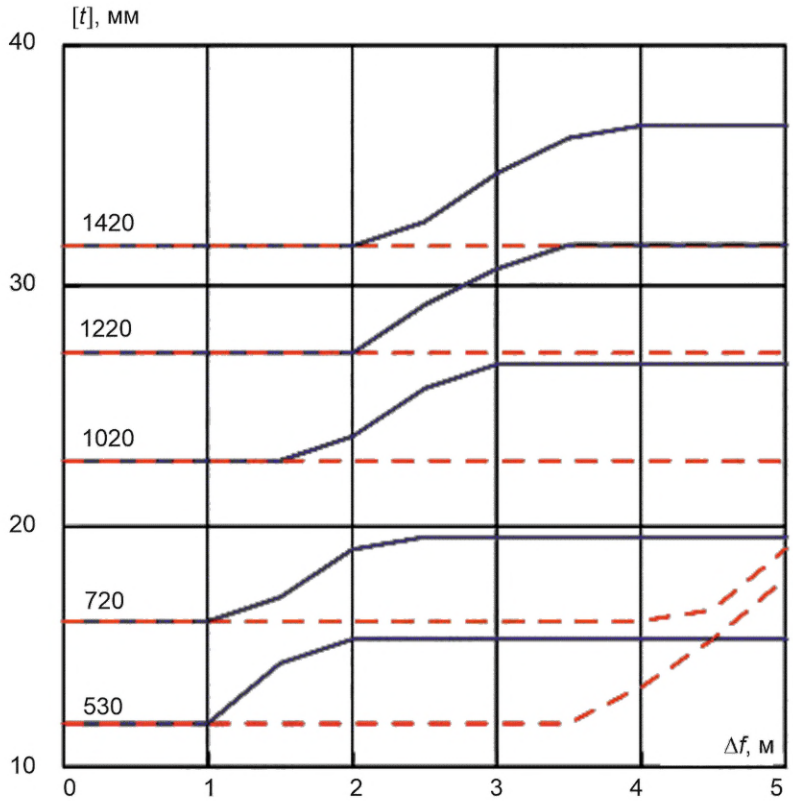


Рисунок В.7 — Сдвиг, песок, К60, p = 11,8 МПа

Таблица В.12 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, песок, К60, p = 11,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	11,82	11,82	16,06	16,06	22,75	22,75	27,21	27,21	31,67	31,67
0,5	11,82	11,82	16,06	16,06	22,75	22,75	27,21	27,21	31,67	31,67
1,0	11,82	11,82	16,06	16,06	22,75	22,75	27,21	27,21	31,67	31,67
1,5	14,32	11,82	17,06	16,06	22,75	22,75	27,21	27,21	31,67	31,67
2,0	15,32	11,82	19,06	16,06	23,75	22,75	27,21	27,21	31,67	31,67
2,5	15,32	11,82	19,56	16,06	25,75	22,75	29,21	27,21	32,67	31,67
3,0	15,32	11,82	19,56	16,06	26,75	22,75	30,71	27,21	34,67	31,67
3,5	15,32	11,82	19,56	16,06	26,75	22,75	31,71	27,21	36,17	31,67
4,0	15,32	13,32	19,56	16,06	26,75	22,75	31,71	27,21	36,67	31,67
4,5	15,32	15,32	19,56	16,56	26,75	22,75	31,71	27,21	36,67	31,67
5,0	15,32	17,82	19,56	19,06	26,75	22,75	31,71	27,21	36,67	31,67

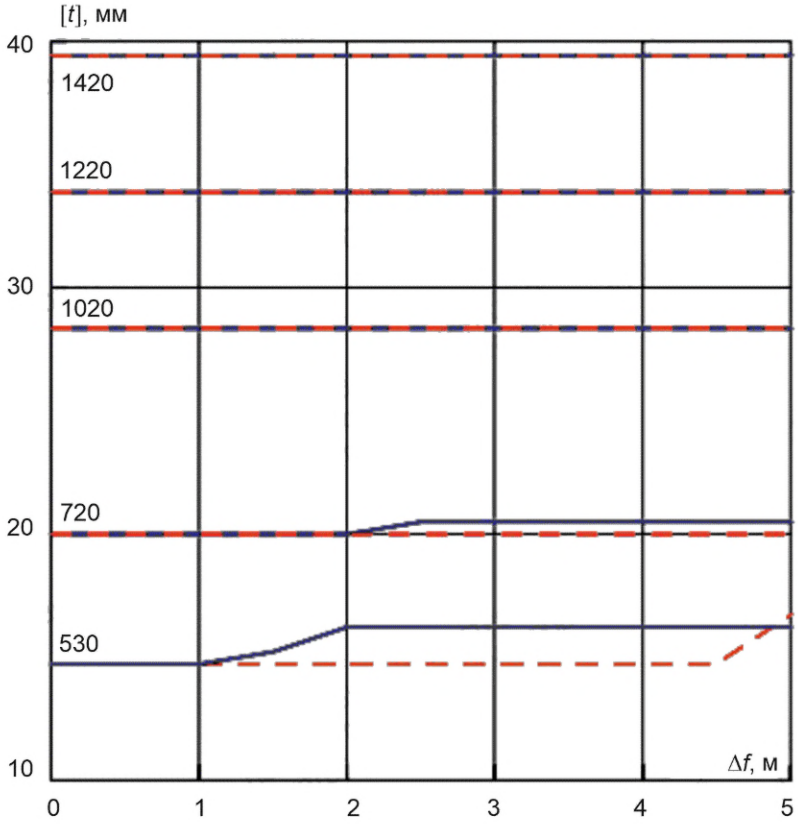


Рисунок В.8 — Сдвиг, песок, К60, p = 14,7 МПа

Таблица В.13 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, песок, К60, p = 14,7 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	14,72	14,72	20	20	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
0,5	14,72	14,72	20	20	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
1,0	14,72	14,72	20	20	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
1,5	15,22	14,72	20	20	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
2,0	16,22	14,72	20	20	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
2,5	16,22	14,72	20,5	20	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
3,0	16,22	14,72	20,5	20	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
3,5	16,22	14,72	20,5	20	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
4,0	16,22	14,72	20,5	20	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
4,5	16,22	14,72	20,5	20	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
5,0	16,22	16,72	20,5	20	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45

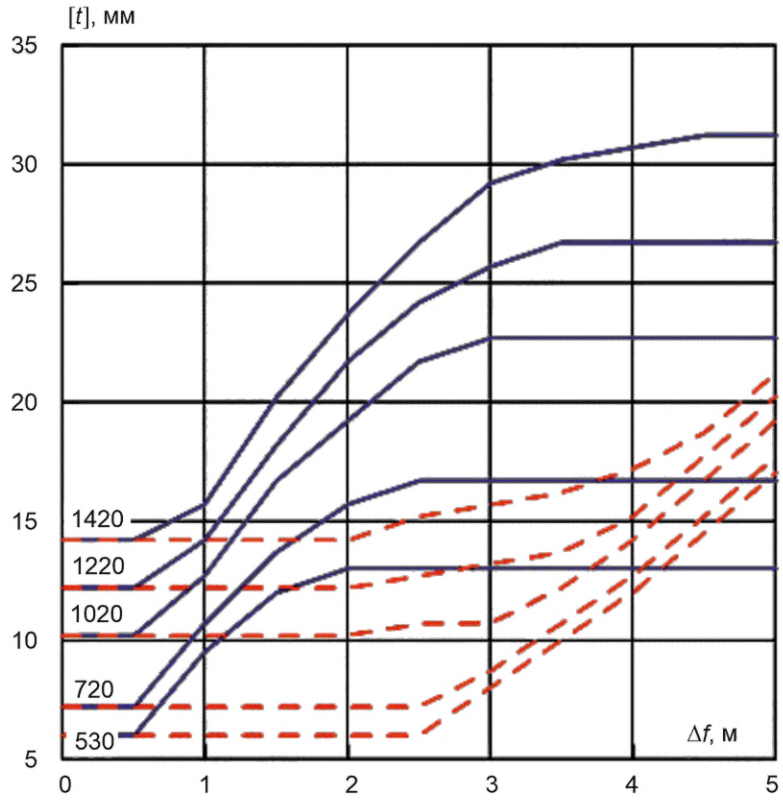


Рисунок В.9 — Сдвиг, песок, К65, p = 5,4 МПа

Таблица В.14 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, песок, К65, p = 5,4 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	6	6	7,2	7,2	10,2	10,2	12,2	12,2	14,2	14,2
0,5	6	6	7,2	7,2	10,2	10,2	12,2	12,2	14,2	14,2
1,0	9,5	6	10,7	7,2	12,7	10,2	14,2	12,2	15,7	14,2
1,5	12	6	13,7	7,2	16,7	10,2	18,2	12,2	20,2	14,2
2,0	13	6	15,7	7,2	19,2	10,2	21,7	12,2	23,7	14,2
2,5	13	6	16,7	7,2	21,7	10,7	24,2	12,7	26,7	15,2
3,0	13	8	16,7	8,7	22,7	10,7	25,7	13,2	29,2	15,7
3,5	13	10	16,7	10,7	22,7	12,2	26,7	13,7	30,2	16,2
4,0	13	12	16,7	12,7	22,7	14,2	26,7	15,2	30,7	17,2
4,5	13	14,5	16,7	15,2	22,7	16,7	26,7	17,7	31,2	18,7
5,0	13	17	16,7	17,7	22,7	19,2	26,7	20,2	31,2	21,2

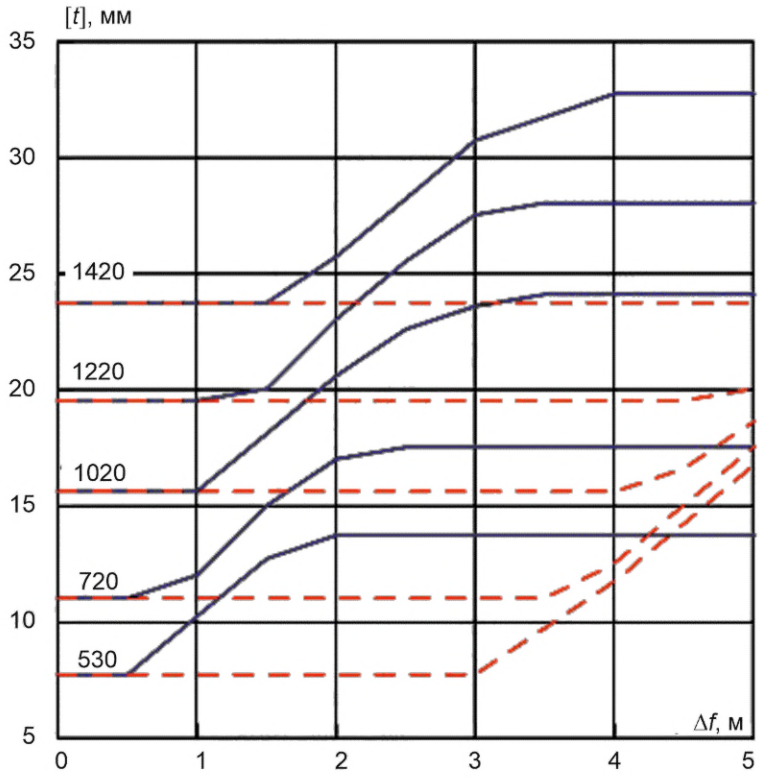


Рисунок В.10 — Сдвиг, песок, К65, p = 9,8 МПа

Таблица В.15 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, песок, К65, p = 9,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	7,742	7,742	11,03	11,03	15,62	15,62	19,55	19,55	23,75	23,75
0,5	7,742	7,742	11,03	11,03	15,62	15,62	19,55	19,55	23,75	23,75
1,0	10,24	7,742	12,03	11,03	15,62	15,62	19,55	19,55	23,75	23,75
1,5	12,74	7,742	15,03	11,03	18,12	15,62	20,05	19,55	23,75	23,75
2,0	13,74	7,742	17,03	11,03	20,62	15,62	23,05	19,55	25,75	23,75
2,5	13,74	7,742	17,53	11,03	22,62	15,62	25,55	19,55	28,25	23,75
3,0	13,74	7,742	17,53	11,03	23,62	15,62	27,55	19,55	30,75	23,75
3,5	13,74	9,742	17,53	11,03	24,12	15,62	28,05	19,55	31,75	23,75
4,0	13,74	11,74	17,53	12,53	24,12	15,62	28,05	19,55	32,75	23,75
4,5	13,74	14,24	17,53	15,03	24,12	16,62	28,05	19,55	32,75	23,75
5,0	13,74	16,74	17,53	17,53	24,12	18,62	28,05	20,05	32,75	23,75

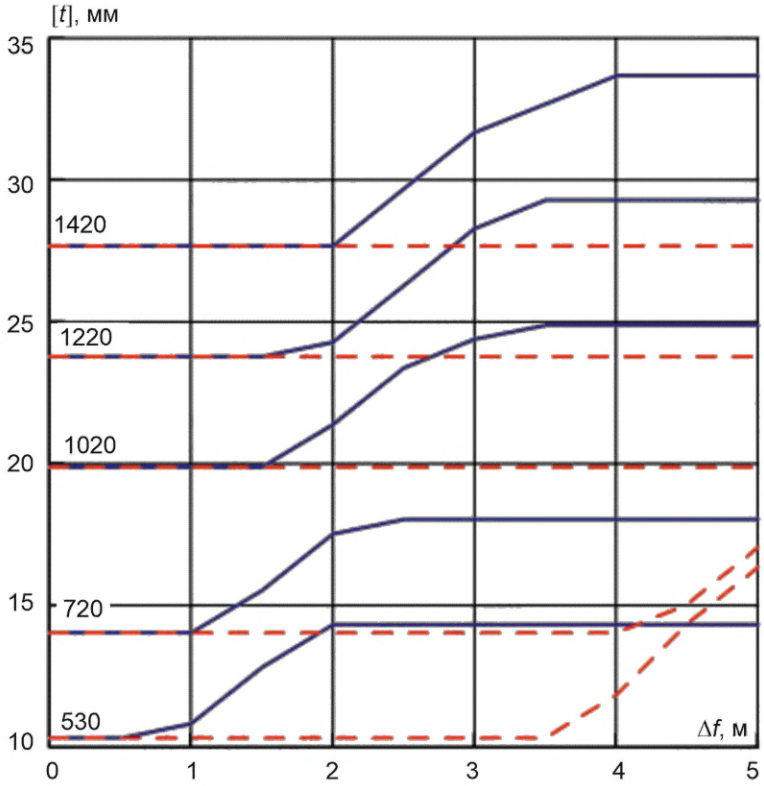


Рисунок В.11 — Сдвиг, песок, К65, p = 11,8 МПа

Таблица В.16 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, песок, К65, p = 11,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	10,33	10,33	14,03	14,03	19,88	19,88	23,78	23,78	27,67	27,67
0,5	10,33	10,33	14,03	14,03	19,88	19,88	23,78	23,78	27,67	27,67
1,0	10,83	10,33	14,03	14,03	19,88	19,88	23,78	23,78	27,67	27,67
1,5	12,83	10,33	15,53	14,03	19,88	19,88	23,78	23,78	27,67	27,67
2,0	14,33	10,33	17,53	14,03	21,38	19,88	24,28	23,78	27,67	27,67
2,5	14,33	10,33	18,03	14,03	23,38	19,88	26,28	23,78	29,67	27,67
3,0	14,33	10,33	18,03	14,03	24,38	19,88	28,28	23,78	31,67	27,67
3,5	14,33	10,33	18,03	14,03	24,88	19,88	29,28	23,78	32,67	27,67
4,0	14,33	11,83	18,03	14,03	24,88	19,88	29,28	23,78	33,67	27,67
4,5	14,33	14,33	18,03	15,03	24,88	19,88	29,28	23,78	33,67	27,67
5,0	14,33	16,33	18,03	17,03	24,88	19,88	29,28	23,78	33,67	27,67

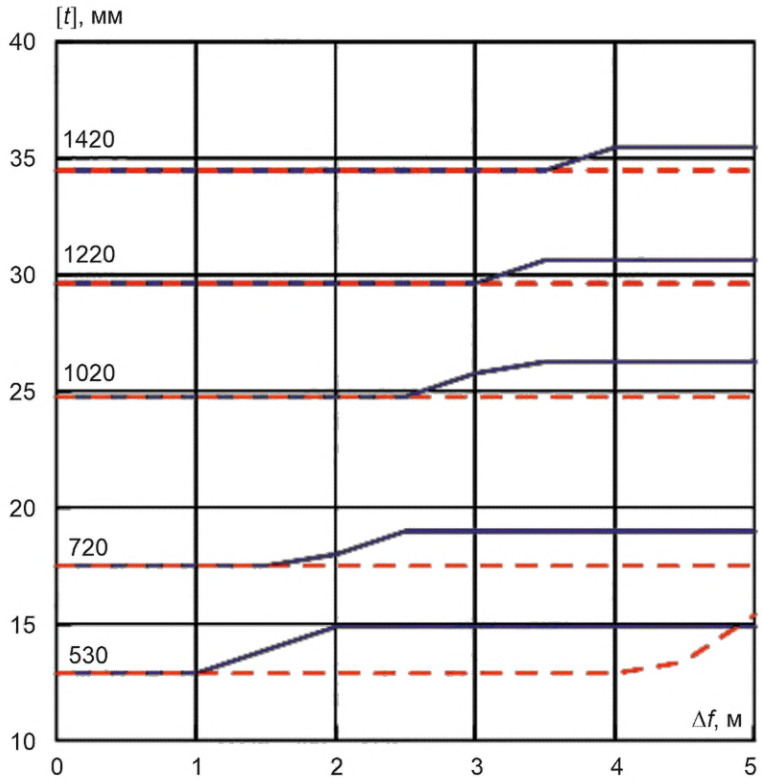


Рисунок В.12 — Сдвиг, песок, К65, p = 14,7 МПа

Таблица В.17 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, песок, К65, p = 14,7 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	12,87	12,87	17,48	17,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
0,5	12,87	12,87	17,48	17,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
1,0	12,87	12,87	17,48	17,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
1,5	13,87	12,87	17,48	17,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
2,0	14,87	12,87	17,98	17,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
2,5	14,87	12,87	18,98	17,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
3,0	14,87	12,87	18,98	17,48	25,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
3,5	14,87	12,87	18,98	17,48	26,26	24,76	30,62	29,62	34,47	34,47
4,0	14,87	12,87	18,98	17,48	26,26	24,76	30,62	29,62	35,47	34,47
4,5	14,87	13,37	18,98	17,48	26,26	24,76	30,62	29,62	35,47	34,47
5,0	14,87	15,37	18,98	17,48	26,26	24,76	30,62	29,62	35,47	34,47

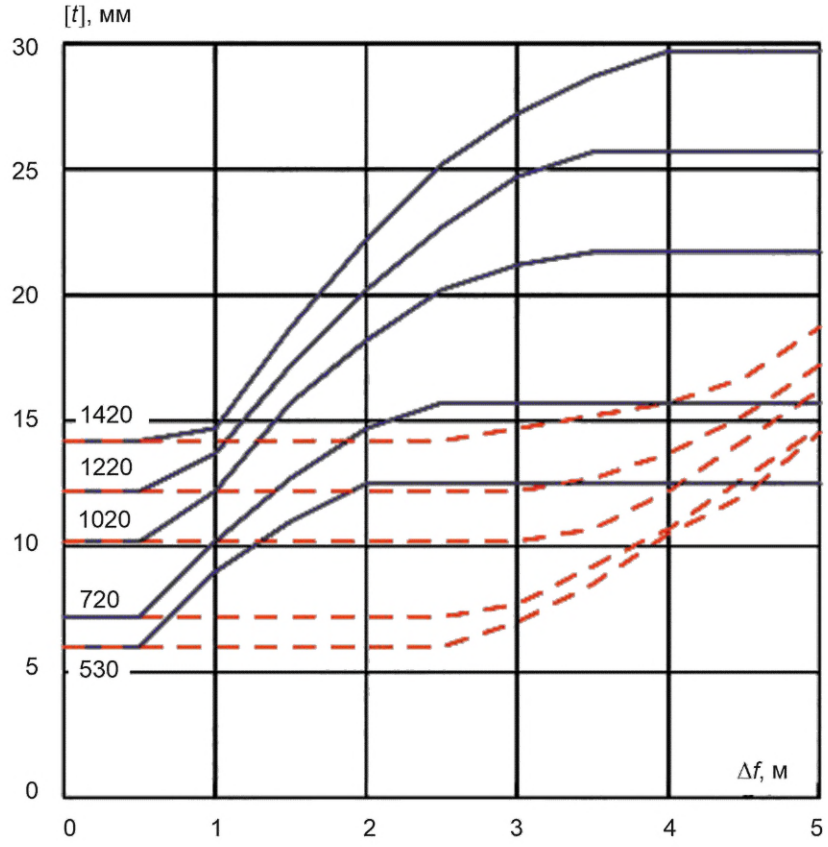


Рисунок В.13 — Сдвиг, песок, К70, p = 5,4 МПа

Таблица В.18 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, песок, К70, p = 5,4 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	6,0	6,0	7,2	7,2	10,2	10,2	12,2	12,2	14,2	14,2
0,5	6,0	6,0	7,2	7,2	10,2	10,2	12,2	12,2	14,2	14,2
1,0	9,0	6,0	10,2	7,2	12,2	10,2	13,7	12,2	14,7	14,2
1,5	11,0	6,0	12,7	7,2	15,7	10,2	17,2	12,2	18,7	14,2
2,0	12,5	6,0	14,7	7,2	18,2	10,2	20,2	12,2	22,2	14,2
2,5	12,5	6,0	15,7	7,2	20,2	10,2	22,7	12,2	25,2	14,2
3,0	12,5	7,0	15,7	7,7	21,2	10,2	24,7	12,2	27,2	14,7
3,5	12,5	8,5	15,7	9,2	21,7	10,7	25,7	12,7	28,7	15,2
4,0	12,5	10,5	15,7	10,7	21,7	12,2	25,7	13,7	29,7	15,7
4,5	12,5	12,0	15,7	12,7	21,7	14,2	25,7	15,2	29,7	16,7
5,0	12,5	14,5	15,7	14,7	21,7	16,2	25,7	17,2	29,7	18,7

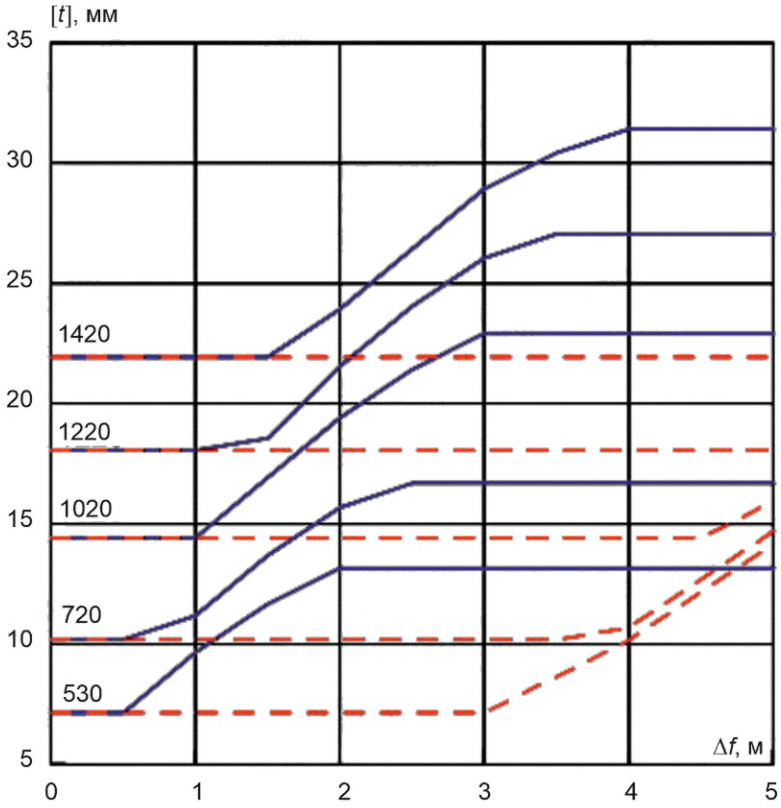


Рисунок В.14 — Сдвиг, песок, К70, p = 9,8 МПа

Таблица В.19 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, песок, К70, p = 9,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	7,146	7,146	10,18	10,18	14,42	14,42	18,05	18,05	21,93	21,93
0,5	7,146	7,146	10,18	10,18	14,42	14,42	18,05	18,05	21,93	21,93
1,0	9,646	7,146	11,18	10,18	14,42	14,42	18,05	18,05	21,93	21,93
1,5	11,65	7,146	13,68	10,18	16,92	14,42	18,55	18,05	21,93	21,93
2,0	13,15	7,146	15,68	10,18	19,42	14,42	21,55	18,05	23,93	21,93
2,5	13,15	7,146	16,68	10,18	21,42	14,42	24,05	18,05	26,43	21,93
3,0	13,15	7,146	16,68	10,18	22,92	14,42	26,05	18,05	28,93	21,93
3,5	13,15	8,646	16,68	10,18	22,92	14,42	27,05	18,05	30,43	21,93
4,0	13,15	10,15	16,68	10,68	22,92	14,42	27,05	18,05	31,43	21,93
4,5	13,15	12,15	16,68	12,68	22,92	14,42	27,05	18,05	31,43	21,93
5,0	13,15	14,15	16,68	14,68	22,92	15,92	27,05	18,05	31,43	21,93

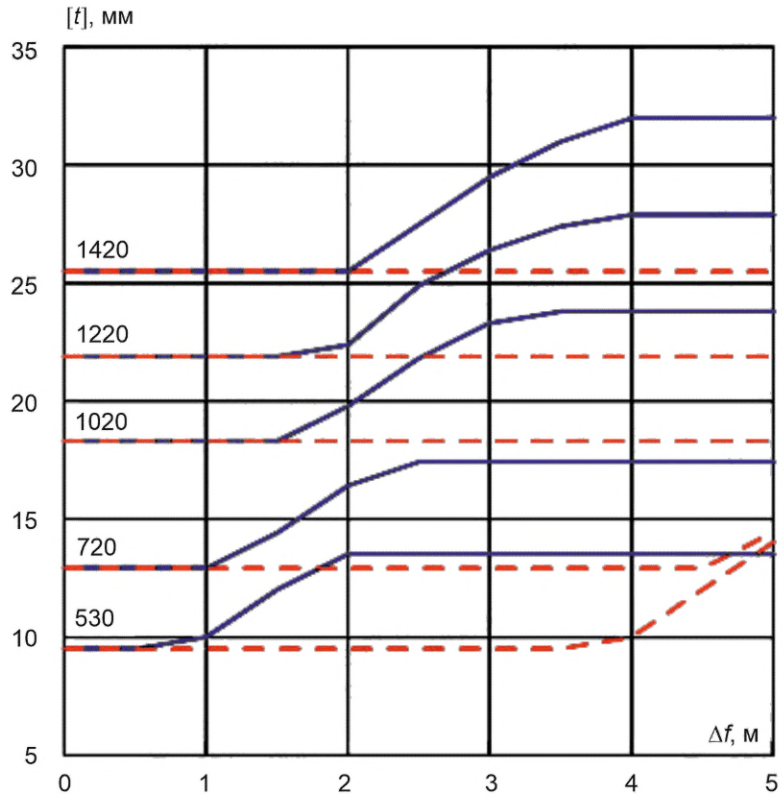


Рисунок В.15 — Сдвиг, песок, К70, p = 11,8 МПа

Таблица В.20 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, песок, К70, p = 11,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	9,511	9,511	12,92	12,92	18,3	18,3	21,89	21,89	25,48	25,48
0,5	9,511	9,511	12,92	12,92	18,3	18,3	21,89	21,89	25,48	25,48
1,0	10,01	9,511	12,92	12,92	18,3	18,3	21,89	21,89	25,48	25,48
1,5	12,01	9,511	14,42	12,92	18,3	18,3	21,89	21,89	25,48	25,48
2,0	13,51	9,511	16,42	12,92	19,8	18,3	22,39	21,89	25,48	25,48
2,5	13,51	9,511	17,42	12,92	21,8	18,3	24,89	21,89	27,48	25,48
3,0	13,51	9,511	17,42	12,92	23,3	18,3	26,39	21,89	29,48	25,48
3,5	13,51	9,511	17,42	12,92	23,8	18,3	27,39	21,89	30,98	25,48
4,0	13,51	10,01	17,42	12,92	23,8	18,3	27,89	21,89	31,98	25,48
4,5	13,51	12,01	17,42	12,92	23,8	18,3	27,89	21,89	31,98	25,48
5,0	13,51	14,01	17,42	14,42	23,8	18,3	27,89	21,89	31,98	25,48

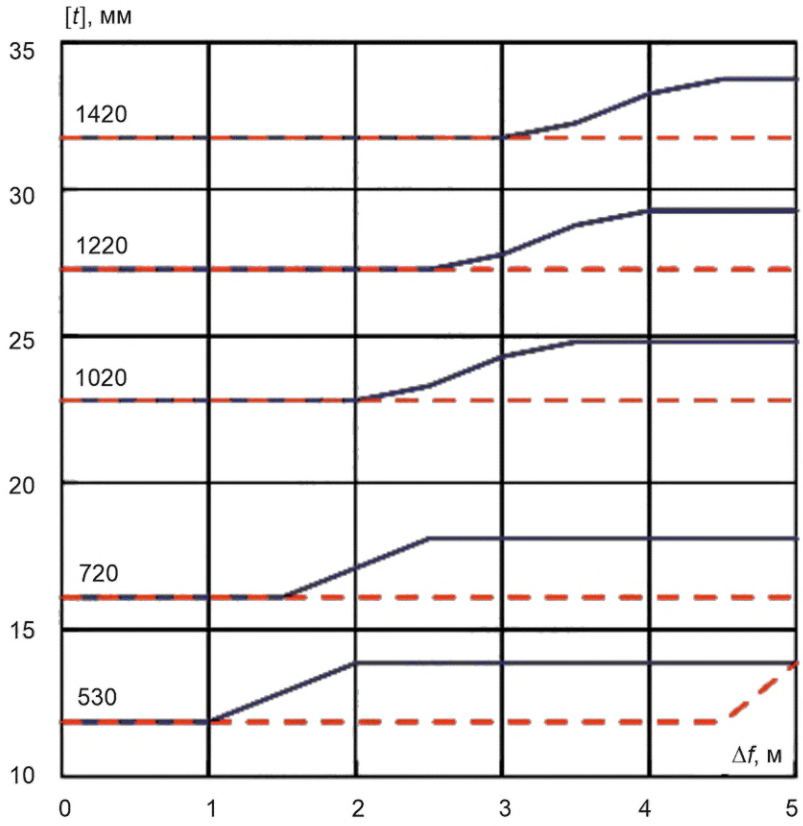


Рисунок В.16 — Сдвиг, песок, К70, p = 14,7 МПа

Таблица В.21 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, песок, К70, p = 14,7 МПа»

Смещение АТР	Диаметр наружный, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	11,85	11,85	16,1	16,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
0,5	11,85	11,85	16,1	16,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
1,0	11,85	11,85	16,1	16,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
1,5	12,85	11,85	16,1	16,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
2,0	13,85	11,85	17,1	16,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
2,5	13,85	11,85	18,1	16,1	23,3	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
3,0	13,85	11,85	18,1	16,1	24,3	22,8	27,77	27,27	31,75	31,75
3,5	13,85	11,85	18,1	16,1	24,8	22,8	28,77	27,27	32,25	31,75
4,0	13,85	11,85	18,1	16,1	24,8	22,8	29,27	27,27	33,25	31,75
4,5	13,85	11,85	18,1	16,1	24,8	22,8	29,27	27,27	33,75	31,75
5,0	13,85	13,85	18,1	16,1	24,8	22,8	29,27	27,27	33,75	31,75

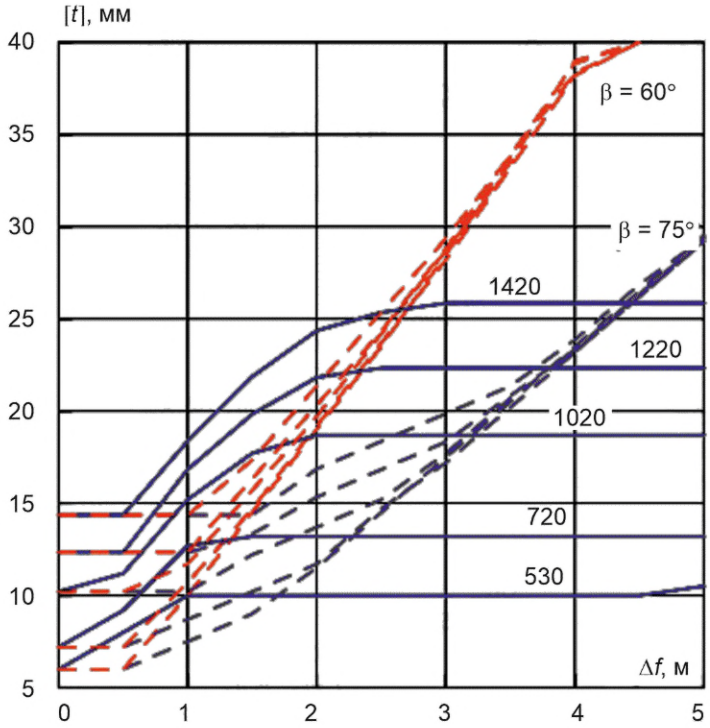


Рисунок В.17 — Сдвиг, глина, К55, p = 5,4 МПа

Таблица В.22 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, глина, К55, p = 5,4 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм														
	530			720			1020			1220			1420		
	Угол пересечения, град														
	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60
0,0	6,0	6,0	6,0	7,2	7,2	7,2	10,2	10,2	10,2	12,3	12,3	12,3	14,4	14,4	14,4
0,5	8,0	6,0	6,0	9,2	7,2	7,2	11,2	10,2	10,2	12,3	12,3	12,3	14,4	14,4	14,4
1,0	10,0	7,5	10,0	12,7	8,7	10,7	15,2	10,2	11,7	16,8	12,3	12,3	18,4	14,4	14,4
1,5	10,0	9,0	14,5	13,2	10,2	14,7	17,7	12,2	15,7	19,8	13,3	16,3	21,9	14,4	17,4
2,0	10,0	11,5	19,0	13,2	11,7	19,2	18,7	13,7	19,7	21,8	15,3	20,3	24,4	16,9	21,4
2,5	10,0	14,5	23,5	13,2	14,7	23,7	18,7	15,2	24,2	22,3	16,8	24,3	25,4	18,4	25,4
3,0	10,0	17,5	28,5	13,2	17,2	28,2	18,7	17,7	28,7	22,3	18,3	28,8	25,9	19,9	29,4
3,5	10,0	20,5	33,5	13,2	20,2	33,2	18,7	20,7	33,2	22,3	20,8	33,8	25,9	21,4	33,9
4,0	10,0	23,5	39,0	13,2	23,2	38,2	18,7	23,2	38,2	22,3	23,3	38,3	25,9	23,9	38,9
4,5	10,0	26,5	—	13,2	26,2	—	18,7	26,2	—	22,3	26,3	—	25,9	26,9	—
5,0	10,5	29,5	—	13,2	29,2	—	18,7	29,2	—	22,3	29,3	—	25,9	29,4	—

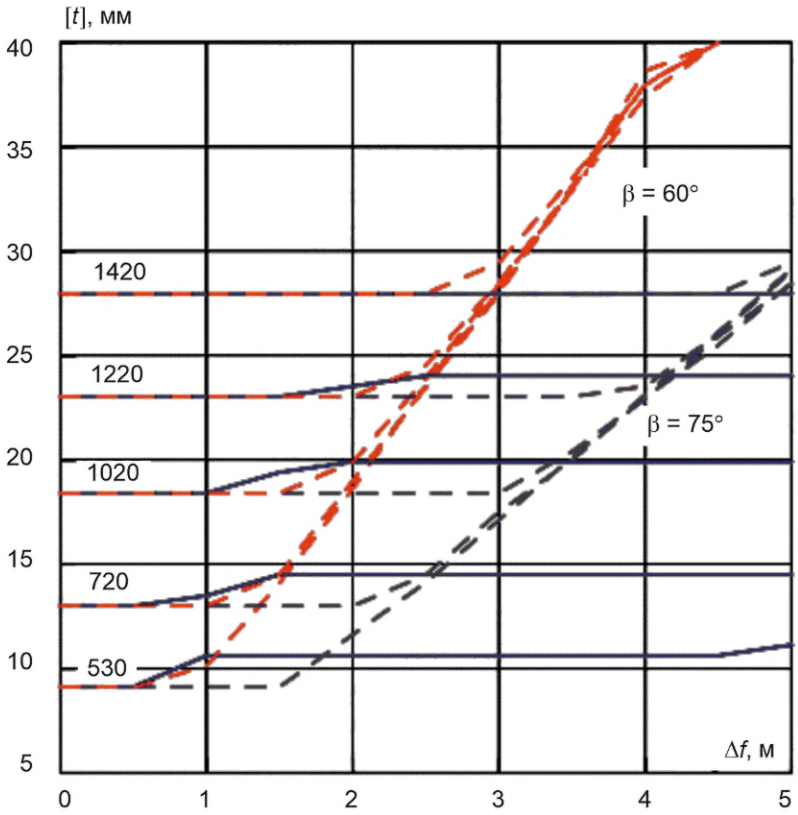


Рисунок В.18 — Сдвиг, глина, К55, p = 9,8 МПа

Таблица В.23 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, глина, К55, p = 9,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм														
	530			720			1020			1220			1420		
	Угол пересечения, град														
	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60
0,0	9,1	9,1	9,1	13,0	13,0	13,0	18,4	18,4	18,4	23,0	23,0	23,0	28,0	28,0	28,0
0,5	9,1	9,1	9,1	13,0	13,0	13,0	18,4	18,4	18,4	23,0	23,0	23,0	28,0	28,0	28,0
1,0	10,6	9,1	10,1	13,5	13,0	13,0	18,4	18,4	18,4	23,0	23,0	23,0	28,0	28,0	28,0
1,5	10,6	9,1	14,1	14,5	13,0	14,5	19,4	18,4	18,4	23,0	23,0	23,0	28,0	28,0	28,0
2,0	10,6	11,6	18,6	14,5	13,0	19,0	19,9	18,4	19,9	23,5	23,0	23,0	28,0	28,0	28,0
2,5	10,6	14,1	23,6	14,5	14,5	23,5	19,9	18,4	23,9	24,0	23,0	24,5	28,0	28,0	28,0
3,0	10,6	17,1	28,1	14,5	17,5	28,0	19,9	18,4	28,4	24,0	23,0	28,5	28,0	28,0	29,5
3,5	10,6	20,1	33,1	14,5	20,0	33,0	19,9	20,4	32,9	24,0	23,0	33,0	28,0	28,0	33,5
4,0	10,6	23,1	38,6	14,5	23,0	38,0	19,9	22,9	37,4	24,0	23,6	38,0	28,0	28,0	38,0
4,5	10,6	26,1	—	14,5	25,5	40,0	19,9	25,9	—	24,0	26,0	—	28,0	28,0	—
5,0	11,1	29,1	—	14,5	28,5	40,0	19,9	28,4	—	24,0	29,0	—	28,0	29,5	—

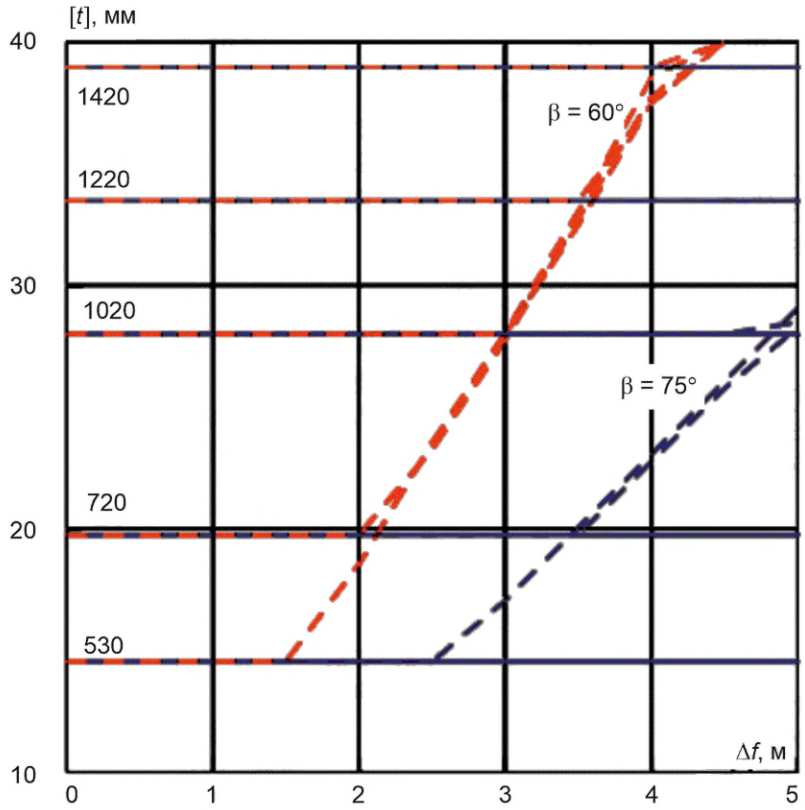


Рисунок В.19 — Сдвиг, глина, К55, p = 11,8 МПа

Таблица В.24 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, глина, К55, p = 11,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм														
	530			720			1020			1220			1420		
	Угол пересечения, град														
	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60
0,0	14,6	14,6	14,6	19,8	19,8	19,8	28,0	28,0	28,0	33,5	33,5	33,5	39,0	39,0	39,0
0,5	14,6	14,6	14,6	19,8	19,8	19,8	28,0	28,0	28,0	33,5	33,5	33,5	39,0	39,0	39,0
1,0	14,6	14,6	14,6	19,8	19,8	19,8	28,0	28,0	28,0	33,5	33,5	33,5	39,0	39,0	39,0
1,5	14,6	14,6	14,6	19,8	19,8	19,8	28,0	28,0	28,0	33,5	33,5	33,5	39,0	39,0	39,0
2,0	14,6	14,6	18,6	19,8	19,8	19,8	28,0	28,0	28,0	33,5	33,5	33,5	39,0	39,0	39,0
2,5	14,6	14,6	23,6	19,8	19,8	23,3	28,0	28,0	28,0	33,5	33,5	33,5	39,0	39,0	39,0
3,0	14,6	17,1	28,1	19,8	19,8	27,8	28,0	28,0	28,0	33,5	33,5	33,5	39,0	39,0	39,0
3,5	14,6	20,1	33,1	19,8	19,8	32,8	28,0	28,0	32,5	33,5	33,5	33,5	39,0	39,0	39,0
4,0	14,6	23,1	38,6	19,8	22,8	37,8	28,0	28,0	37,5	33,5	33,5	37,5	39,0	39,0	39,0
4,5	14,6	26,1	—	19,8	25,8	—	28,0	28,0	—	33,5	33,5	—	39,0	39,0	—
5,0	14,6	29,1	—	19,8	28,3	—	28,0	28,5	—	33,5	33,5	—	39,0	39,0	—

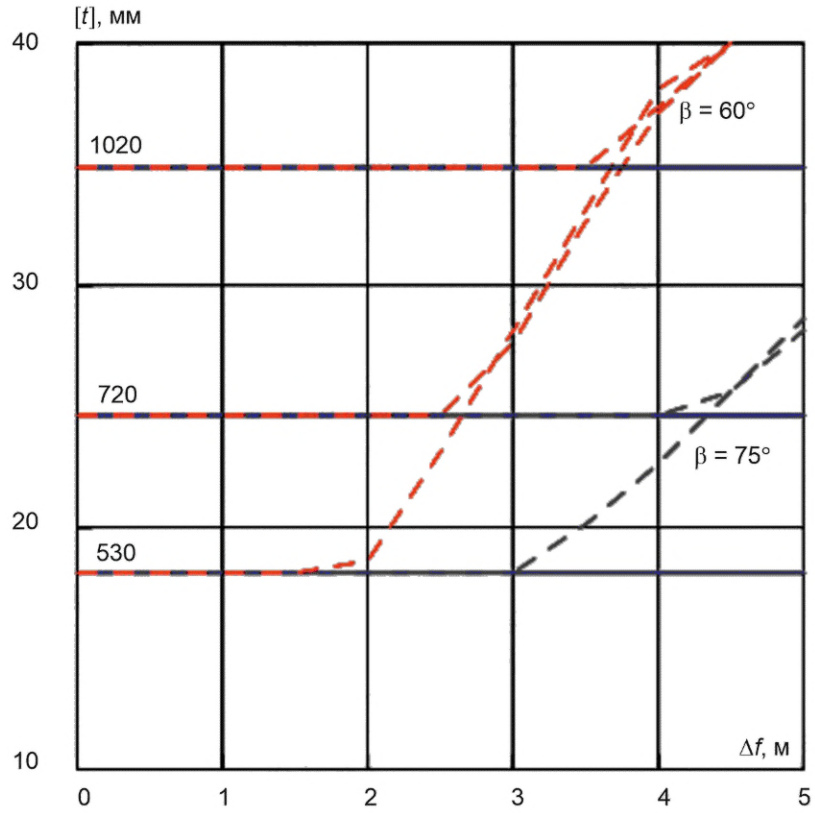


Рисунок В.20 — Сдвиг, глина, К55, p = 14,7 МПа

Таблица В.25 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, глина, К55, p = 14,7 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм														
	530			720			1020			1220			1420		
	Угол пересечения, град														
	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60
0,0	18,1	18,1	18,1	24,7	24,7	24,7	34,9	34,9	34,9	—	—	—	—	—	—
0,5	18,1	18,1	18,1	24,7	24,7	24,7	34,9	34,9	34,9	—	—	—	—	—	—
1,0	18,1	18,1	18,1	24,7	24,7	24,7	34,9	34,9	34,9	—	—	—	—	—	—
1,5	18,1	18,1	18,1	24,7	24,7	24,7	34,9	34,9	34,9	—	—	—	—	—	—
2,0	18,1	18,1	18,6	24,7	24,7	24,7	34,9	34,9	34,9	—	—	—	—	—	—
2,5	18,1	18,1	23,1	24,7	24,7	24,7	34,9	34,9	34,9	—	—	—	—	—	—
3,0	18,1	18,1	28,1	24,7	24,7	24,7	34,9	34,9	34,9	—	—	—	—	—	—
3,5	18,1	20,1	33,1	24,7	24,7	32,7	34,9	34,9	34,9	—	—	—	—	—	—
4,0	18,1	22,6	38,1	24,7	24,7	37,2	34,9	34,9	37,4	—	—	—	—	—	—
4,5	18,1	25,6	—	24,7	25,7	—	34,9	34,9	—	—	—	—	—	—	—
5,0	18,1	28,6	—	24,7	28,2	—	34,9	34,9	—	—	—	—	—	—	—

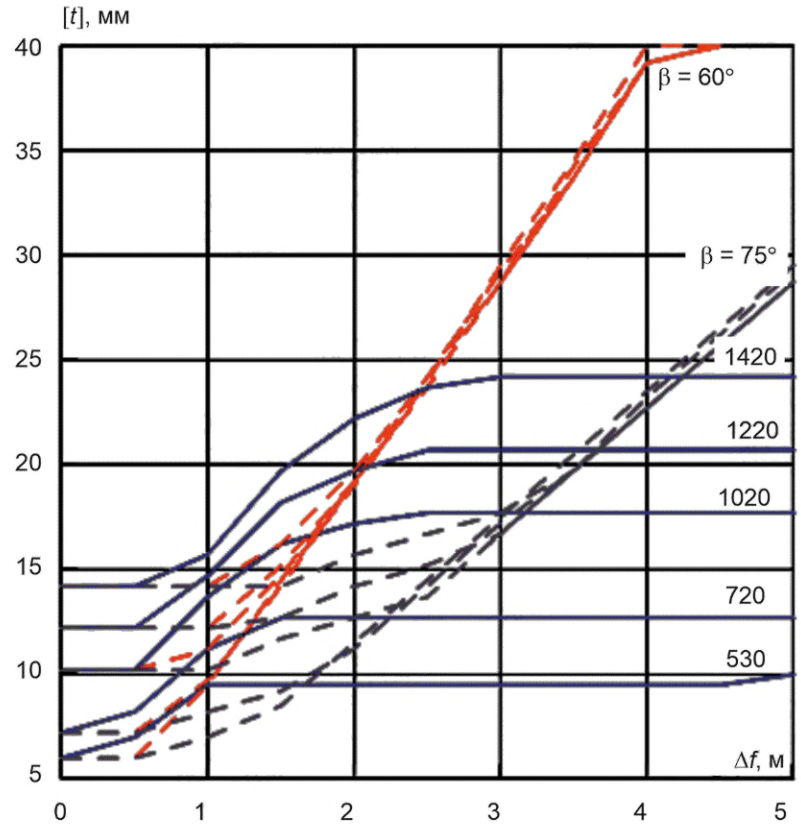


Рисунок В.21 — Сдвиг, глина, К60, p = 5,4 МПа

Таблица В.26 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, глина, К60, p 5,4 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм														
	530			720			1020			1220			1420		
	Угол пересечения, град														
	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60
0,0	6,0	6,0	6,0	7,2	7,2	7,2	10,2	10,2	10,2	12,2	12,2	12,2	14,2	14,2	14,2
0,5	7,0	6,0	6,0	8,2	7,2	7,2	10,2	10,2	10,2	12,2	12,2	12,2	14,2	14,2	14,2
1,0	9,5	7,0	9,5	11,2	8,2	9,7	13,7	10,2	11,2	14,7	12,2	12,2	15,7	14,2	14,2
1,5	9,5	8,5	14,5	12,7	9,2	14,2	16,2	11,7	14,7	18,2	12,7	15,2	19,7	14,2	16,2
2,0	9,5	11,5	19,0	12,7	11,2	19,2	17,2	12,7	19,2	19,7	14,2	19,2	22,2	15,7	19,7
2,5	9,5	14,5	24,0	12,7	14,2	23,7	17,7	13,7	23,7	20,7	15,2	24,2	23,7	16,7	24,2
3,0	9,5	17,5	29,5	12,7	17,2	28,7	17,7	16,7	28,7	20,7	16,7	28,7	24,2	17,7	29,2
3,5	9,5	20,5	34,5	12,7	19,7	34,2	17,7	19,7	33,7	20,7	19,7	33,7	24,2	19,7	33,7
4,0	9,5	23,5	—	12,7	23,2	39,2	17,7	22,7	39,2	20,7	22,7	39,2	24,2	22,7	39,2
4,5	9,5	26,5	—	12,7	26,2	—	17,7	25,7	—	20,7	25,7	—	24,2	25,7	—
5,0	10	29,5	—	12,7	29,2	—	17,7	28,7	—	20,7	28,7	—	24,2	28,7	—

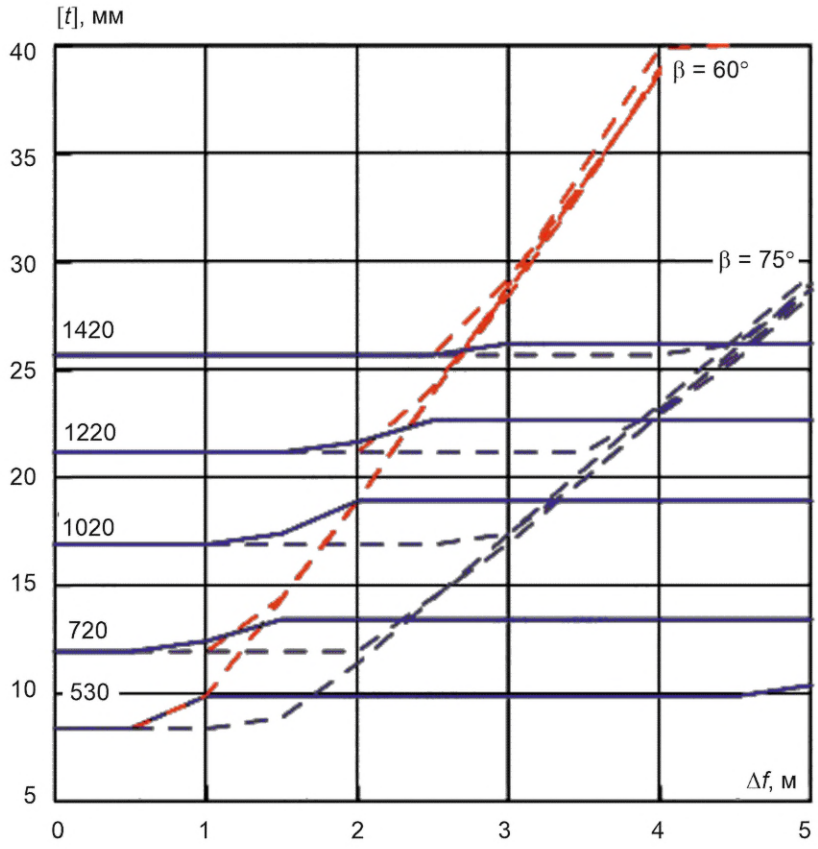


Рисунок В.22 — Сдвиг, глина, К60, p = 9,8 МПа

Таблица В.27 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, глина, К60, p = 9,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм														
	530			720			1020			1220			1420		
	Угол пересечения, град														
	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60
0,0	8,377	8,377	8,377	11,93	11,93	11,93	16,9	16,9	16,9	21,15	21,15	21,15	25,69	25,69	25,69
0,5	8,377	8,377	8,377	11,93	11,93	11,93	16,9	16,9	16,9	21,15	21,15	21,15	25,69	25,69	25,69
1,0	9,877	8,377	9,877	12,43	11,93	11,93	16,9	16,9	16,9	21,15	21,15	21,15	25,69	25,69	25,69
1,5	9,877	8,877	14,38	13,43	11,93	14,43	16,9	16,9	16,9	21,15	21,15	21,15	25,69	25,69	25,69
2,0	9,877	11,38	18,88	13,43	11,93	18,93	17,9	16,9	19,4	21,15	21,15	21,15	25,69	25,69	25,69
2,5	9,877	14,38	23,88	13,43	14,43	23,93	17,9	16,9	23,9	21,15	21,15	24,15	25,69	25,69	25,69
3,0	9,877	17,38	28,88	13,43	16,93	28,43	17,9	17,4	28,4	21,15	21,15	28,65	25,69	25,69	29,19
3,5	9,877	20,38	34,38	13,43	19,93	33,43	17,9	19,9	33,4	21,15	21,15	33,65	25,69	25,69	33,69
4,0	9,877	23,38	39,88	13,43	22,93	38,93	17,9	22,9	38,4	21,15	23,15	38,65	25,69	25,69	38,69
4,5	9,877	26,38	—	13,43	25,93	—	17,9	25,4	—	21,15	25,65	—	25,69	26,19	—
5,0	10,38	29,38	—	13,43	28,93	—	17,9	28,4	—	21,15	28,65	—	25,69	28,69	—

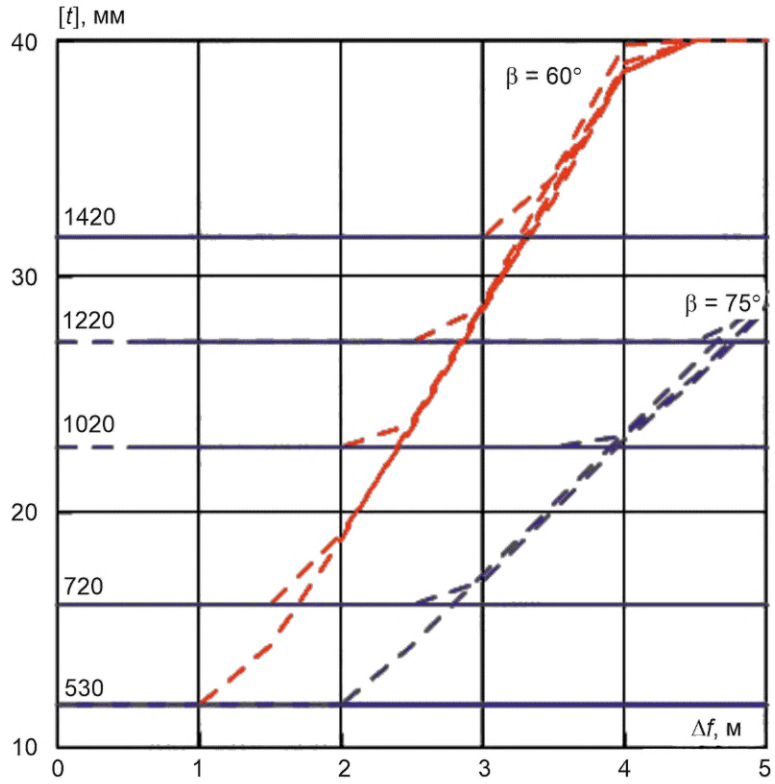


Рисунок В.23 — Сдвиг, глина, К60, p = 11,8 МПа

Таблица В.28 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, глина, К60, p = 11,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм														
	530			720			1020			1220			1420		
	Угол пересечения, град														
	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60
0,0	11,82	11,82	11,82	16,06	16,06	16,06	22,75	22,75	22,75	27,21	27,21	27,21	31,67	31,67	31,67
0,5	11,82	11,82	11,82	16,06	16,06	16,06	22,75	22,75	22,75	27,21	27,21	27,21	31,67	31,67	31,67
1,0	11,82	11,82	11,82	16,06	16,06	16,06	22,75	22,75	22,75	27,21	27,21	27,21	31,67	31,67	31,67
1,5	11,82	11,82	14,32	16,06	16,06	16,06	22,75	22,75	22,75	27,21	27,21	27,21	31,67	31,67	31,67
2,0	11,82	11,82	18,82	16,06	16,06	19,06	22,75	22,75	22,75	27,21	27,21	27,21	31,67	31,67	31,67
2,5	11,82	14,32	23,82	16,06	16,06	23,56	22,75	22,75	23,75	27,21	27,21	27,21	31,67	31,67	31,67
3,0	11,82	17,32	28,82	16,06	17,06	28,56	22,75	22,75	28,75	27,21	27,21	28,71	31,67	31,67	34,17
3,5	11,82	20,32	34,32	16,06	20,06	33,56	22,75	22,75	33,25	27,21	27,21	33,71	31,67	31,67	38,67
4,0	11,82	23,32	39,82	16,06	23,06	39,06	22,75	23,25	38,75	27,21	27,21	38,71	31,67	31,67	—
4,5	11,82	26,32	—	16,06	25,56	—	22,75	25,75	—	27,21	27,21	—	31,67	31,67	—
5,0	11,82	29,32	—	16,06	28,56	—	22,75	28,75	—	27,21	28,71	—	31,67	31,67	—

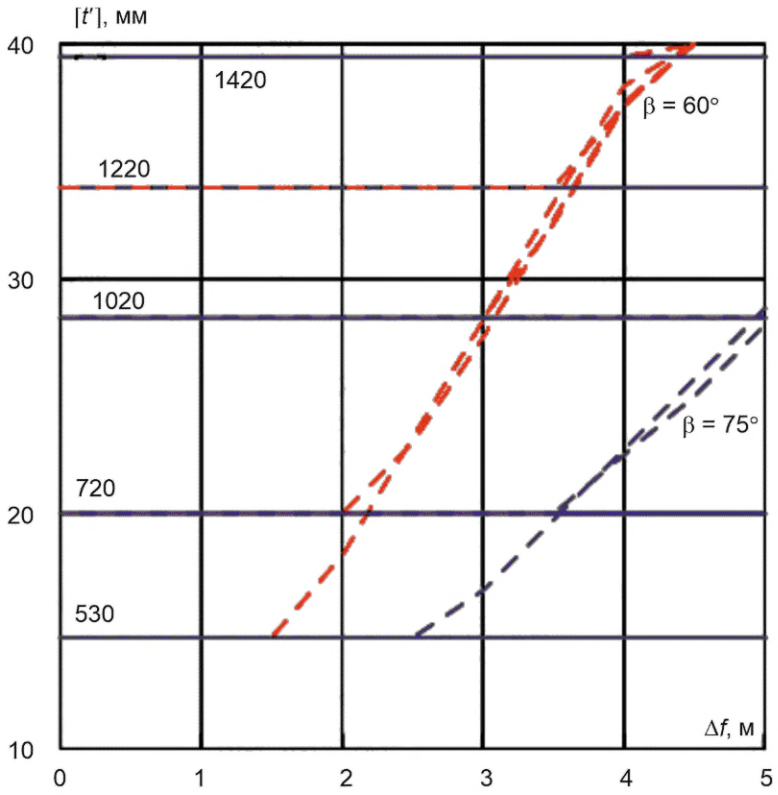


Рисунок В.24 — Сдвиг, глина, К60, p = 14,7 МПа

Таблица В.29 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, глина, К60, p = 14,7 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм														
	530			720			1020			1220			1420		
	Угол пересечения, град														
	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60
0,0	14,72	14,72	14,72	20,00	20,00	20,00	28,34	28,34	28,34	33,89	33,89	33,89	39,45	39,45	39,45
0,5	14,72	14,72	14,72	20,00	20,00	20,00	28,34	28,34	28,34	33,89	33,89	33,89	39,45	39,45	39,45
1,0	14,72	14,72	14,72	20,00	20,00	20,00	28,34	28,34	28,34	33,89	33,89	33,89	39,45	39,45	39,45
1,5	14,72	14,72	14,72	20,00	20,00	20,00	28,34	28,34	28,34	33,89	33,89	33,89	39,45	39,45	39,45
2,0	14,72	14,72	18,22	20,00	20,00	20,00	28,34	28,34	28,34	33,89	33,89	33,89	39,45	39,45	39,45
2,5	14,72	14,72	23,22	20,00	20,00	23,00	28,34	28,34	28,34	33,89	33,89	33,89	39,45	39,45	39,45
3,0	14,72	16,72	28,22	20,00	20,00	27,5	28,34	28,34	28,34	33,89	33,89	33,89	39,45	39,45	39,45
3,5	14,72	19,72	33,22	20,00	20,00	32,5	28,34	28,34	32,34	33,89	33,89	33,89	39,45	39,45	39,45
4,0	14,72	22,72	38,22	20,00	22,5	37,5	28,34	28,34	37,34	33,89	33,89	37,39	39,45	39,45	39,45
4,5	14,72	25,72	40,00	20,00	25,00	40,00	28,34	28,34	40,00	33,89	33,89	40,00	39,45	39,45	40,00
5,0	14,72	28,72	40,00	20,00	28,00	40,00	28,34	28,34	40,00	33,89	33,89	40,00	39,45	39,45	40,00

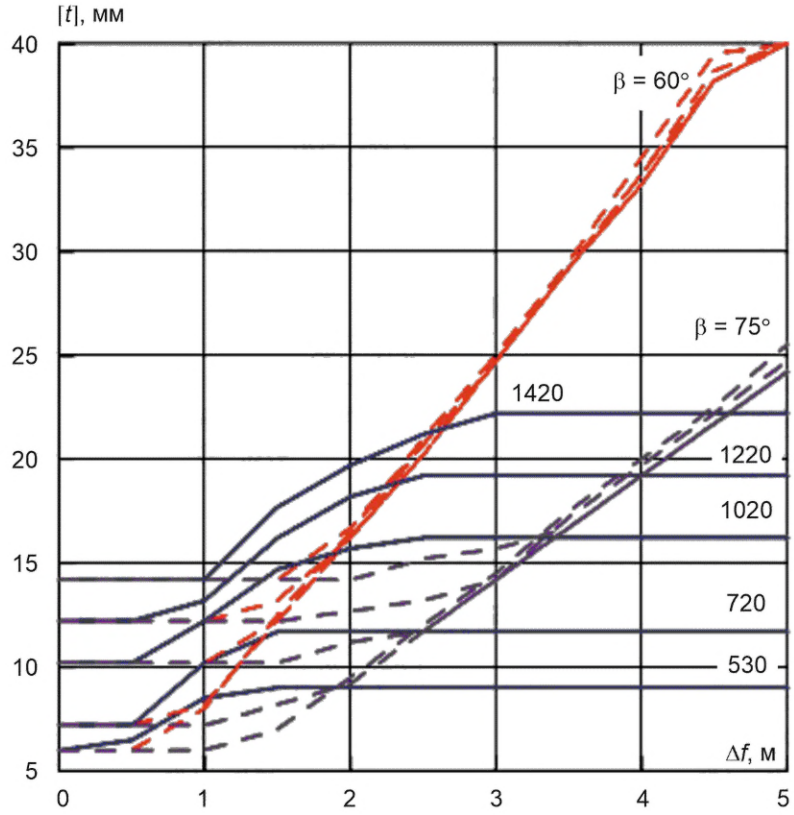


Рисунок В.25 — Сдвиг, глина, К65, p = 5,4 МПа

Таблица В.30 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, глина, К65, p = 5,4 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм														
	530			720			1020			1220			1420		
	Угол пересечения, град														
	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60
0,0	6,0	6,0	6,0	7,2	7,2	7,2	10,2	10,2	10,2	12,2	12,2	12,2	14,2	14,2	14,2
0,5	6,5	6,0	6,0	7,2	7,2	7,2	10,2	10,2	10,2	12,2	12,2	12,2	14,2	14,2	14,2
1,0	8,5	6,0	8,0	10,2	7,2	8,2	12,2	10,2	10,2	13,2	12,2	12,2	14,2	14,2	14,2
1,5	9,0	7,0	12,5	11,7	8,2	12,2	14,7	10,2	12,2	16,2	12,2	13,2	17,7	14,2	14,2
2,0	9,0	9,5	16,5	11,7	9,2	16,2	15,7	11,2	16,2	18,2	12,7	16,2	19,7	14,2	16,7
2,5	9,0	12,0	21	11,7	11,7	20,7	16,2	11,7	20,2	19,2	13,2	20,2	21,2	15,2	20,7
3,0	9,0	14,5	25	11,7	14,2	24,7	16,2	14,2	24,7	19,2	14,2	24,7	22,2	15,7	24,7
3,5	9,0	17,5	29,5	11,7	17,2	29,2	16,2	16,7	29,2	19,2	16,7	29,2	22,2	16,7	29,2
4,0	9,0	20,0	34,5	11,7	19,7	33,7	16,2	19,2	33,7	19,2	19,2	33,2	22,2	19,2	33,2
4,5	9,0	22,5	39,5	11,7	22,2	38,7	16,2	21,7	38,2	19,2	21,7	38,2	22,2	21,7	38,2
5,0	9,0	25,5	40	11,7	24,7	40,0	16,2	24,2	40	19,2	24,2	40	22,2	24,2	40,0

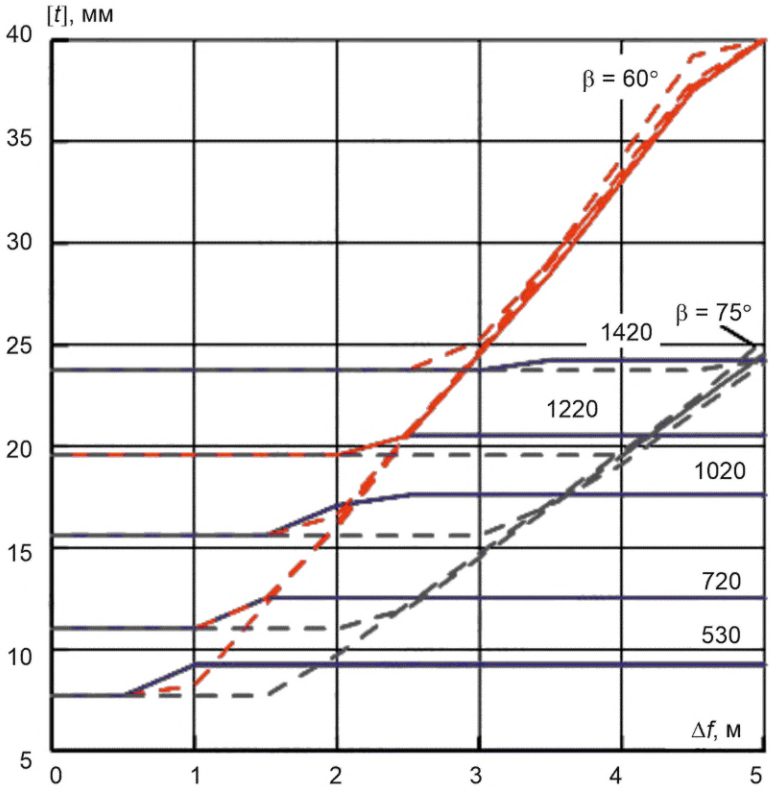


Рисунок В.26 — Сдвиг, глина, К65, p = 9,8 МПа

Таблица В.31 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, глина, К65, p = 9,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм														
	530			720			1020			1220			1420		
	Угол пересечения, град														
	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60
0,0	7,742	7,742	7,742	11,03	11,03	11,03	15,62	15,62	15,62	19,55	19,55	19,55	23,75	23,75	23,75
0,5	7,742	7,742	7,742	11,03	11,03	11,03	15,62	15,62	15,62	19,55	19,55	19,55	23,75	23,75	23,75
1,0	9,242	7,742	8,242	11,03	11,03	11,03	15,62	15,62	15,62	19,55	19,55	19,55	23,75	23,75	23,75
1,5	9,242	7,742	12,24	12,53	11,03	12,53	15,62	15,62	15,62	19,55	19,55	19,55	23,75	23,75	23,75
2,0	9,242	9,742	16,24	12,53	11,03	16,03	17,12	15,62	16,62	19,55	19,55	19,55	23,75	23,75	23,75
2,5	9,242	12,24	20,74	12,53	12,03	20,53	17,62	15,62	20,62	20,55	19,55	20,55	23,75	23,75	23,75
3,0	9,242	14,74	24,74	12,53	14,53	24,53	17,62	15,62	24,62	20,55	19,55	24,55	23,75	23,75	25,25
3,5	9,242	17,24	29,24	12,53	17,03	29,03	17,62	17,12	28,62	20,55	19,55	28,55	24,25	23,75	29,25
4,0	9,242	19,74	34,24	12,53	19,53	33,53	17,62	19,12	33,12	20,55	19,55	33,05	24,25	23,75	33,25
4,5	9,242	22,24	39,24	12,53	22,03	38,03	17,62	21,62	37,62	20,55	22,05	37,55	24,25	23,75	37,75
5,0	9,242	25,24	40,00	12,53	24,53	40,00	17,62	24,12	40,00	20,55	24,55	40,00	24,25	24,25	40,00

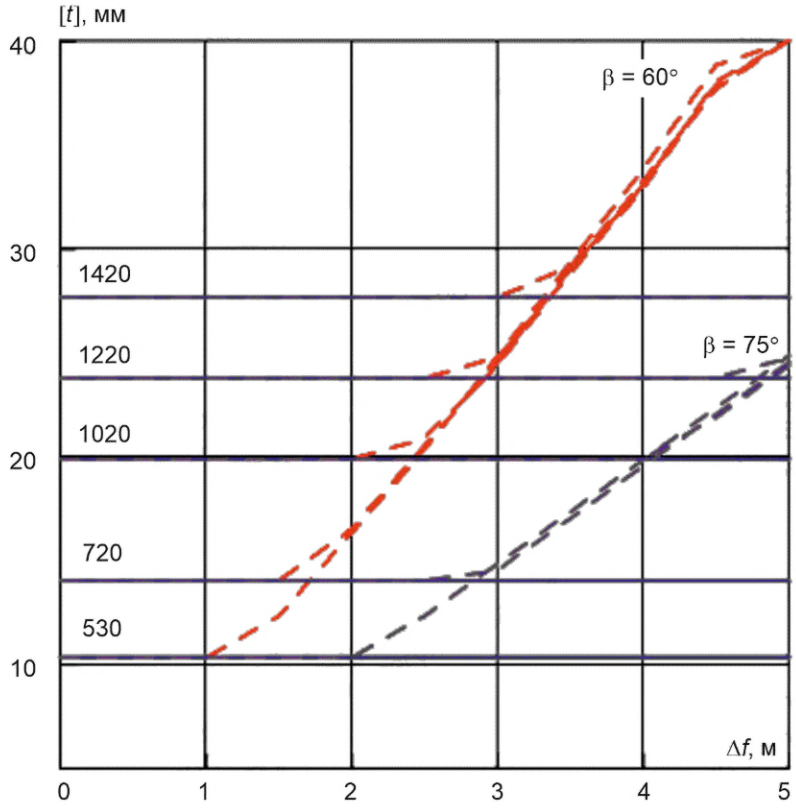


Рисунок В.27 — Сдвиг, глина, К65, p = 11,8 МПа

Таблица В.32 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, глина, К65, p = 11,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм														
	530			720			1020			1220			1420		
	Угол пересечения, град														
	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60
0,0	10,33	10,33	10,33	14,03	14,03	14,03	19,88	19,88	19,88	23,78	23,78	23,78	27,67	27,67	27,67
0,5	10,33	10,33	10,33	14,03	14,03	14,03	19,88	19,88	19,88	23,78	23,78	23,78	27,67	27,67	27,67
1,0	10,33	10,33	10,33	14,03	14,03	14,03	19,88	19,88	19,88	23,78	23,78	23,78	27,67	27,67	27,67
1.5	10,33	10,33	12,33	14,03	14,03	14,03	19,88	19,88	19,88	23,78	23,78	23,78	27,67	27,67	27,67
2,0	10,33	10,33	16,33	14,03	14,03	16,53	19,88	19,88	19,88	23,78	23,78	23,78	27,67	27,67	27,67
2,5	10,33	12,33	20,33	14,03	14,03	20,53	19,88	19,88	20,88	23,78	23,78	23,78	27,67	27,67	27,67
3,0	10,33	14,83	24,83	14,03	14,53	24,53	19,88	19,88	24,38	23,78	23,78	24,78	27,67	27,67	27,67
3,5	10,33	17,33	29,33	14,03	17,03	29,03	19,88	19,88	28,88	23,78	23,78	28,78	27,67	27,67	29,17
4,0	10,33	19,83	33,83	14,03	19,53	33,03	19,88	19,88	32,88	23,78	23,78	33,28	27,67	27,67	33,17
4,5	10,33	22,33	38,83	14,03	22,03	38,03	19,88	21,88	37,88	23,78	23,78	37,78	27,67	27,67	37,67
5,0	10,33	24,83	40,00	14,03	24,53	40,00	19,88	24,38	40,00	23,78	24,78	40,00	27,67	27,67	40,00

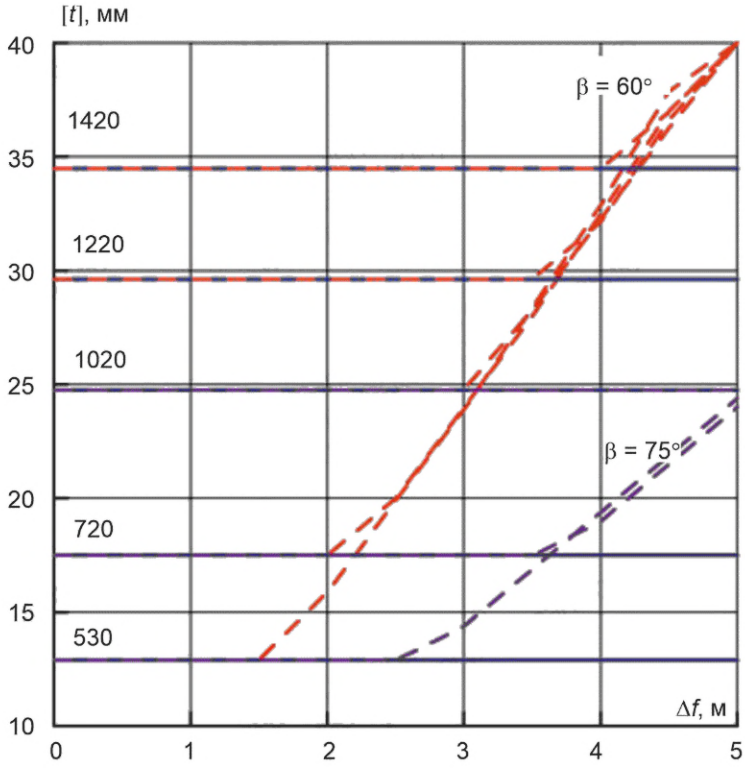


Рисунок В.28 — Сдвиг, глина, К65, p = 14,7 МПа

Таблица В.33 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, глина, К65, p = 14,7 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм														
	530			720			1020			1220			1420		
	Угол пересечения, град														
	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60
0,0	12,87	12,87	12,87	17,48	17,48	17,48	24,76	24,76	24,76	29,62	29,62	29,62	34,47	34,47	34,47
0,5	12,87	12,87	12,87	17,48	17,48	17,48	24,76	24,76	24,76	29,62	29,62	29,62	34,47	34,47	34,47
1,0	12,87	12,87	12,87	17,48	17,48	17,48	24,76	24,76	24,76	29,62	29,62	29,62	34,47	34,47	34,47
1,5	12,87	12,87	12,87	17,48	17,48	17,48	24,76	24,76	24,76	29,62	29,62	29,62	34,47	34,47	34,47
2,0	12,87	12,87	15,87	17,48	17,48	17,48	24,76	24,76	24,76	29,62	29,62	29,62	34,47	34,47	34,47
2,5	12,87	12,87	19,87	17,48	17,48	19,98	24,76	24,76	24,76	29,62	29,62	29,62	34,47	34,47	34,47
3,0	12,87	14,37	23,87	17,48	17,48	23,98	24,76	24,76	24,76	29,62	29,62	29,62	34,47	34,47	34,47
3,5	12,87	16,87	28,37	17,48	17,48	27,98	24,76	24,76	28,26	29,62	29,62	29,62	34,47	34,47	34,47
4,0	12,87	19,37	32,87	17,48	18,98	32,48	24,76	24,76	32,26	29,62	29,62	32,12	34,47	34,47	34,47
4,5	12,87	21,87	37,87	17,48	21,48	36,98	24,76	24,76	36,26	29,62	29,62	36,62	34,47	34,47	36,97
5,0	12,87	24,37	40,00	17,48	23,98	40,00	24,76	24,76	40,00	29,62	29,62	40,00	34,47	34,47	40,00

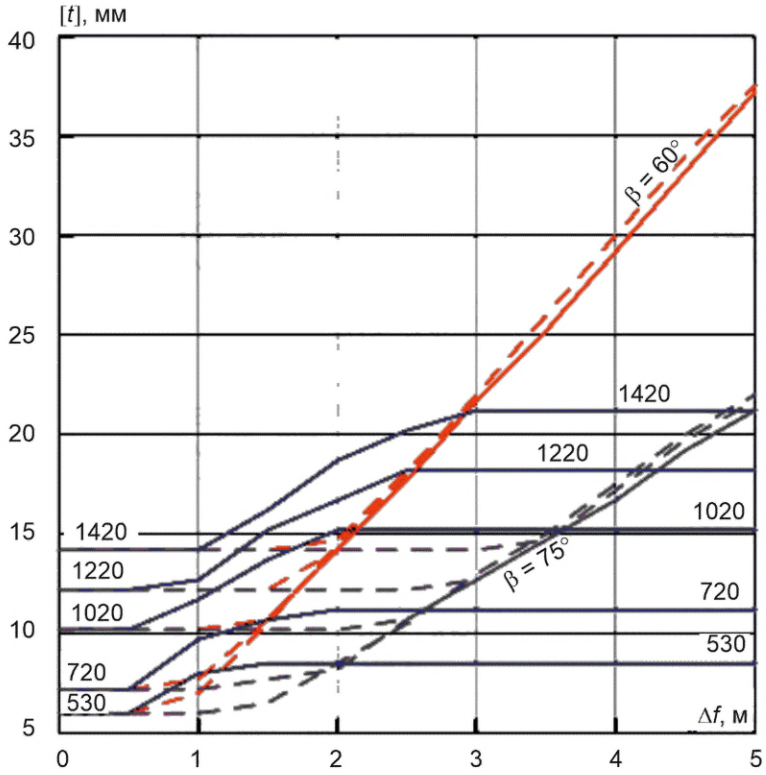


Рисунок В.29 — Сдвиг, глина, К70, p = 5,4 МПа

Таблица В.34 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, глина, К70, p = 5,4 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм														
	530			720			1020			1220			1420		
	Угол пересечения, град														
	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60
0,0	6,0	6,0	6,0	7,2	7,2	7,2	10,2	10,2	10,2	12,2	12,2	12,2	14,2	14,2	14,2
0,5	6,0	6,0	6,0	7,2	7,2	7,2	10,2	10,2	10,2	12,2	12,2	12,2	14,2	14,2	14,2
1,0	8,0	6,0	7,0	9,7	7,2	7,7	11,7	10,2	10,2	12,7	12,2	12,2	14,2	14,2	14,2
1,5	8,5	6,5	10,5	10,7	7,7	10,7	13,7	10,2	10,7	15,2	12,2	12,2	16,2	14,2	14,2
2,0	8,5	8,5	14,5	11,2	8,2	14,2	15,2	10,2	14,2	16,7	12,2	14,2	18,7	14,2	14,7
2,5	8,5	10,5	18,0	11,2	10,7	17,7	15,2	10,7	17,7	18,2	12,2	17,7	20,2	14,2	18,2
3,0	8,5	13,0	22,0	11,2	12,7	21,7	15,2	12,7	21,7	18,2	12,7	21,7	21,2	14,2	21,7
3,5	8,5	15,0	26,0	11,2	14,7	25,2	15,2	14,7	25,2	18,2	14,7	25,2	21,2	14,7	25,2
4,0	8,5	17,5	30,0	11,2	17,2	29,2	15,2	16,7	29,2	18,2	16,7	29,2	21,2	16,7	29,2
4,5	8,5	20,0	34,0	11,2	19,7	33,2	15,2	19,2	33,2	18,2	19,2	33,2	21,2	19,2	33,2
5,0	8,5	22	37,5	11,2	21,7	37,2	15,2	21,2	37,2	18,2	21,2	37,2	21,2	21,2	37,2

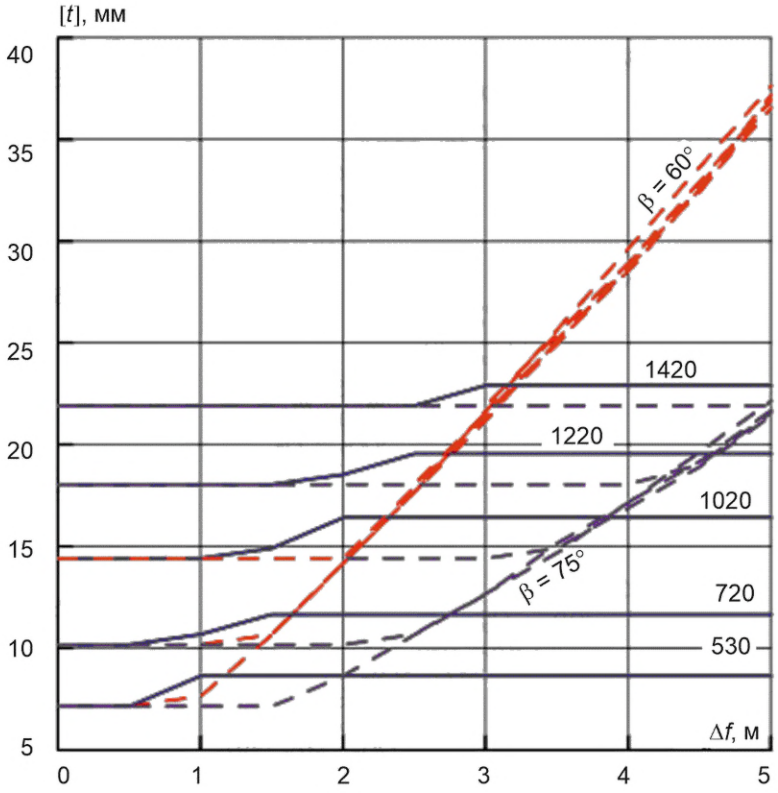


Рисунок В.30 — Сдвиг, глина, К70, p = 9,8 МПа

Таблица В.35 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, глина, К70, p = 9,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм														
	530			720			1020			1220			1420		
	Угол пересечения, град														
	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60
0,0	7,146	7,146	7,146	10,18	10,18	10,18	14,42	14,42	14,42	18,05	18,05	18,05	21,93	21,93	21,93
0,5	7,146	7,146	7,146	10,18	10,18	10,18	14,42	14,42	14,42	18,05	18,05	18,05	21,93	21,93	21,93
1,0	8,646	7,146	7,646	10,68	10,18	10,18	14,42	14,42	14,42	18,05	18,05	18,05	21,93	21,93	21,93
1,5	8,646	7,146	10,65	11,68	10,18	10,68	14,92	14,42	14,42	18,05	18,05	18,05	21,93	21,93	21,93
2,0	8,646	8,646	14,15	11,68	10,18	14,18	16,42	14,42	14,42	18,55	18,05	18,05	21,93	21,93	21,93
2,5	8,646	10,65	17,65	11,68	10,68	17,68	16,42	14,42	17,92	19,55	18,05	18,05	21,93	21,93	21,93
3,0	8,646	12,65	21,65	11,68	12,68	21,18	16,42	14,42	21,42	19,55	18,05	21,55	22,93	21,93	21,93
3,5	8,646	15,15	25,65	11,68	14,68	25,18	16,42	14,92	24,92	19,55	18,05	25,05	22,93	21,93	25,43
4,0	8,646	17,15	29,65	11,68	17,18	28,68	16,42	16,92	28,92	19,55	18,05	28,55	22,93	21,93	28,93
4,5	8,646	19,65	33,65	11,68	19,18	32,68	16,42	18,92	32,42	19,55	19,05	32,55	22,93	21,93	32,93
5,0	8,646	22,15	37,65	11,68	21,68	37,18	16,42	21,42	36,92	19,55	21,55	36,55	22,93	21,93	36,93

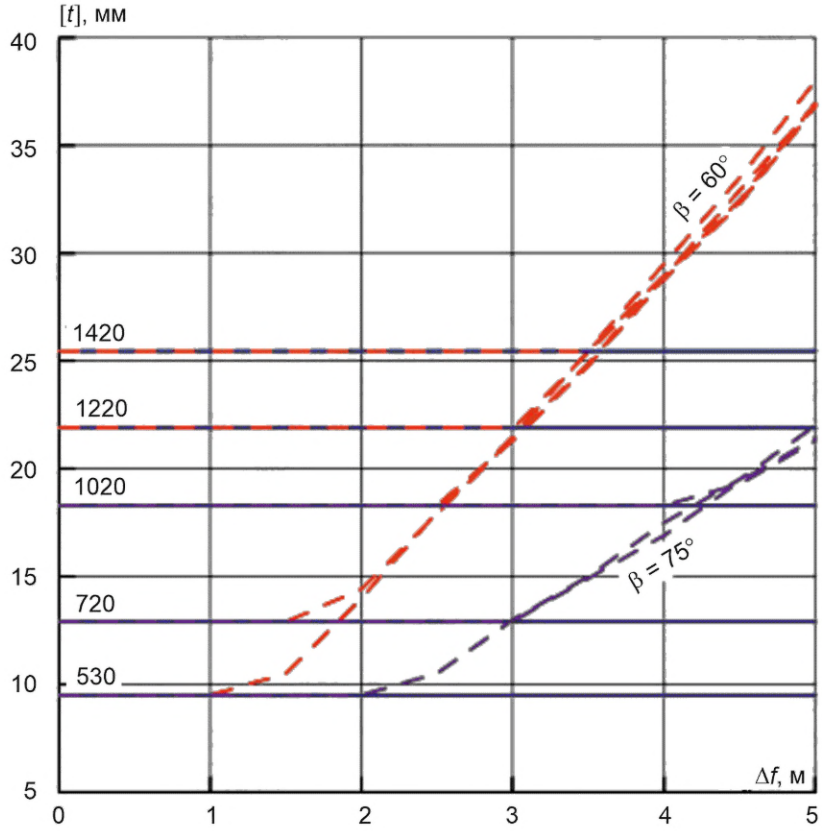


Рисунок В.31 — Сдвиг, глина, К70, p = 11,8 МПа

Таблица В.36 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, глина, К70, p = 11,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм														
	530			720			1020			1220			1420		
	Угол пересечения, град														
	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60
0,0	9,511	9,511	9,511	12,92	12,92	12,92	18,3	18,3	18,3	21,89	21,89	21,89	25,48	25,48	25,48
0,5	9,511	9,511	9,511	12,92	12,92	12,92	18,3	18,3	18,3	21,89	21,89	21,89	25,48	25,48	25,48
1,0	9,511	9,511	9,511	12,92	12,92	12,92	18,3	18,3	18,3	21,89	21,89	21,89	25,48	25,48	25,48
1,5	9,511	9,511	10,51	12,92	12,92	12,92	18,3	18,3	18,3	21,89	21,89	21,89	25,48	25,48	25,48
2,0	9,511	9,511	14,01	12,92	12,92	14,42	18,3	18,3	18,3	21,89	21,89	21,89	25,48	25,48	25,48
2,5	9,511	10,51	18,01	12,92	12,92	17,92	18,3	18,3	18,3	21,89	21,89	21,89	25,48	25,48	25,48
3,0	9,511	13,01	21,51	12,92	12,92	21,42	18,3	18,3	21,3	21,89	21,89	21,89	25,48	25,48	25,48
3,5	9,511	15,01	25,51	12,92	14,92	24,92	18,3	18,3	24,8	21,89	21,89	25,39	25,48	25,48	25,48
4,0	9,511	17,51	29,51	12,92	16,92	28,92	18,3	18,3	28,8	21,89	21,89	28,89	25,48	25,48	28,98
4,5	9,511	19,51	33,51	12,92	19,42	32,92	18,3	19,3	32,3	21,89	21,89	32,39	25,48	25,48	32,48
5,0	9,511	22,01	38,01	12,92	21,42	36,92	18,3	21,3	36,8	21,89	21,89	36,89	25,48	25,48	36,98

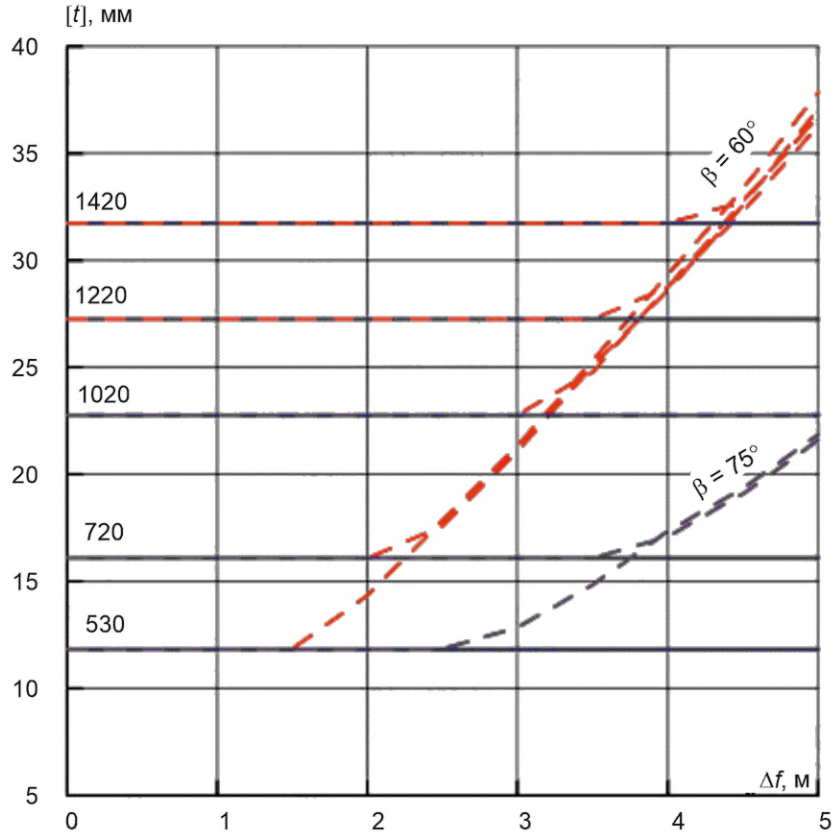


Рисунок В.32 — Сдвиг, глина, К70, p = 14,7 МПа

Таблица В.37 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сдвиг, глина, К70, p = 14,7 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм														
	530			720			1020			1220			1420		
	Угол пересечения, град														
	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60	90	75	60
0,0	11,85	11,85	11,85	16,1	16,1	16,1	22,8	22,8	22,8	27,27	27,27	27,27	31,75	31,75	31,75
0,5	11,85	11,85	11,85	16,1	16,1	16,1	22,8	22,8	22,8	27,27	27,27	27,27	31,75	31,75	31,75
1,0	11,85	11,85	11,85	16,1	16,1	16,1	22,8	22,8	22,8	27,27	27,27	27,27	31,75	31,75	31,75
1,5	11,85	11,85	11,85	16,1	16,1	16,1	22,8	22,8	22,8	27,27	27,27	27,27	31,75	31,75	31,75
2,0	11,85	11,85	14,35	16,1	16,1	16,1	22,8	22,8	22,8	27,27	27,27	27,27	31,75	31,75	31,75
2,5	11,85	11,85	17,85	16,1	16,1	17,6	22,8	22,8	22,8	27,27	27,27	27,27	31,75	31,75	31,75
3,0	11,85	12,85	21,35	16,1	16,1	21,1	22,8	22,8	22,8	27,27	27,27	27,27	31,75	31,75	31,75
3,5	11,85	14,85	25,35	16,1	16,1	25,1	22,8	22,8	24,8	27,27	27,27	27,27	31,75	31,75	31,75
4,0	11,85	17,35	29,35	16,1	17,1	28,6	22,8	22,8	28,8	27,27	27,27	28,77	31,75	31,75	31,75
4,5	11,85	19,35	33,35	16,1	19,1	32,6	22,8	22,8	32,3	27,27	27,27	32,77	31,75	31,75	32,75
5,0	11,85	21,85	37,85	16,1	21,6	37,1	22,8	22,8	36,3	27,27	27,27	36,77	31,75	31,75	36,75

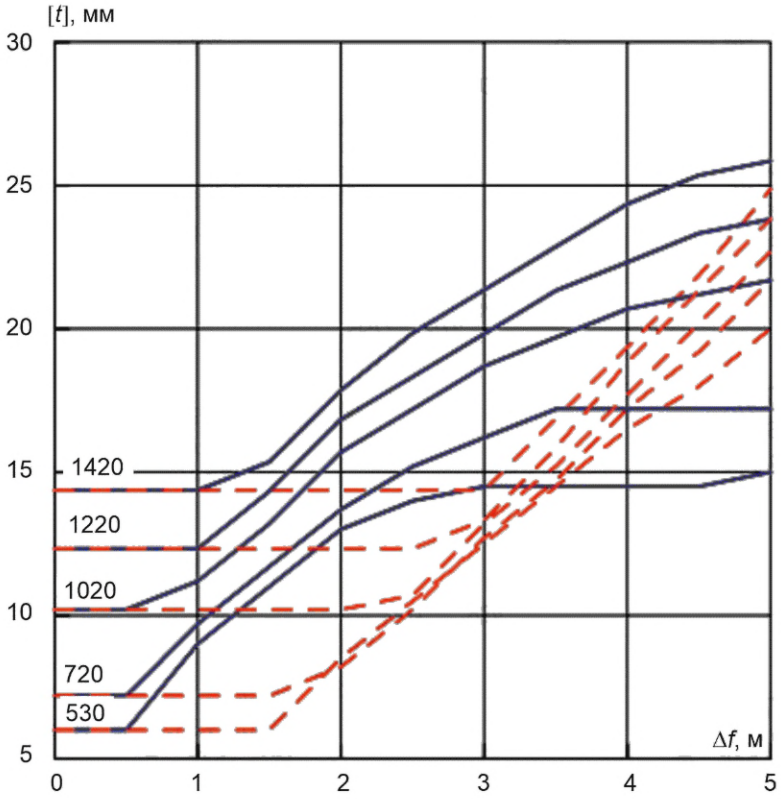


Рисунок В.33 — Сброс, песок, К55, p = 5,4 МПа

Таблица В.38 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, песок, К55, p = 5,4 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	6,0	6,0	7,2	7,2	10,2	10,2	12,4	12,4	14,4	14,4
0,5	6,0	6,0	7,2	7,2	10,2	10,2	12,4	12,4	14,4	14,4
1,0	9,0	6,0	9,7	7,2	11,2	10,2	12,4	12,4	14,4	14,4
1,5	11,0	6,0	11,7	7,2	13,2	10,2	14,4	12,4	15,4	14,4
2,0	13,0	8,5	13,7	8,2	15,7	10,2	16,9	12,4	17,9	14,4
2,5	14,0	10,5	15,2	10,2	17,2	10,7	18,4	12,4	19,9	14,4
3,0	14,5	12,5	16,2	12,7	18,7	13,2	19,9	13,4	21,4	14,4
3,5	14,5	14,5	17,2	14,7	19,7	15,2	21,4	15,9	22,9	16,9
4,0	14,5	16,5	17,2	17,2	20,7	17,7	22,4	18,9	24,4	19,4
4,5	14,5	18,0	17,2	19,2	21,2	20,2	23,4	21,4	25,4	21,9
5,0	15,0	20,0	17,2	21,7	21,7	22,7	23,9	23,9	25,9	24,9

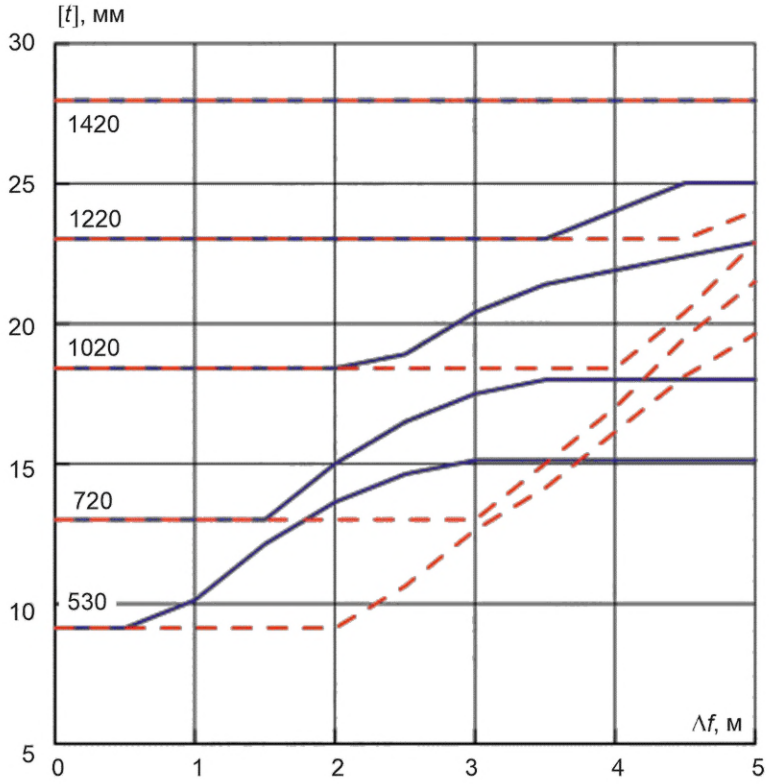


Рисунок В.34 — Сброс, песок, К55, p = 9,8 МПа

Таблица В.39 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, песок, К55, p = 9,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	9,2	9,2	13,0	13,0	18,5	18,5	23,1	23,1	28,0	28,0
0,5	9,2	9,2	13,0	13,0	18,5	18,5	23,1	23,1	28,0	28,0
1,0	10,2	9,2	13,0	13,0	18,5	18,5	23,1	23,1	28,0	28,0
1,5	12,2	9,2	13,0	13,0	18,5	18,5	23,1	23,1	28,0	28,0
2,0	13,7	9,2	15,0	13,0	18,5	18,5	23,1	23,1	28,0	28,0
2,5	14,7	10,7	16,5	13,0	19,0	18,5	23,1	23,1	28,0	28,0
3,0	15,2	12,7	17,5	13,0	20,5	18,5	23,1	23,1	28,0	28,0
3,5	15,2	14,2	18,0	15,0	21,5	18,5	23,1	23,1	28,0	28,0
4,0	15,2	16,2	18,0	17,0	22,0	18,5	24,1	23,1	28,0	28,0
4,5	15,2	18,2	18,0	19,5	22,5	20,5	25,1	23,1	28,0	28,0
5,0	15,2	19,7	18,0	21,5	23,0	23,0	25,1	24,1	28,0	28,0

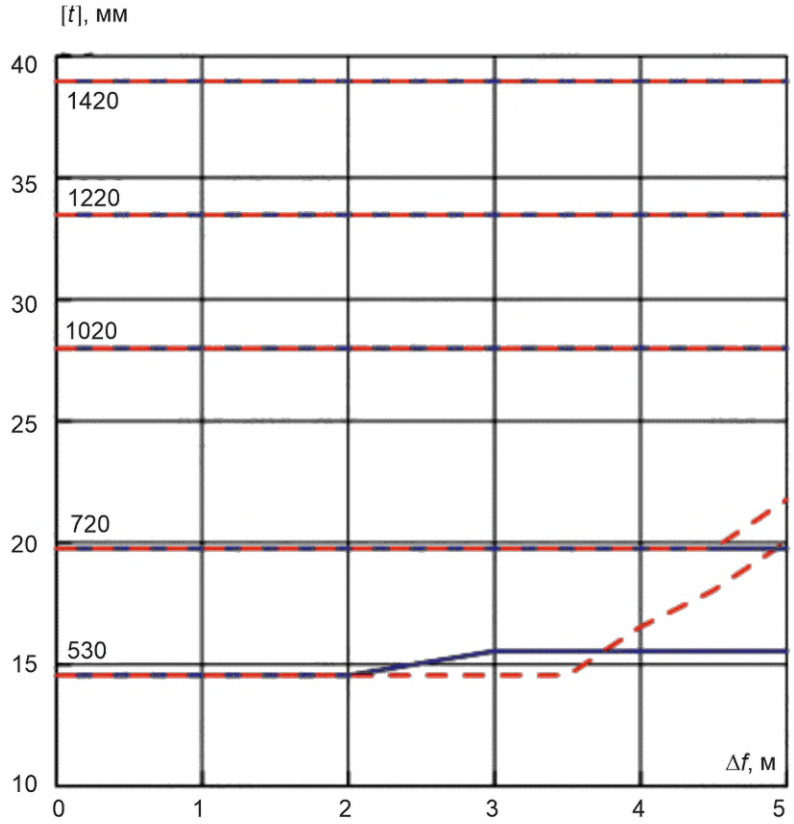


Рисунок В.35 — Сброс, песок, К55, p = 11,8 МПа

Таблица В.40 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, песок, К55, p = 11,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	14,6	14,6	19,8	19,8	28,0	28,0	33,5	33,5	39,0	39,0
0,5	14,6	14,6	19,8	19,8	28,0	28,0	33,5	33,5	39,0	39,0
1,0	14,6	14,6	19,8	19,8	28,0	28,0	33,5	33,5	39,0	39,0
1,5	14,6	14,6	19,8	19,8	28,0	28,0	33,5	33,5	39,0	39,0
2,0	14,6	14,6	19,8	19,8	28,0	28,0	33,5	33,5	39,0	39,0
2,5	15,1	14,6	19,8	19,8	28,0	28,0	33,5	33,5	39,0	39,0
3,0	15,6	14,6	19,8	19,8	28,0	28,0	33,5	33,5	39,0	39,0
3,5	15,6	14,6	19,8	19,8	28,0	28,0	33,5	33,5	39,0	39,0
4,0	15,6	16,6	19,8	19,8	28,0	28,0	33,5	33,5	39,0	39,0
4,5	15,6	18,1	19,8	19,8	28,0	28,0	33,5	33,5	39,0	39,0
5,0	15,6	20,1	19,8	21,8	28,0	28,0	33,5	33,5	39,0	39,0

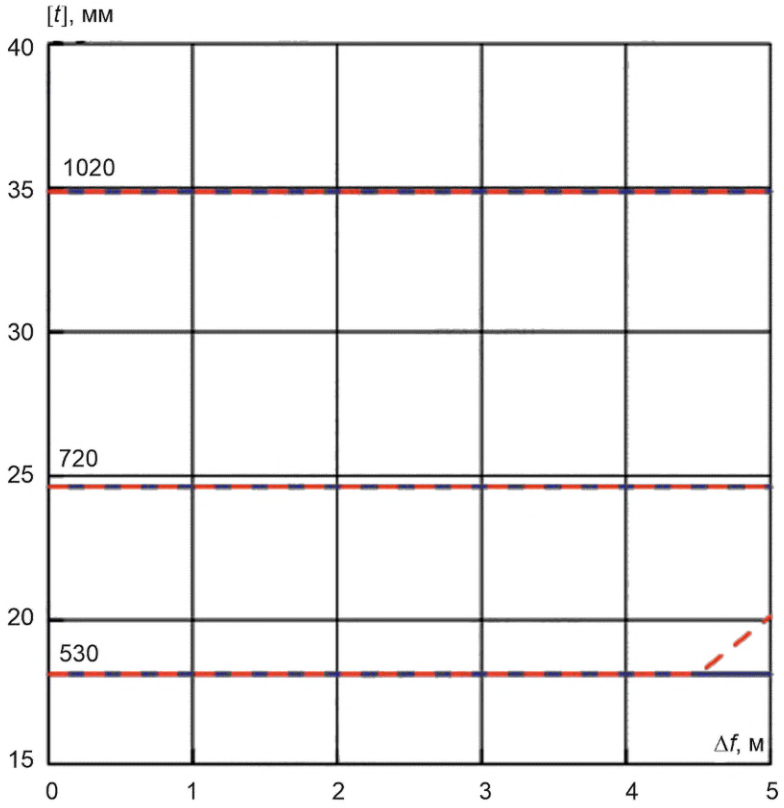


Рисунок В.36 — Сброс, песок, К55, p = 14,7 МПа

Таблица В.41 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, песок, К55, p = 14,7 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	18,2	18,2	24,7	24,7	34,9	34,9	—	—	—	—
0,5	18,2	18,2	24,7	24,7	34,9	34,9	—	—	—	—
1,0	18,2	18,2	24,7	24,7	34,9	34,9	—	—	—	—
1,5	18,2	18,2	24,7	24,7	34,9	34,9	—	—	—	—
2,0	18,2	18,2	24,7	24,7	34,9	34,9	—	—	—	—
2,5	18,2	18,2	24,7	24,7	34,9	34,9	—	—	—	—
3,0	18,2	18,2	24,7	24,7	34,9	34,9	—	—	—	—
3,5	18,2	18,2	24,7	24,7	34,9	34,9	—	—	—	—
4,0	18,2	18,2	24,7	24,7	34,9	34,9	—	—	—	—
4,5	18,2	18,2	24,7	24,7	34,9	34,9	—	—	—	—
5,0	18,2	20,2	24,7	24,7	34,9	34,9	—	—	—	—

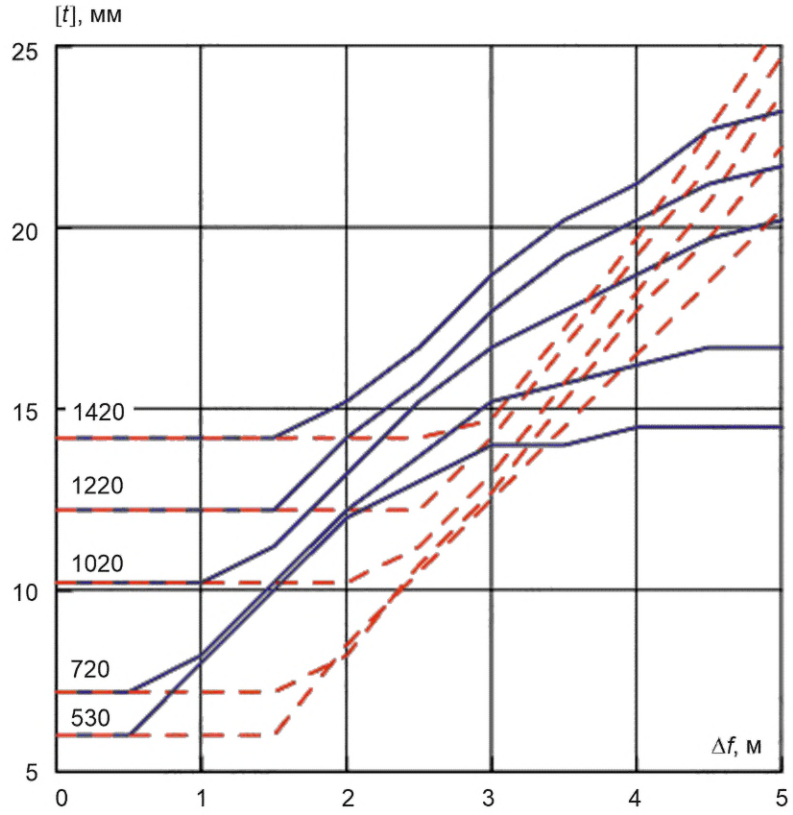


Рисунок В.37 — Сброс, песок, К60, p = 5,4 МПа

Таблица В.42 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, песок, К60, p = 5,4 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	6,0	6,0	7,2	7,2	10,2	10,2	21,15	12,2	14,2	14,2
0,5	6,0	6,0	7,2	7,2	10,2	10,2	21,15	12,2	14,2	14,2
1,0	8,0	6,0	8,2	7,2	10,2	10,2	21,15	12,2	14,2	14,2
1,5	10,0	6,0	10,2	7,2	11,2	10,2	21,15	12,2	14,2	14,2
2,0	12,0	8,5	12,2	8,2	13,2	10,2	21,15	12,2	15,2	14,2
2,5	13,0	10,5	13,7	10,7	15,2	11,2	21,15	12,2	16,7	14,2
3,0	14,0	12,5	15,2	12,7	16,7	13,2	21,15	14,2	18,7	14,7
3,5	14,0	14,5	15,7	15,2	17,7	15,7	21,15	16,7	20,2	17,2
4,0	14,5	16,5	16,2	17,7	18,7	18,2	21,65	19,2	21,2	19,7
4,5	14,5	18,5	16,7	19,7	19,7	20,7	22,65	21,7	22,7	22,7
5,0	14,5	20,5	16,7	22,2	20,2	23,7	23,15	24,7	23,2	25,7

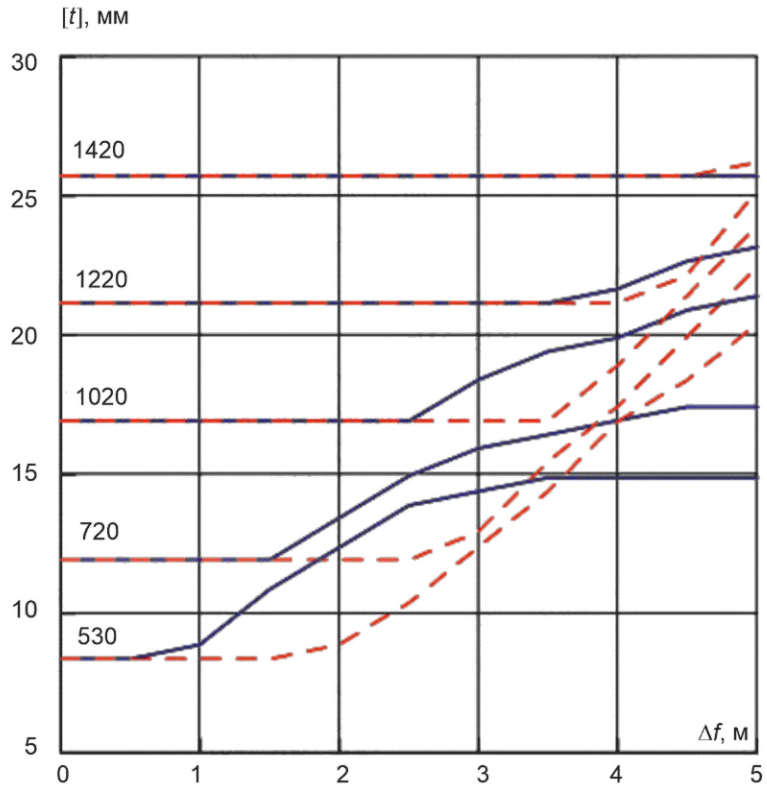


Рисунок В.38 — Сброс, песок, К60, p = 9,8 МПа

Таблица В.43 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, песок, К60, p = 9,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	8,377	8,377	11,93	11,93	16,9	16,9	21,15	21,15	25,69	25,69
0,5	8,377	8,377	11,93	11,93	16,9	16,9	21,15	21,15	25,69	25,69
1,0	8,877	8,377	11,93	11,93	16,9	16,9	21,15	21,15	25,69	25,69
1,5	10,88	8,377	11,93	11,93	16,9	16,9	21,15	21,15	25,69	25,69
2,0	12,38	8,877	13,43	11,93	16,9	16,9	21,15	21,15	25,69	25,69
2,5	13,88	10,38	14,93	11,93	16,9	16,9	21,15	21,15	25,69	25,69
3,0	14,38	12,38	15,93	12,93	18,4	16,9	21,15	21,15	25,69	25,69
3,5	14,88	14,38	16,43	15,43	19,4	16,9	21,15	21,15	25,69	25,69
4,0	14,88	16,88	16,93	17,43	19,9	18,9	21,65	21,15	25,69	25,69
4,5	14,88	18,38	17,43	19,93	20,9	21,4	22,65	22,15	25,69	25,69
5,0	14,88	20,38	17,43	22,43	21,4	23,9	23,15	25,15	25,69	26,19

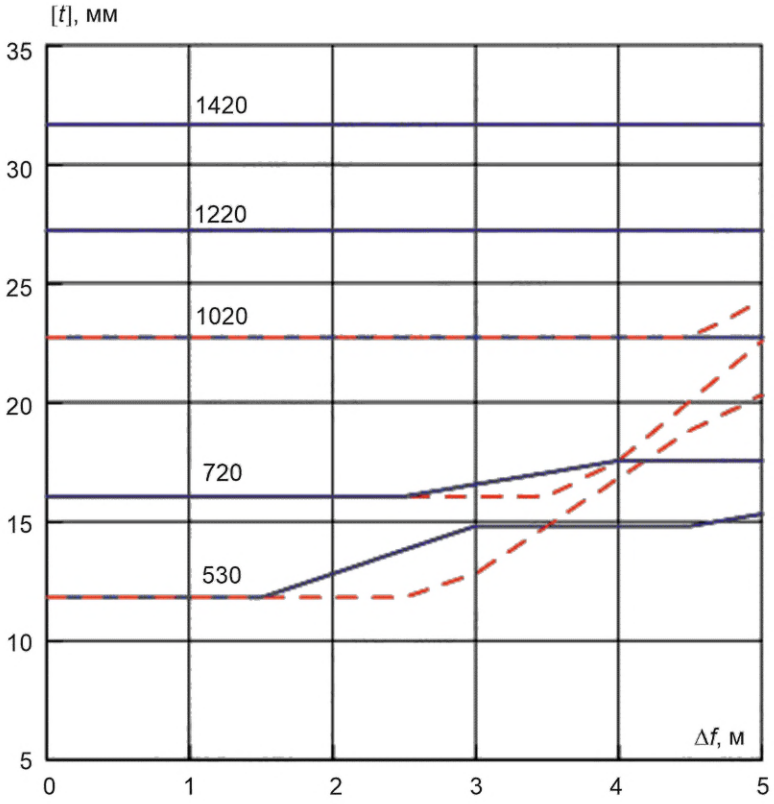


Рисунок В.39 — Сброс, песок, К60, p = 11,8 МПа

Таблица В.44 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, песок, К60, p = 11,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	11,82	11,82	16,06	16,06	22,75	22,75	27,21	27,21	31,67	31,67
0,5	11,82	11,82	16,06	16,06	22,75	22,75	27,21	27,21	31,67	31,67
1,0	11,82	11,82	16,06	16,06	22,75	22,75	27,21	27,21	31,67	31,67
1,5	11,82	11,82	16,06	16,06	22,75	22,75	27,21	27,21	31,67	31,67
2,0	12,82	11,82	16,06	16,06	22,75	22,75	27,21	27,21	31,67	31,67
2,5	13,82	11,82	16,06	16,06	22,75	22,75	27,21	27,21	31,67	31,67
3,0	14,82	12,82	16,56	16,06	22,75	22,75	27,21	27,21	31,67	31,67
3,5	14,82	14,82	17,06	16,06	22,75	22,75	27,21	27,21	31,67	31,67
4,0	14,82	16,82	17,56	17,56	22,75	22,75	27,21	27,21	31,67	31,67
4,5	14,82	18,82	17,56	20,06	22,75	22,75	27,21	27,21	31,67	31,67
5,0	15,32	20,32	17,56	22,56	22,75	24,25	27,21	27,21	31,67	31,67

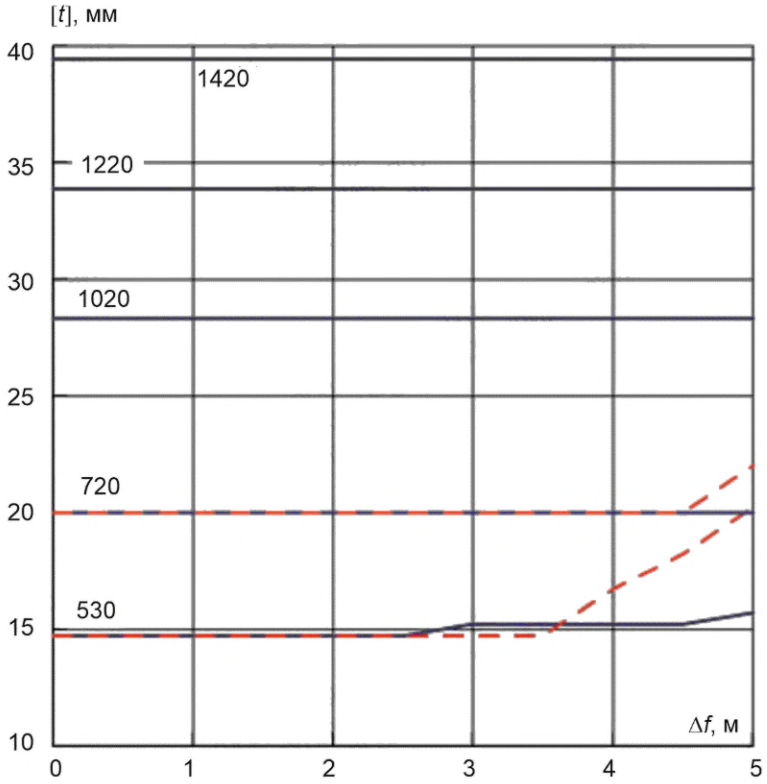


Рисунок В.40 — Сброс, песок, К60, p = 14,7 МПа

Таблица В.45 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, песок, К60, p = 14,7 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	14,72	14,72	20,00	20,00	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
0,5	14,72	14,72	20,00	20,00	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
1,0	14,72	14,72	20,00	20,00	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
1,5	14,72	14,72	20,00	20,00	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
2,0	14,72	14,72	20,00	20,00	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
2,5	14,72	14,72	20,00	20,00	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
3,0	15,22	14,72	20,00	20,00	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
3,5	15,22	14,72	20,00	20,00	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
4,0	15,22	16,72	20,00	20,00	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
4,5	15,22	18,22	20,00	20,00	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
5,0	15,72	20,22	20,00	22,00	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45

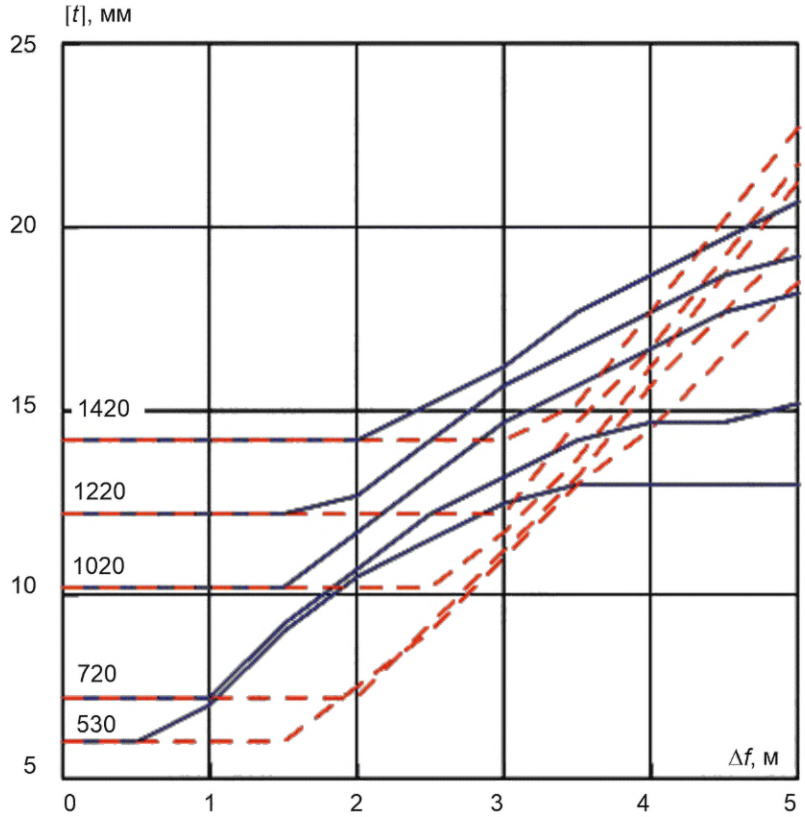


Рисунок В.41 — Сброс, песок, К65, p = 5,4 МПа

Таблица В.46 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, песок, К65, p = 5,4 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	6,0	6,0	7,2	7,2	10,2	10,2	12,2	12,2	14,2	14,2
0,5	6,0	6,0	7,2	7,2	10,2	10,2	12,2	12,2	14,2	14,2
1,0	7,0	6,0	7,2	7,2	10,2	10,2	12,2	12,2	14,2	14,2
1,5	9,0	6,0	9,2	7,2	10,2	10,2	12,2	12,2	14,2	14,2
2,0	10,5	7,5	10,7	7,2	11,7	10,2	12,7	12,2	14,2	14,2
2,5	11,5	9,0	12,2	9,2	13,2	10,2	14,2	12,2	15,2	14,2
3,0	12,5	11,0	13,2	11,2	14,7	11,7	15,7	12,2	16,2	14,2
3,5	13,0	13,0	14,2	13,2	15,7	13,7	16,7	14,7	17,7	15,2
4,0	13,0	14,5	14,7	15,7	16,7	16,2	17,7	16,7	18,7	17,7
4,5	13,0	16,5	14,7	17,7	17,7	18,7	18,7	19,2	19,7	20,2
5,0	13,0	18,5	15,2	19,7	18,2	21,2	19,2	21,7	20,7	22,7

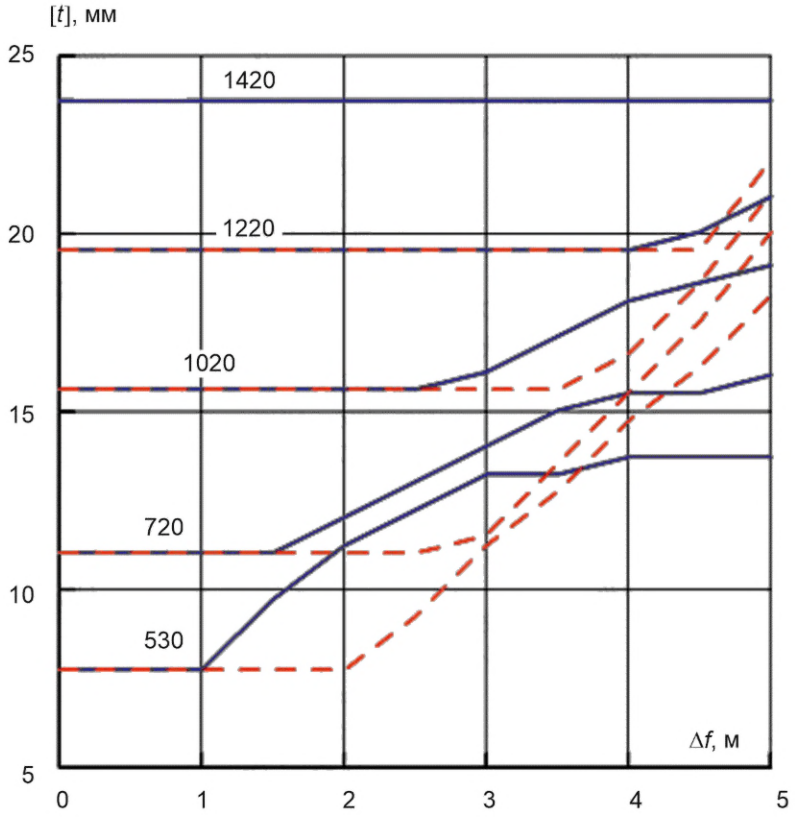


Рисунок В.42 — Сброс, песок, К65, p = 9,8 МПа

Таблица В.47 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, песок, К65, p = 9,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	7,742	7,742	11,03	11,03	15,62	15,62	19,55	19,55	23,75	23,75
0,5	7,742	7,742	11,03	11,03	15,62	15,62	19,55	19,55	23,75	23,75
1,0	7,742	7,742	11,03	11,03	15,62	15,62	19,55	19,55	23,75	23,75
1,5	9,742	7,742	11,03	11,03	15,62	15,62	19,55	19,55	23,75	23,75
2,0	11,24	7,742	12,03	11,03	15,62	15,62	19,55	19,55	23,75	23,75
2,5	12,24	9,242	13,03	11,03	15,62	15,62	19,55	19,55	23,75	23,75
3,0	13,24	11,24	14,03	11,53	16,12	15,62	19,55	19,55	23,75	23,75
3,5	13,24	12,74	15,03	13,53	17,12	15,62	19,55	19,55	23,75	23,75
4,0	13,74	14,74	15,53	15,53	18,12	16,62	19,55	19,55	23,75	23,75
4,5	13,74	16,24	15,53	17,53	18,62	18,62	20,05	19,55	23,75	23,75
5,0	13,74	18,24	16,03	20,03	19,12	21,12	21,05	22,05	23,75	23,75

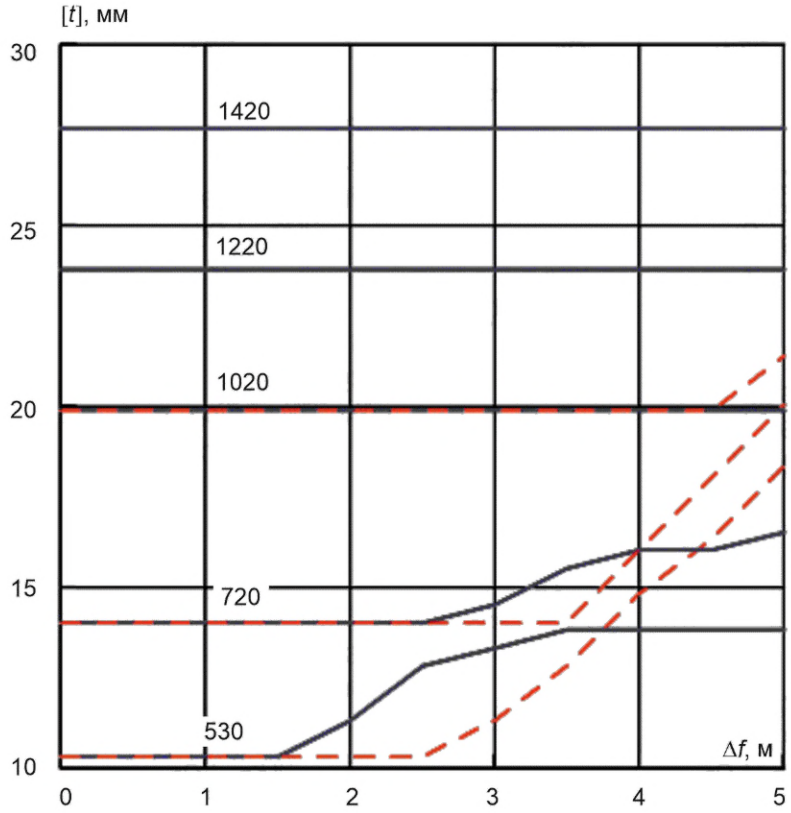


Рисунок В.43 — Сброс, песок, К65, p = 11,8 МПа

Таблица В.48 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, песок, К65, p = 11,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	10,33	10,33	14,03	14,03	19,88	19,88	27,21	23,78	27,67	27,67
0,5	10,33	10,33	14,03	14,03	19,88	19,88	27,21	23,78	27,67	27,67
1,0	10,33	10,33	14,03	14,03	19,88	19,88	27,21	23,78	27,67	27,67
1,5	10,33	10,33	14,03	14,03	19,88	19,88	27,21	23,78	27,67	27,67
2,0	11,33	10,33	14,03	14,03	19,88	19,88	27,21	23,78	27,67	27,67
2,5	12,83	10,33	14,03	14,03	19,88	19,88	27,21	23,78	27,67	27,67
3,0	13,33	11,33	14,53	14,03	19,88	19,88	27,21	23,78	27,67	27,67
3,5	13,83	12,83	15,53	14,03	19,88	19,88	27,21	23,78	27,67	27,67
4,0	13,83	14,83	16,03	16,03	19,88	19,88	27,21	23,78	27,67	27,67
4,5	13,83	16,33	16,03	18,03	19,88	19,88	27,21	23,78	27,67	27,67
5,0	13,83	18,33	16,53	20,03	19,88	21,38	27,21	23,78	27,67	27,67

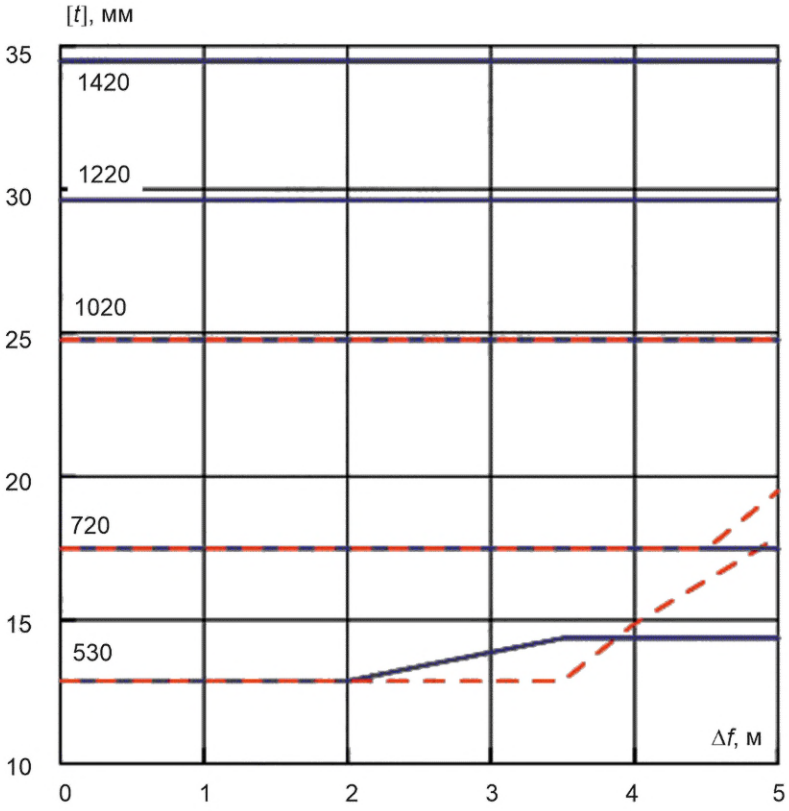


Рисунок В.44 — Сброс, песок, К65, p = 14,7 МПа

Таблица В.49 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, песок, К65, p = 14,7 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	12,87	12,87	17,48	17,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
0,5	12,87	12,87	17,48	17,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
1,0	12,87	12,87	17,48	17,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
1,5	12,87	12,87	17,48	17,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
2,0	12,87	12,87	17,48	17,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
2,5	13,37	12,87	17,48	17,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
3,0	13,87	12,87	17,48	17,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
3,5	14,37	12,87	17,48	17,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
4,0	14,37	14,87	17,48	17,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
4,5	14,37	16,37	17,48	17,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
5,0	14,37	17,87	17,48	19,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47

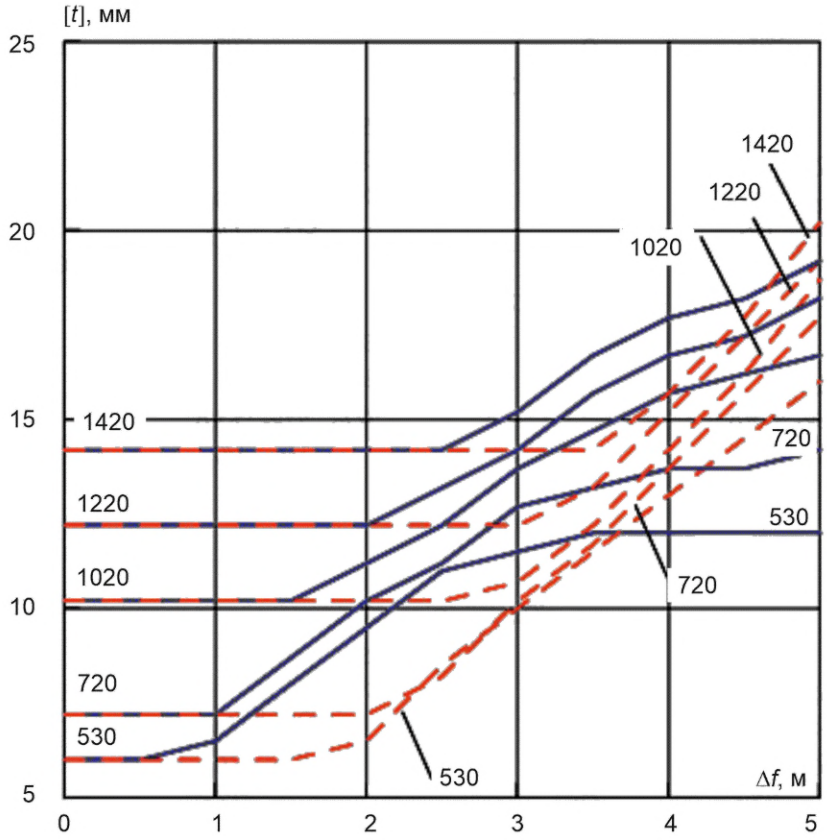


Рисунок В.45 — Сброс, песок, К70, p = 5,4 МПа

Таблица В.50 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, песок, К70, p = 5,4 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	6,0	6,0	7,2	7,2	10,2	10,2	12,2	12,2	14,2	14,2
0,5	6,0	6,0	7,2	7,2	10,2	10,2	12,2	12,2	14,2	14,2
1,0	6,5	6,0	7,2	7,2	10,2	10,2	12,2	12,2	14,2	14,2
1,5	8,0	6,0	8,7	7,2	10,2	10,2	12,2	12,2	14,2	14,2
2,0	9,5	6,5	10,2	7,2	11,2	10,2	12,2	12,2	14,2	14,2
2,5	11,0	8,5	11,2	8,2	12,2	10,2	13,2	12,2	14,2	14,2
3,0	11,5	10,0	12,7	10,2	13,7	10,7	14,2	12,2	15,2	14,2
3,5	12,0	11,5	13,2	11,7	14,7	12,2	15,7	13,2	16,7	14,2
4,0	12,0	13,0	13,7	13,7	15,7	14,2	16,7	15,2	17,7	15,7
4,5	12,0	14,5	13,7	15,7	16,2	16,2	17,2	17,2	18,2	17,7
5,0	12,0	16,0	14,2	17,7	16,7	18,7	18,2	19,2	19,2	20,2

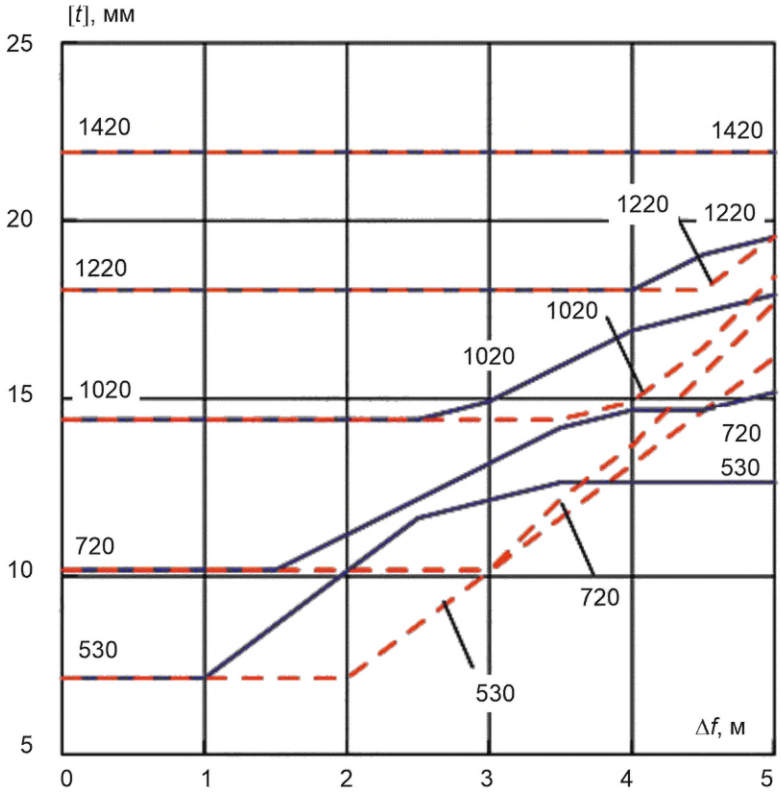


Рисунок В.46 — Сброс, песок, К70, p = 9,8 МПа

Таблица В.51 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, песок, К70, p = 9,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	7,146	7,146	10,18	10,18	14,42	14,42	18,05	18,05	21,93	21,93
0,5	7,146	7,146	10,18	10,18	14,42	14,42	18,05	18,05	21,93	21,93
1,0	7,146	7,146	10,18	10,18	14,42	14,42	18,05	18,05	21,93	21,93
1,5	8,646	7,146	10,18	10,18	14,42	14,42	18,05	18,05	21,93	21,93
2,0	10,15	7,146	11,18	10,18	14,42	14,42	18,05	18,05	21,93	21,93
2,5	11,65	8,646	12,18	10,18	14,42	14,42	18,05	18,05	21,93	21,93
3,0	12,15	10,15	13,18	10,18	14,92	14,42	18,05	18,05	21,93	21,93
3,5	12,65	11,65	14,18	12,18	15,92	14,42	18,05	18,05	21,93	21,93
4,0	12,65	13,15	14,68	13,68	16,92	14,92	18,05	18,05	21,93	21,93
4,5	12,65	14,65	14,68	15,68	17,42	16,42	19,05	18,05	21,93	21,93
5,0	12,65	16,15	15,18	17,68	17,92	18,42	19,55	19,55	21,93	21,93

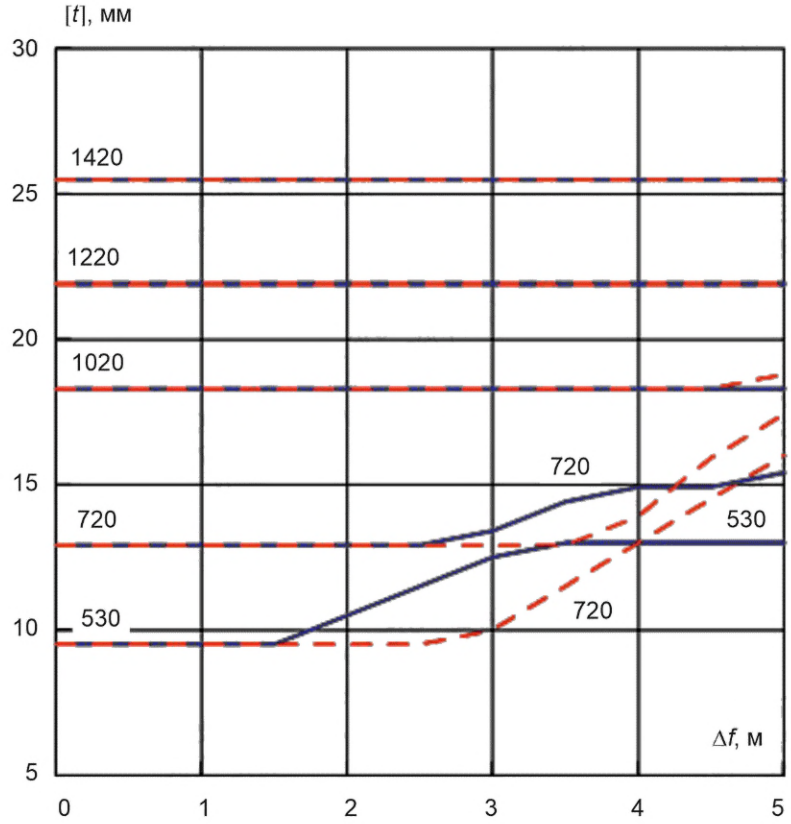


Рисунок В.47 — Сброс, песок, К70, p = 11,8 МПа

Таблица В.52 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, песок, К70, p = 11,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	9,511	9,511	12,92	12,92	18,3	18,3	21,89	21,89	25,48	25,48
0,5	9,511	9,511	12,92	12,92	18,3	18,3	21,89	21,89	25,48	25,48
1,0	9,511	9,511	12,92	12,92	18,3	18,3	21,89	21,89	25,48	25,48
1,5	9,511	9,511	12,92	12,92	18,3	18,3	21,89	21,89	25,48	25,48
2,0	10,51	9,511	12,92	12,92	18,3	18,3	21,89	21,89	25,48	25,48
2,5	11,51	9,511	12,92	12,92	18,3	18,3	21,89	21,89	25,48	25,48
3,0	12,51	10,01	13,42	12,92	18,3	18,3	21,89	21,89	25,48	25,48
3,5	13,01	11,51	14,42	12,92	18,3	18,3	21,89	21,89	25,48	25,48
4,0	13,01	13,01	14,92	13,92	18,3	18,3	21,89	21,89	25,48	25,48
4,5	13,01	14,51	14,92	15,92	18,3	18,3	21,89	21,89	25,48	25,48
5,0	13,01	16,01	15,42	17,42	18,3	18,8	21,89	21,89	25,48	25,48

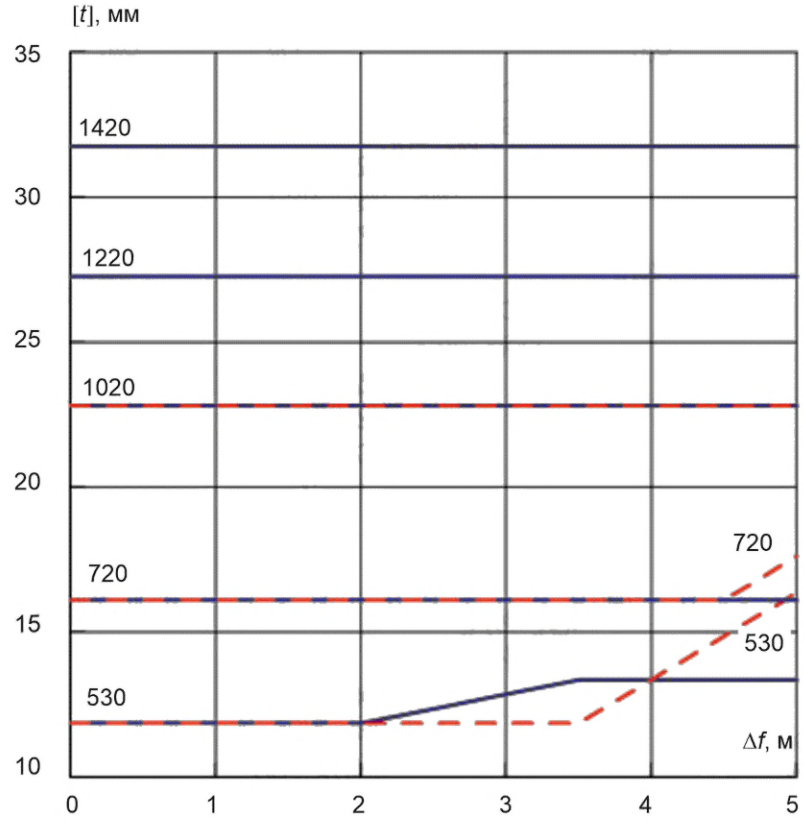


Рисунок В.48 — Сброс, песок, К70, p = 14,7 МПа

Таблица В.53 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, песок, К70, p = 14,7 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	11,85	11,85	16,1	16,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
0,5	11,85	11,85	16,1	16,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
1,0	11,85	11,85	16,1	16,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
1,5	11,85	11,85	16,1	16,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
2,0	11,85	11,85	16,1	16,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
2,5	12,35	11,85	16,1	16,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
3,0	12,85	11,85	16,1	16,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
3,5	13,35	11,85	16,1	16,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
4,0	13,35	13,35	16,1	16,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
4,5	13,35	14,85	16,1	16,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
5,0	13,35	16,35	16,1	17,6	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75

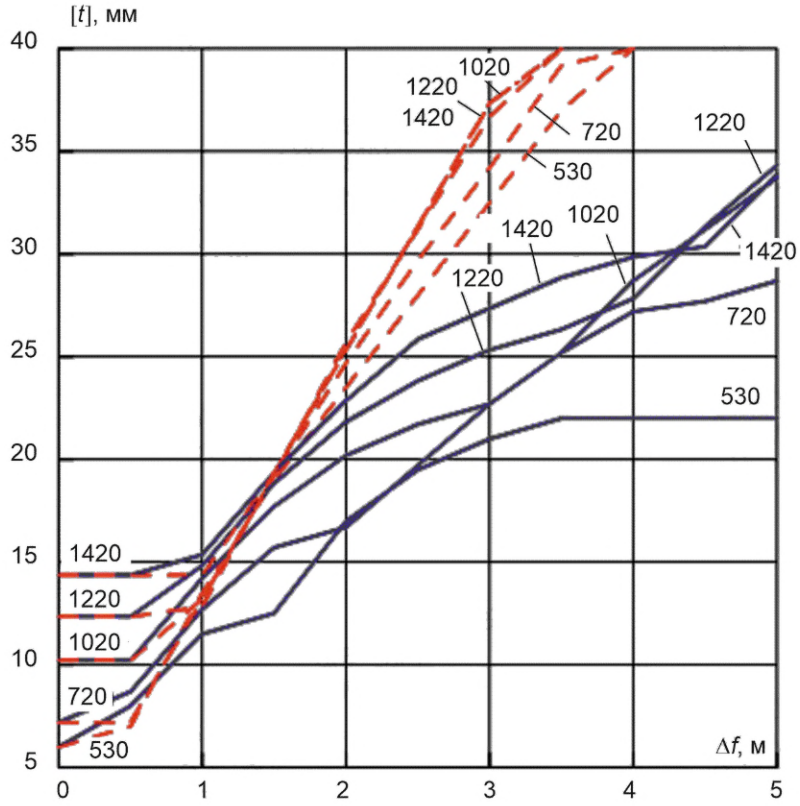


Рисунок В.49 — Сброс, глина, К55, p = 5,4 МПа

Таблица В.54 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, глина, К55, p = 5,4 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	6,0	6,0	7,2	7,2	10,2	10,2	12,4	12,4	14,4	14,4
0,5	8,0	7,0	8,7	7,2	10,2	10,2	12,4	12,4	14,4	14,4
1,0	11,5	13,5	12,7	13,2	14,2	13,2	14,9	12,9	15,4	14,4
1,5	12,5	19,0	15,7	19,2	17,7	19,2	18,9	19,4	19,4	19,4
2,0	17,0	23,5	16,7	24,7	20,2	25,7	21,9	25,4	22,9	25,4
2,5	19,5	28,0	19,7	29,7	21,7	31,2	23,9	31,4	25,9	31,4
3,0	21,0	32,5	22,7	34,2	22,7	36,7	25,4	37,4	27,4	37,4
3,5	22,0	37,0	25,2	39,2	25,2	—	26,4	—	28,9	—
4,0	22,0	—	27,2	—	28,7	—	27,9	—	29,9	—
4,5	22,0	—	27,7	—	31,2	—	31,4	—	30,4	—
5,0	22,0	—	28,7	—	33,7	—	34,4	—	33,9	—

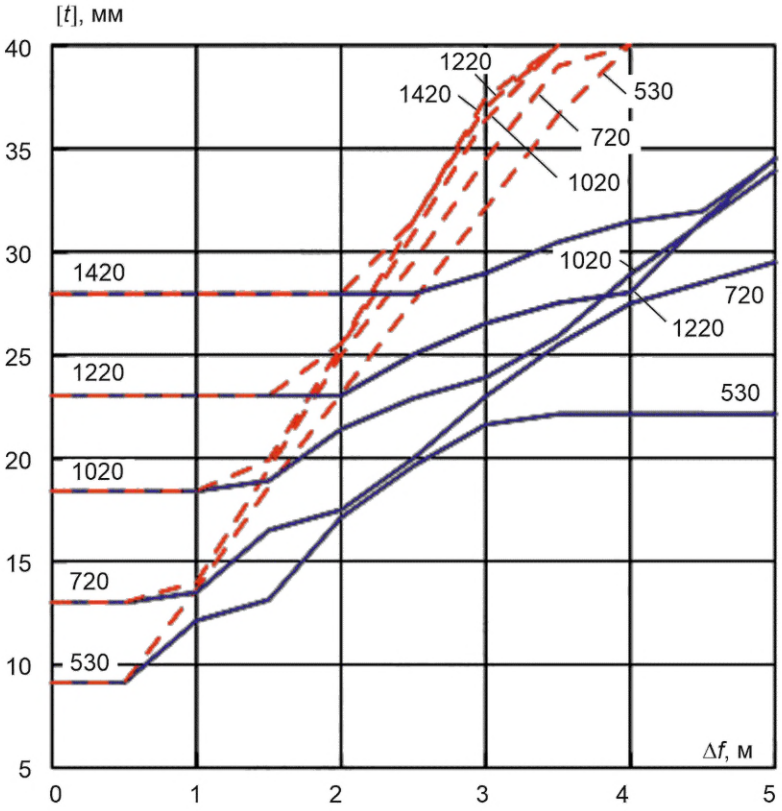


Рисунок В.50 — Сброс, глина, К55, p = 9,8 МПа

Таблица В.55 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, глина, К55, p = 9,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	9,2	9,2	13,0	13,0	18,5	18,5	23,1	23,1	28,0	28,0
0,5	9,2	9,2	13,0	13,0	18,5	18,5	23,1	23,1	28,0	28,0
1,0	12,2	13,7	13,5	14,0	18,5	18,5	23,1	23,1	28,0	28,0
1,5	13,2	18,7	16,5	19,5	19,0	20,0	23,1	23,1	28,0	28,0
2,0	17,2	23,2	17,5	25,0	21,5	25,5	23,1	25,6	28,0	28,0
2,5	19,7	27,6	20,0	29,5	23,0	31,0	25,1	31,6	28,0	31,5
3,0	21,7	32,2	23,0	34,5	24,0	36,5	26,6	37,1	29,0	37,5
3,5	22,2	36,7	25,5	39,0	26,0	—	27,6	—	30,5	—
4,0	22,2	—	27,5	—	29,0	—	28,1	—	31,5	—
4,5	22,2	—	28,5	—	31,5	—	31,6	—	32,0	—
5,0	22,2	—	29,5	—	34,0	—	34,6	—	34,5	—

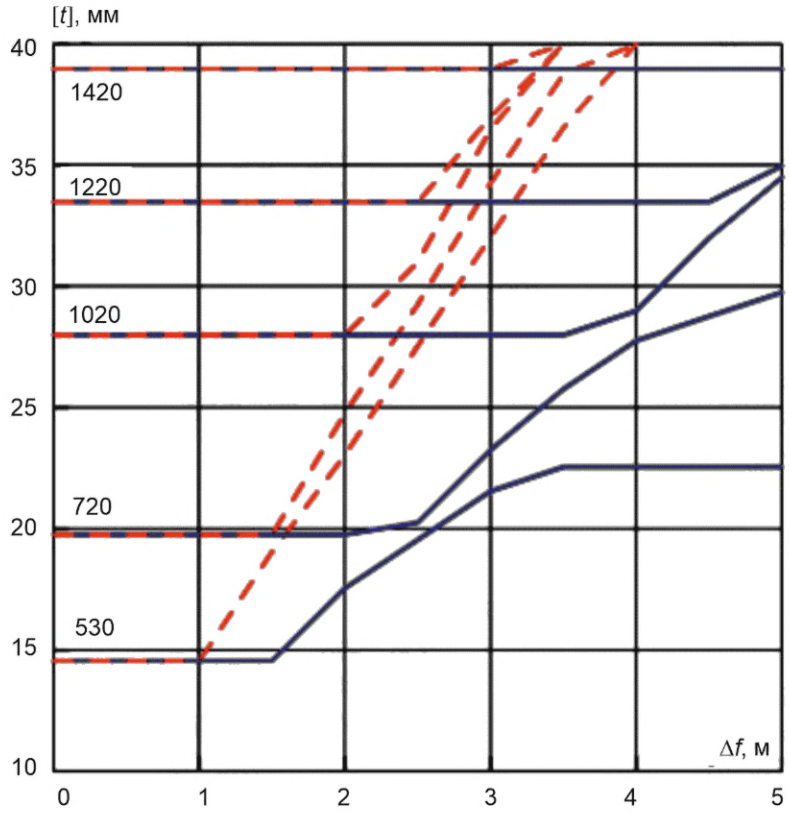


Рисунок В.51 — Сброс, глина, К55, p = 11,8 МПа

Таблица В.56 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, глина, К55, p = 11,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	14,6	14,6	19,8	19,8	28,0	28,0	33,5	33,5	39,0	39,0
0,5	14,6	14,6	19,8	19,8	28,0	28,0	33,5	33,5	39,0	39,0
1,0	14,6	14,6	19,8	19,8	28,0	28,0	33,5	33,5	39,0	39,0
1,5	14,6	19,1	19,8	19,8	28,0	28,0	33,5	33,5	39,0	39,0
2,0	17,6	23,1	19,8	24,8	28,0	28,0	33,5	33,5	39,0	39,0
2,5	19,6	27,6	20,3	29,3	28,0	31,0	33,5	33,5	39,0	39,0
3,0	21,6	32,1	23,3	34,3	28,0	36,5	33,5	37,0	39,0	39,0
3,5	22,6	36,6	25,8	38,8	28,0	—	33,5	—	39,0	—
4,0	22,6	—	27,8	—	29,0	—	33,5	—	39,0	—
4,5	22,6	—	28,8	—	32,0	—	33,5	—	39,0	—
5,0	22,6	—	29,8	—	34,5	—	35,0	—	39,0	—

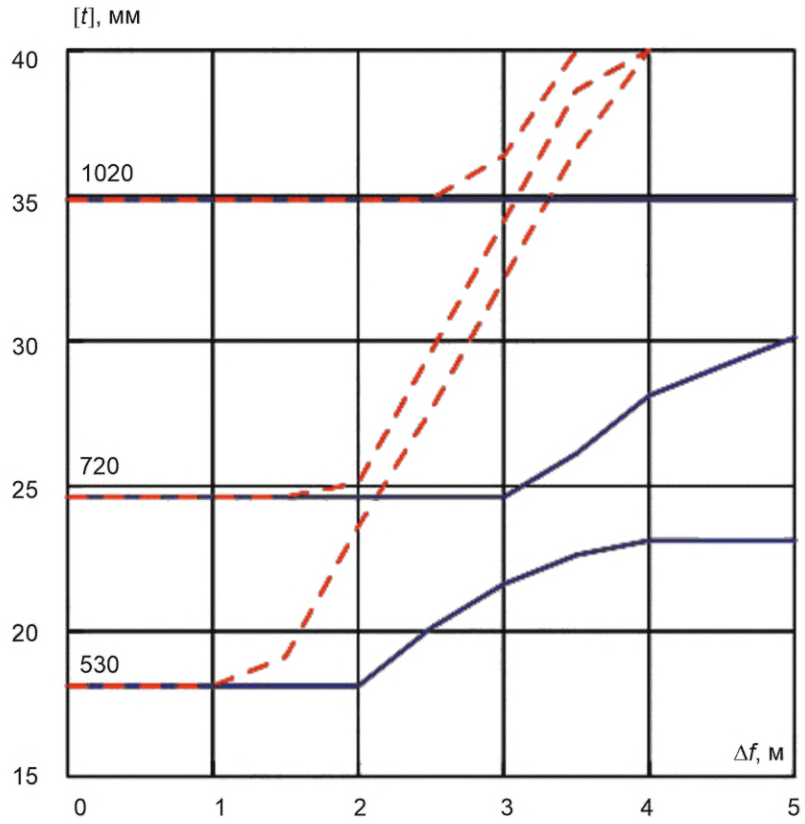


Рисунок В.52 — Сброс, глина, К55, p = 14,7 МПа

Таблица В.57 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, глина, К55, p = 14,7 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	18,2	18,2	24,7	24,7	34,9	34,9	—	—	—	—
0,5	18,2	18,2	24,7	24,7	34,9	34,9	—	—	—	—
1,0	18,2	18,2	24,7	24,7	34,9	34,9	—	—	—	—
1,5	18,2	19,2	24,7	24,7	34,9	34,9	—	—	—	—
2,0	18,2	23,7	24,7	25,2	34,9	34,9	—	—	—	—
2,5	20,2	27,7	24,7	29,7	34,9	34,9	—	—	—	—
3,0	21,7	32,2	24,7	34,2	34,9	36,4	—	—	—	—
3,5	22,7	36,7	26,2	38,7	34,9	—	—	—	—	—
4,0	23,2	—	28,2	—	34,9	—	—	—	—	—
4,5	23,2	—	29,2	—	34,9		—	—	—	—
5,0	23,2	—	30,2	—	34,9	—	—	—	—	—

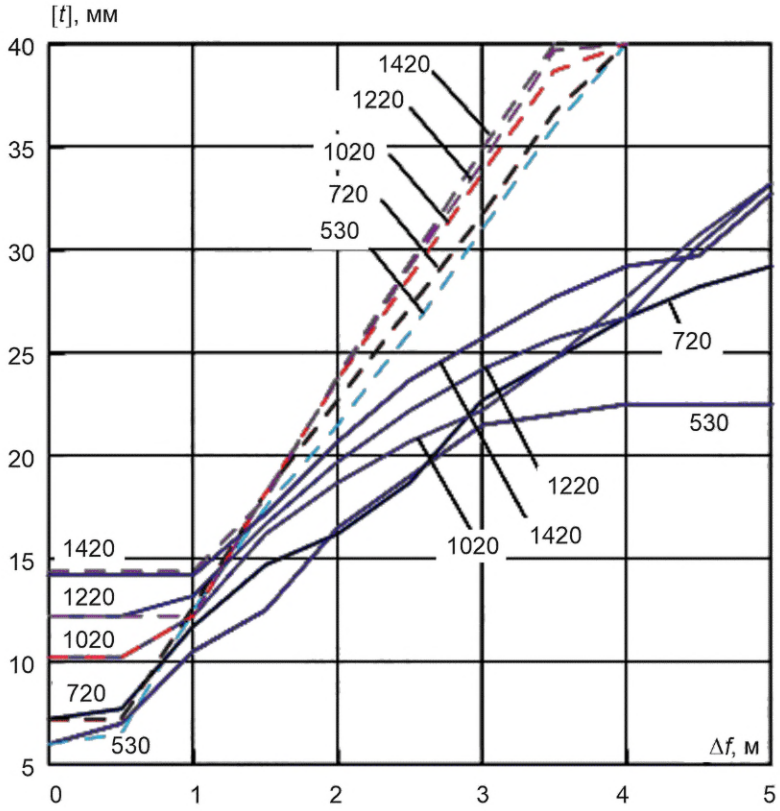


Рисунок В.53 — Сброс, глина, К60, p = 5,4 МПа

Таблица В.58 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, глина, К60, p = 5,4 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	6,0	6,0	7,2	7,2	10,2	10,2	12,2	12,2	14,2	14,39
0,5	7,0	6,5	7,7	7,2	10,2	10,2	12,2	12,2	14,2	14,39
1,0	10,5	12,5	11,7	12,7	12,2	12,2	13,2	12,2	14,2	14,39
1,5	12,5	17,5	14,7	18,2	16,2	18,2	16,7	18,2	17,2	17,89
2,0	16,5	21,5	16,2	22,7	18,7	23,7	19,7	23,7	20,7	23,89
2,5	19,0	26,0	18,7	27,2	20,7	28,7	22,2	29,2	23,7	29,39
3,0	21,5	31,0	22,7	31,7	22,2	33,7	24,2	34,2	25,7	34,89
3,5	22,0	36,0	24,7	36,7	24,7	38,7	25,7	39,7	27,7	40,0
4,0	22,5	40,0	26,7	40,0	27,7	40,0	26,7	40,0	29,2	40,0
4,5	22,5	40,0	28,2	40,0	30,7	40,0	30,2	40,0	29,7	40,0
5,0	22,5	40,0	29,2	40,0	33,2	40,0	33,2	40,0	32,7	40,0

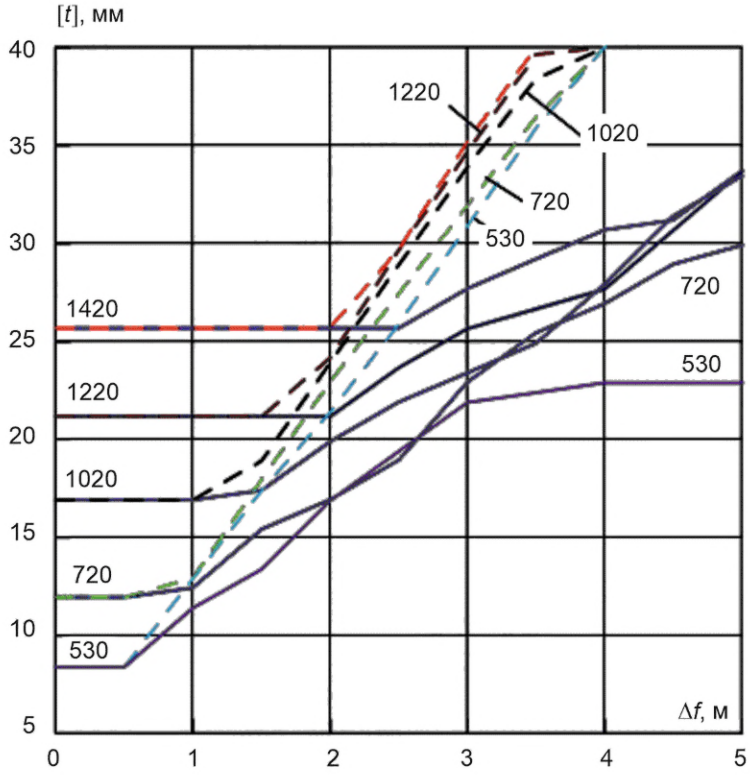


Рисунок В.54 — Сброс, глина, К60, p = 9,8 МПа

Таблица В.59 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, глина, К60, p = 9,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	8,377	8,377	11,93	11,93	16,9	16,9	21,15	21,15	25,69	25,69
0,5	8,377	8,377	11,93	11,93	16,9	16,9	21,15	21,15	25,69	25,69
1,0	11,38	12,88	12,43	12,93	16,9	16,9	21,15	21,15	25,69	25,69
1,5	13,38	17,38	15,43	17,93	17,4	18,9	21,15	21,15	25,69	25,69
2,0	16,88	21,38	16,93	22,93	19,9	23,9	21,15	24,15	25,69	25,69
2,5	19,38	25,88	18,93	27,43	21,9	28,9	23,65	29,65	25,69	29,69
3,0	21,88	30,88	22,93	31,93	23,4	33,9	25,65	34,65	27,69	35,19
3,5	22,38	35,88	25,43	36,43	24,9	38,4	26,65	39,65	29,19	40,0
4,0	22,88	40,0	26,93	40,0	27,9	40,0	27,65	40,0	30,69	40,0
4,5	22,88	40,0	28,93	40,0	31,4	40,0	30,65	40,0	31,19	40,0
5,0	22,88	40,0	29,93	40,0	33,4	40,0	33,65	40,0	33,69	40,0

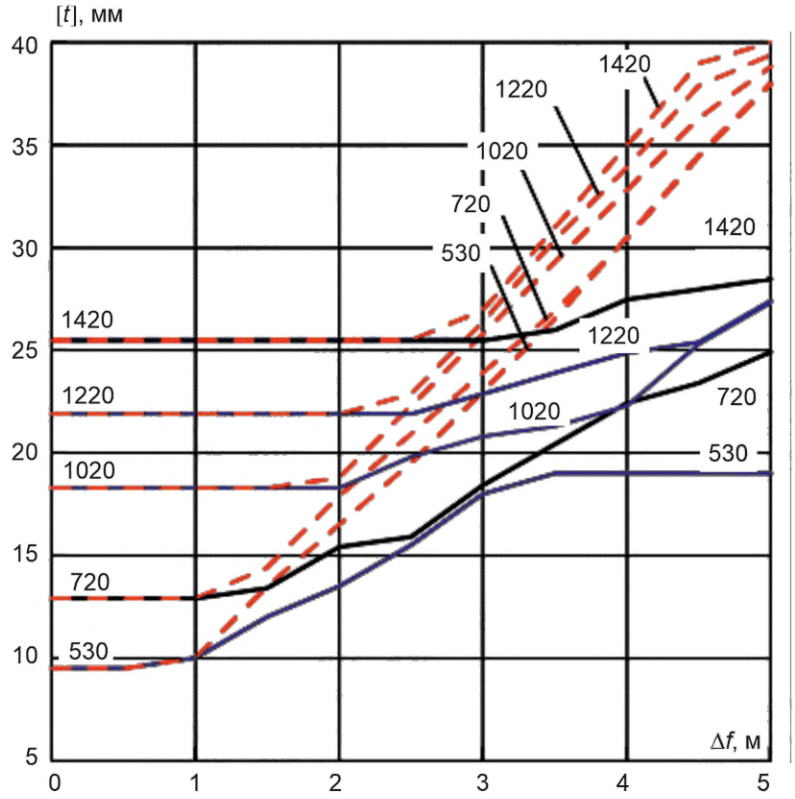


Рисунок В.55 — Сброс, глина, К60, p = 11,8 МПа

Таблица В.60 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, глина, К60, p = 11,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	11,82	11,82	16,06	16,06	22,75	22,75	27,21	27,21	31,67	39,45
0,5	11,82	11,82	16,06	16,06	22,75	22,75	27,21	27,21	31,67	39,45
1,0	11,82	12,82	16,06	16,06	22,75	22,75	27,21	27,21	31,67	39,45
1,5	13,32	17,32	16,06	18,56	22,75	22,75	27,21	27,21	31,67	39,45
2,0	16,82	21,32	17,56	23,06	22,75	24,25	27,21	27,21	31,67	39,45
2,5	19,32	25,82	19,06	27,56	22,75	29,25	27,21	29,71	31,67	39,45
3,0	21,82	30,82	23,06	31,56	23,75	33,75	27,21	34,71	31,67	39,45
3,5	22,82	35,82	25,56	36,56	25,25	38,75	27,21	39,71	31,67	40,0
4,0	22,82	40,0	27,06	40,0	28,25	40,0	28,21	40,0	31,67	40,0
4,5	22,82	40,0	29,06	40,0	31,75	40,0	31,71	40,0	32,17	40,0
5,0	22,82	40,0	30,06	40,0	33,75	40,0	34,21	40,0	34,17	40,0

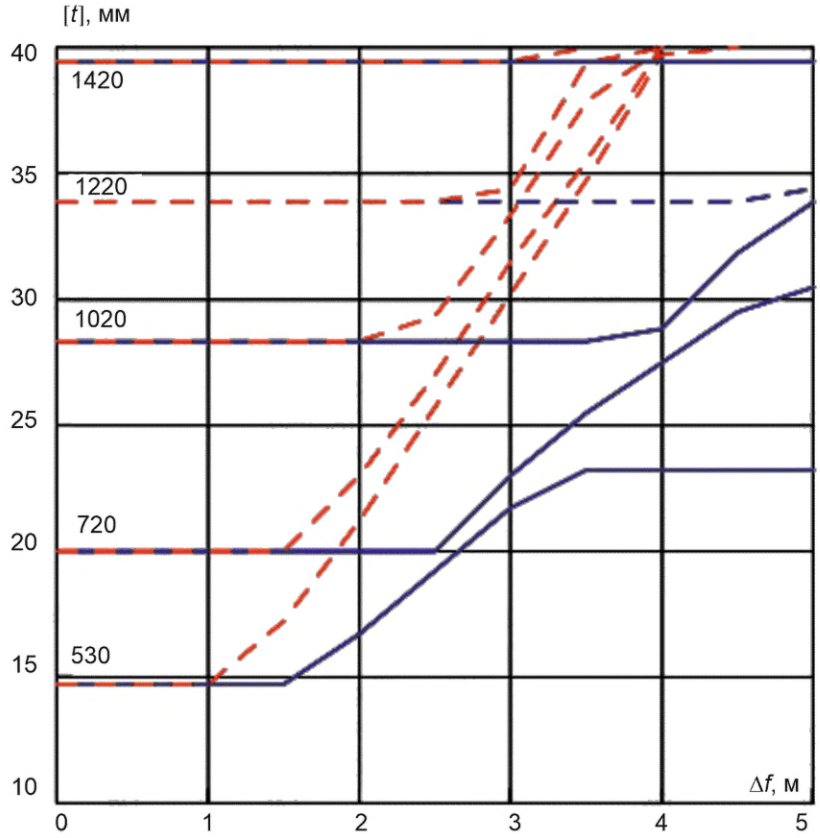


Рисунок В.56 — Сброс, глина, К60, p = 14,7 МПа

Таблица В.61 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, глина, К60, p = 14,7 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	14,72	14,72	20,00	20,00	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
0,5	14,72	14,72	20,00	20,00	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
1,0	14,72	14,72	20,00	20,00	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
1,5	14,72	17,22	20,00	20,00	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
2,0	16,72	21,22	20,00	23,00	28,34	28,34	33,89	33,89	39,45	39,45
2,5	19,22	25,72	20,00	27,00	28,34	29,34	33,89	33,89	39,45	39,45
3,0	21,72	30,22	23,00	31,5	28,34	33,34	33,89	34,39	39,45	39,45
3,5	23,22	34,72	25,5	35,5	28,34	37,84	33,89	39,39	39,45	40,00
4,0	23,22	39,72	27,5	40,00	28,84	40,00	33,89	40,00	39,45	40,00
4,5	23,22	40,00	29,5	40,00	31,84	40,00	33,89	40,00	39,45	40,00
5,0	23,22	40,00	30,5	40,00	33,84	40,00	34,39	40,00	39,45	40,00

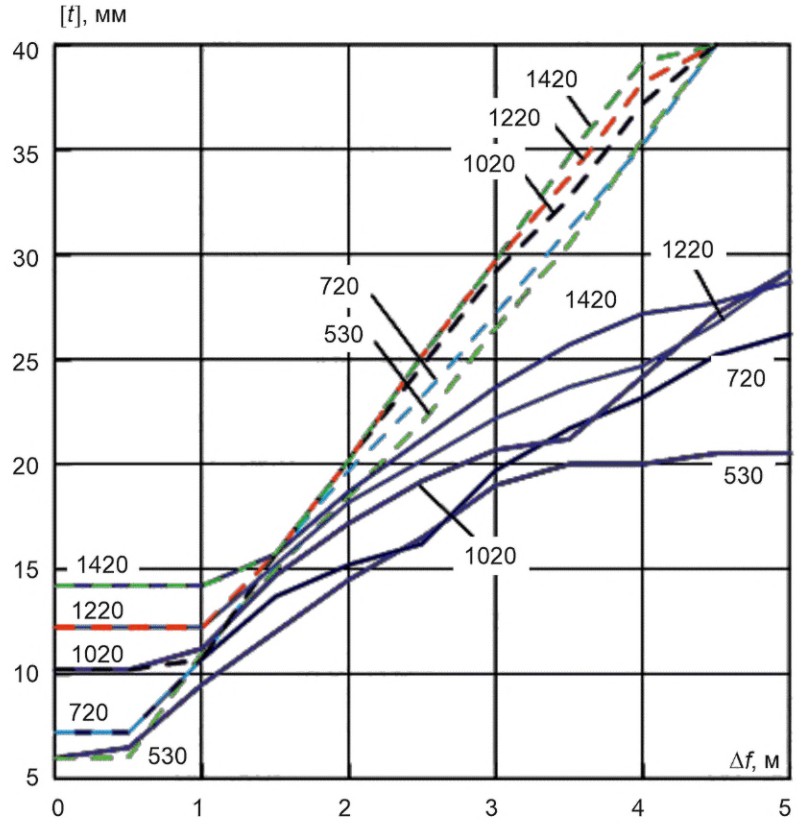


Рисунок В.57 — Сброс, глина, К65, p = 5,4 МПа

Таблица В.62 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, глина, К65, p = 5,4 МПа»

Смещение АТР	Диаметр наружный, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	6,0	6,0	7,2	7,2	10,2	10,2	12,2	12,2	14,2	14,2
0,5	6,5	6,0	7,2	7,2	10,2	10,2	12,2	12,2	14,2	14,2
1,0	9,5	11,0	10,7	10,7	11,2	10,7	12,2	12,2	14,2	14,2
1,5	12,0	15,0	13,7	15,7	14,7	15,7	15,2	15,7	15,7	15,7
2,0	14,5	18,5	15,2	19,7	17,2	20,2	18,2	20,2	18,7	20,2
2,5	16,5	22,0	16,2	23,2	19,2	24,7	20,2	25,2	21,2	25,2
3,0	19,0	26,5	19,7	27,2	20,7	29,2	22,2	29,7	23,7	29,7
3,5	20,0	30,5	21,7	31,2	21,2	32,7	23,7	33,7	25,7	34,7
4,0	20,0	35,5	23,2	35,2	24,2	37,2	24,7	38,2	27,2	39,2
4,5	20,5	40,0	25,2	40,0	27,2	40,0	26,7	40,0	27,7	40,0
5,0	20,5	40,0	26,2	40,0	29,2	40,0	29,2	40,0	28,7	40,0

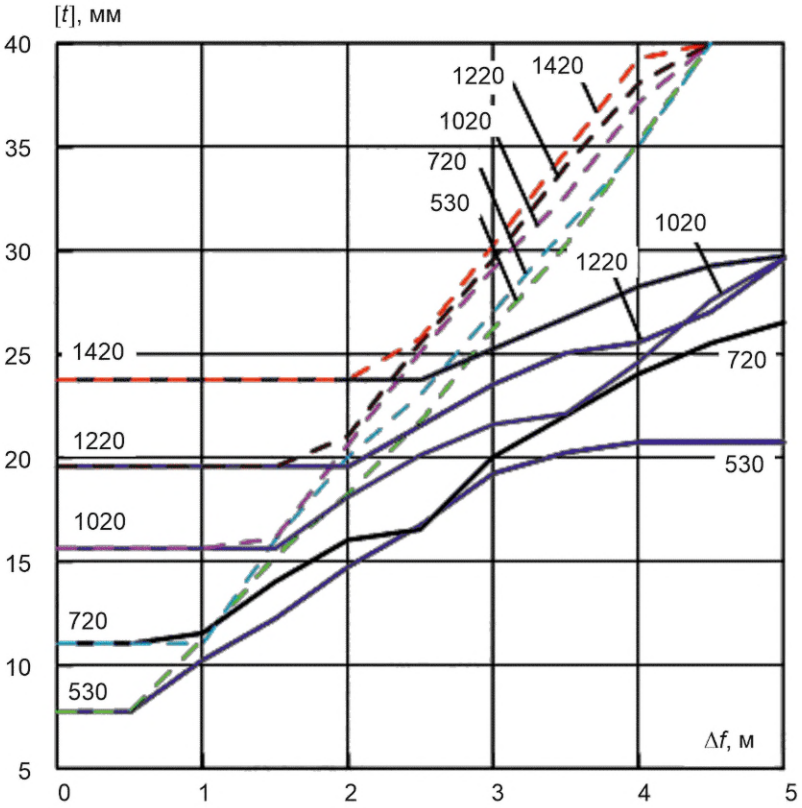


Рисунок В.58 — Сброс, глина, К65, p = 9,8 МПа

Таблица В.63 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, глина, К65, p = 9,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	7,742	7,742	11,03	11,03	15,62	15,62	19,55	19,55	23,75	23,75
0,5	7,742	7,742	11,03	11,03	15,62	15,62	19,55	19,55	23,75	23,75
1,0	10,24	11,24	11,53	11,03	15,62	15,62	19,55	19,55	23,75	23,75
1,5	12,24	15,24	14,03	16.03	15,62	16,12	19,55	19,55	23,75	23,75
2,0	14,74	18,24	16.03	20,03	18,12	20,62	19,55	21,05	23,75	23,75
2,5	16,74	21,74	16.53	23,03	20,12	25,12	21,55	25,55	23,75	25,75
3,0	19,24	26,24	20,03	27,03	21,62	29,12	23,55	29,55	25,25	30,25
3,5	20,24	30,24	22,03	31,03	22,12	32,62	25,05	34,05	26,75	34,75
4,0	20,74	35,24	24,03	35,03	24,62	37,12	25,55	38,05	28,25	39,25
4,5	20,74	40,0	25,53	40,0	27,62	40,0	27,05	40,0	29,25	40,0
5,0	20,74	40,0	26,53	40,0	29,62	40,0	29,55	40,0	29,75	40,0

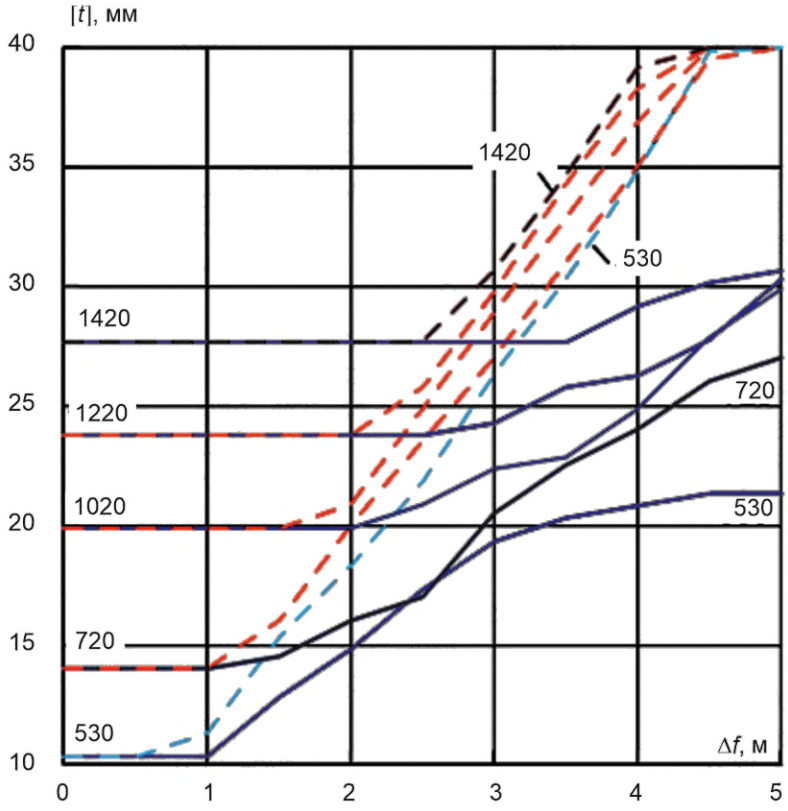


Рисунок В.59 — Сброс, глина, К65, p = 11,8 МПа

Таблица В.64 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, глина, К65, p = 11,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	10,33	10,33	14,03	14,03	19,88	19,88	23,78	23,78	27,67	27,67
0,5	10,33	10,33	14,03	14,03	19,88	19,88	23,78	23,78	27,67	27,67
1,0	10,33	11,33	14,03	14,03	19,88	19,88	23,78	23,78	27,67	27,67
1,5	12,83	15,33	14,53	16,03	19,88	19,88	23,78	23,78	27,67	27,67
2,0	14,83	18,33	16,03	20,03	19,88	20,88	23,78	23,78	27,67	27,67
2,5	17,33	21,83	17,03	23,53	20,88	24,88	23,78	25,78	27,67	27,67
3,0	19,33	26,33	20,53	27,03	22,38	28,88	24,28	29,78	27,67	30,67
3,5	20,33	30,33	22,53	31,03	22,88	32,88	25,78	34,28	27,67	34,67
4,0	20,83	34,83	24,03	35,03	24,88	36,88	26,28	38,28	29,17	39,17
4,5	21,33	39,83	26,03	39,53	27,88	40,00	27,78	40,00	30,17	40,00
5,0	21,33	40,00	27,03	40,00	29,88	40,00	30,28	40,00	30,67	40,00

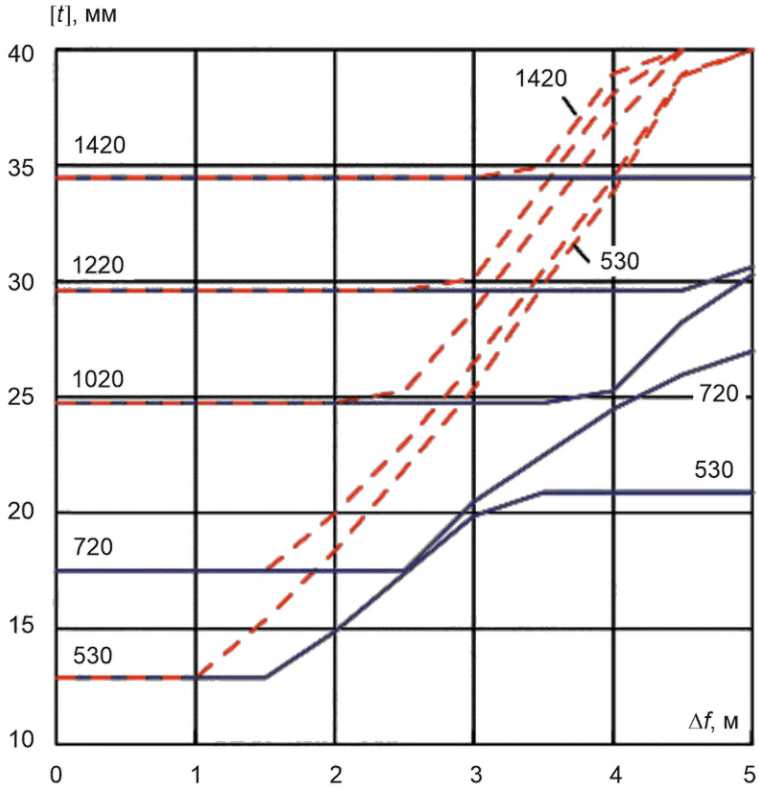


Рисунок В.60 — Сброс, глина, К65, p = 14,7 МПа

Таблица В.65 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, глина, К65, p = 14,7 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	12,87	12,87	17,48	17,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
0,5	12,87	12,87	17,48	17,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
1,0	12,87	12,87	17,48	17,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
1,5	12,87	15,37	17,48	17,48	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
2,0	14,87	18,37	17,48	19,98	24,76	24,76	29,62	29,62	34,47	34,47
2,5	17,37	21,87	17,48	22,98	24,76	25,26	29,62	29,62	34,47	34,47
3,0	19,87	25,37	20,48	26,48	24,76	28,76	29,62	30,12	34,47	34,47
3,5	20,87	29,87	22,48	30,48	24,76	32,76	29,62	34,12	34,47	34,97
4,0	20,87	33,87	24,48	34,48	25,26	36,76	29,62	38,12	34,47	38,97
4,5	20,87	38,87	25,98	38,98	28,26	40,00	29,62	40,00	34,47	40,00
5,0	20,87	40,00	26,98	40,00	30,26	40,00	30,62	40,00	34,47	40,00

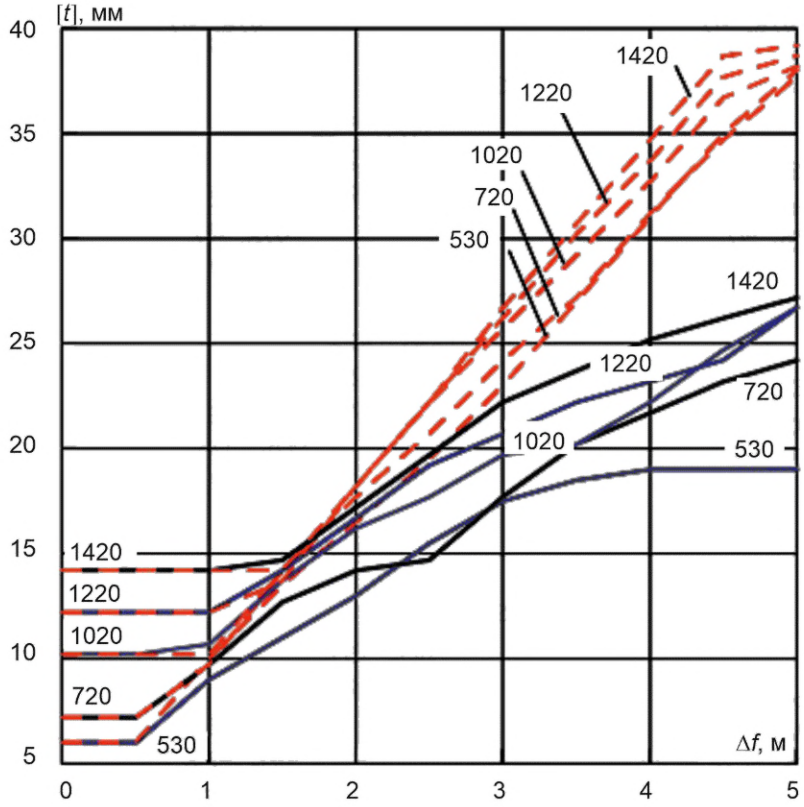


Рисунок В.61 — Сброс, глина, К70, p = 5,4 МПа

Таблица В.66 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, глина, К70, p = 5,4 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	6,0	6,0	7,2	7,2	10,2	10,2	12,2	12,2	14,2	14,2
0,5	6,0	6,0	7,2	7,2	10,2	10,2	12,2	12,2	14,2	14,2
1,0	9,0	10,0	9,7	9,7	10,7	10,2	12,2	12,2	14,2	14,2
1,5	11,0	13,5	12,7	14,2	13,7	14,2	14,2	13,7	14,7	14,2
2,0	13,0	16,5	14,2	17,7	16,2	18,2	16,7	18,2	17,2	18,2
2,5	15,5	19,5	14,7	20,7	17,7	22,2	19,2	22,2	19,7	22,2
3,0	17,5	23,0	17,7	24,2	19,7	25,7	20,7	26,2	22,2	26,7
3,5	18,5	27,0	20,2	27,2	20,2	29,2	22,2	30,2	23,7	30,7
4,0	19,0	31,0	21,7	31,2	22,2	32,7	23,2	33,7	25,2	34,7
4,5	19,0	35,0	23,2	34,7	24,7	36,7	24,2	37,7	26,2	38,7
5,0	19,0	38,0	24,2	37,7	26,7	38,2	26,7	38,7	27,2	39,2

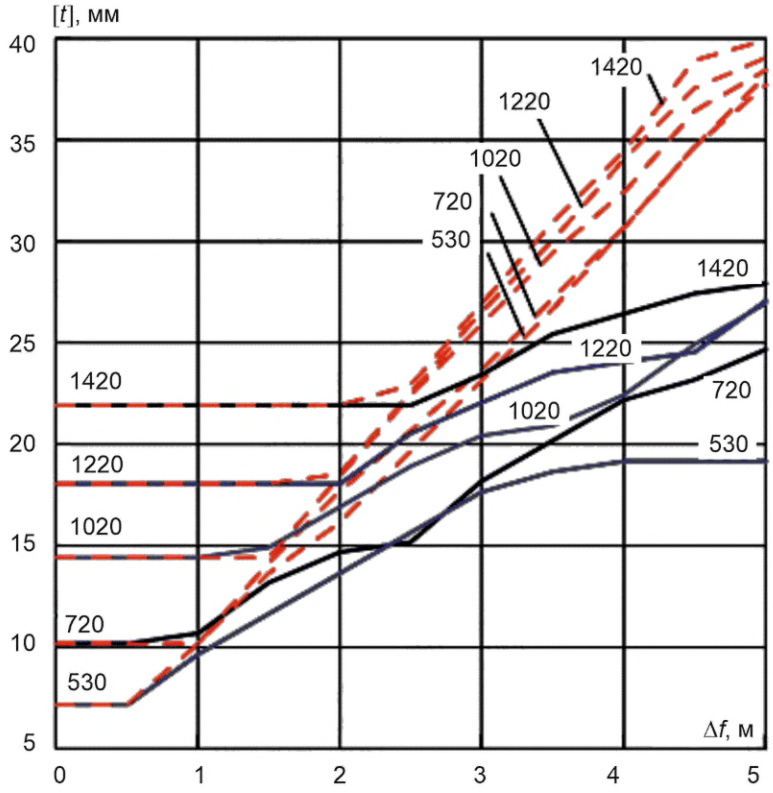


Рисунок В.62 — Сброс, глина, К70, p = 9,8 МПа

Таблица В.67 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, глина, К70, p = 9,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	7,146	7,146	10,18	10,18	14,42	14,42	18,05	18,05	21,93	21,93
0,5	7,146	7,146	10,18	10,18	14,42	14,42	18,05	18,05	21,93	21,93
1,0	9,646	10,15	10,68	10,18	14,42	14,42	18,05	18,05	21,93	21,93
1,5	11,65	13,65	13,18	14,18	14,92	14,42	18,05	18,05	21,93	21,93
2,0	13,65	16,15	14,68	17,68	16,92	18,42	18,05	18,55	21,93	21,93
2,5	15,65	19,65	15,18	20,68	18,92	22,42	20,55	22,55	21,93	22,93
3,0	17,65	23,15	18,18	23,68	20,42	25,92	22,05	26,55	23,43	26,93
3,5	18,65	26,65	20,18	27,18	20,92	29,42	23,55	30,05	25,43	30,93
4,0	19,15	30,65	22,18	30,68	22,42	32,42	24,05	34,05	26,43	34,43
4,5	19,15	34,65	23,18	34,68	24,92	36,42	24,55	37,55	27,43	38,93
5,0	19,15	38,15	24,68	37,68	26,92	38,42	27,05	39,05	27,93	39,93

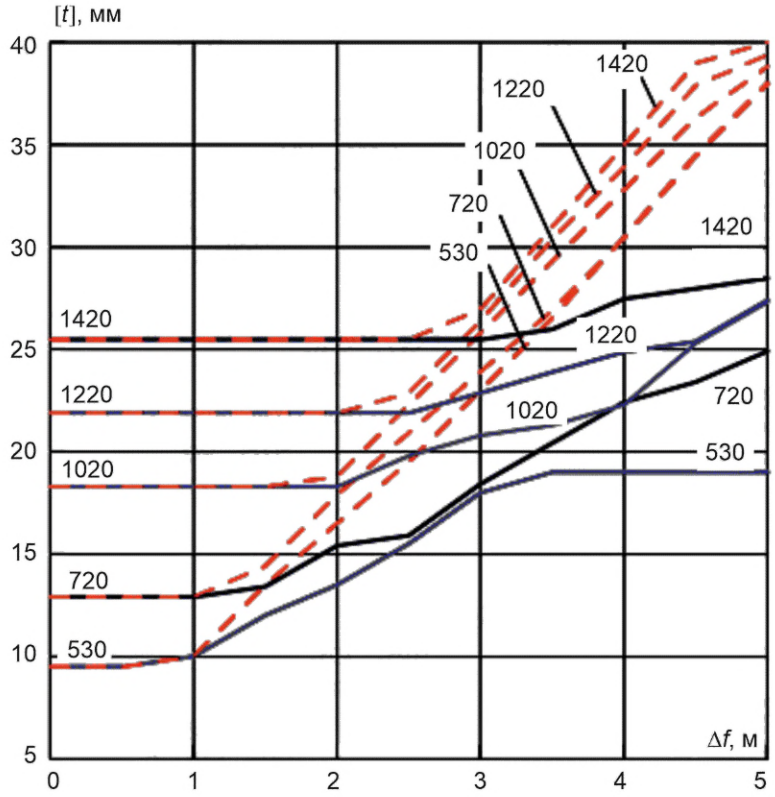


Рисунок В.63 — Сброс, глина, К70, p = 11,8 МПа

Таблица В.68 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, глина, К70, p = 11,8 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	9,511	9,511	12,92	12,92	18,3	18,3	21,89	21,89	25,48	25,48
0,5	9,511	9,511	12,92	12,92	18,3	18,3	21,89	21,89	25,48	25,48
1,0	10,01	10,01	12,92	12,92	18,3	18,3	21,89	21,89	25,48	25,48
1,5	12,01	13,51	13,42	14,42	18,3	18,3	21,89	21,89	25,48	25,48
2,0	13,51	16,51	15,42	17,92	18,3	18,8	21,89	21,89	25,48	25,48
2,5	15,51	19,51	15,92	20,92	19,8	22,3	21,89	22,89	25,48	25,48
3,0	18,01	23,01	18,42	23,92	20,8	25,8	22,89	26,39	25,48	26,98
3,5	19,01	26,51	20,42	26,92	21,3	29,3	23,89	30,39	25,98	30,98
4,0	19,01	30,51	22,42	30,42	22,3	32,8	24,89	33,89	27,48	34,98
4,5	19,01	34,51	23,42	34,42	25,3	36,3	25,39	37,89	27,98	38,98
5,0	19,01	38,01	24,92	37,92	27,3	38,8	27,39	39,39	28,48	40,00

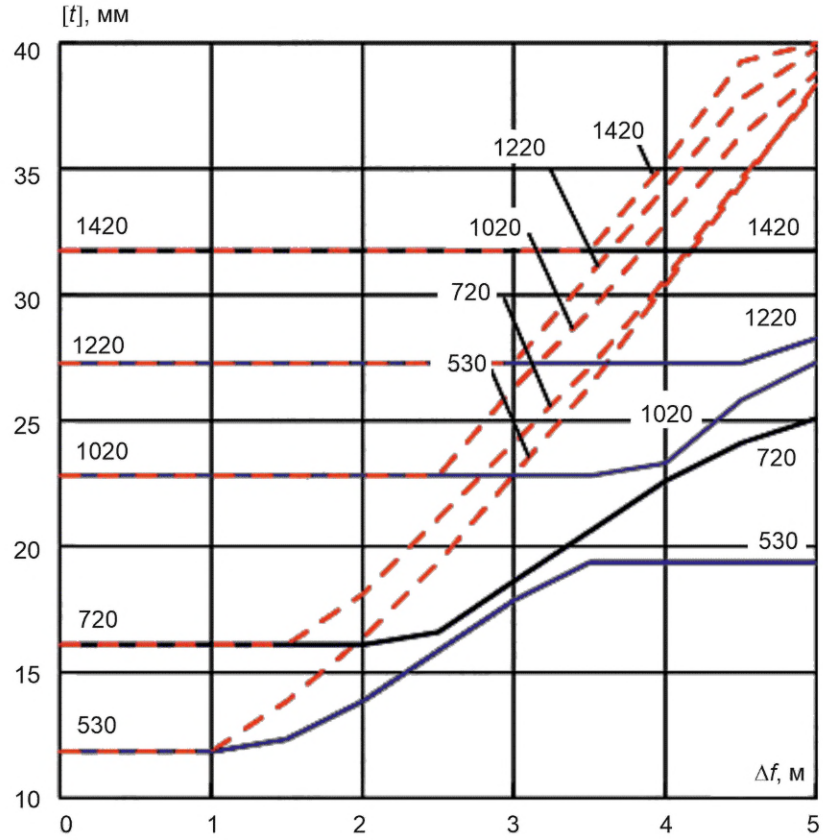


Рисунок В.64 — Сброс, глина, К70, p = 14,7 МПа

Таблица В.69 — Минимальная допустимая толщина стенки для расчетного случая «сброс, глина, К70, p = 14,7 МПа»

Смещение АТР	Наружный диаметр, мм									
	530		720		1020		1220		1420	
	Угол пересечения, град									
	90	60	90	60	90	60	90	60	90	60
0,0	11,85	11,85	16,1	16,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
0,5	11,85	11,85	16,1	16,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
1,0	11,85	11,85	16,1	16,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
1,5	12,35	13,85	16,1	16,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
2,0	13,85	16,35	16,1	18,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
2,5	15,85	19,35	16,6	21,1	22,8	22,8	27,27	27,27	31,75	31,75
3,0	17,85	22,85	18,6	24,1	22,8	26,3	27,27	27,27	31,75	31,75
3,5	19,35	26,35	20,6	27,1	22,8	29,3	27,27	30,77	31,75	31,75
4,0	19,35	30,35	22,6	30,6	23,3	32,8	27,27	34,27	31,75	35,25
4,5	19,35	34,35	24,1	34,6	25,8	36,3	27,27	37,77	31,75	39,25
5,0	19,35	38,35	25,1	38,1	27,3	38,8	28,27	39,77	31,75	40,00

Приложение Г
(справочное)

Примеры расчета

Г.1 Расчет участка газопровода на пересечении активного тектонического разлома типа сброс

Г.1.1 Исходные данные

Задан подземный прямолинейный участок газопровода, пересекающий АТР типа «сброс» под прямым углом. Глубина заложения газопровода от поверхности грунта до верхней образующей трубы составляет 0,8 м. Категория участка газопровода в соответствии с 7.1 — I. Радиус упругого изгиба $\rho = 10^4 D$, см. Максимальная расчетная амплитуда смещения АТР — 3.0 м. Расчетная сейсмичность площадки — 8 баллов.

Численные значения параметров газопровода приведены в таблице Г.1.

Таблица Г.1 — Расчетные параметры газопровода

Рабочее давление $P_{раб}$, МПа	Наружный диаметр D, мм	Температурный перепад ΔT, °С	Класс прочности труб	Условный предел текучести, МПа	Нормативный предел прочности $R_1^н$, МПа	Равномерное удлинение δ_p, не менее, %
9,8	1420	40	К60	480	590	8

Окружающий грунт газопровода — тяжелые глины. Характеристики грунта приведены в таблице Г.2.

Таблица Г.2 — Механические характеристики грунта

Плотность, кг/м^3	Модуль деформации E, МПа	Коэффициент Пуассона	Удельное сцепление c, МПа	Угол внутреннего трения φ, град
2000	35,0	0,3	0,042	24

Г.1.2 Вычисление толщины стенки

Расчетную толщину стенки труб t определяют по формуле

$$t = \frac{n \cdot P_{раб} \cdot D}{2 \cdot (R_1 + n \cdot p)}, \quad (Г.1)$$

где n — коэффициент надежности по нагрузке (по внутреннему рабочему давлению в трубопроводе), равный 1,1;

D — наружный диаметр трубы, мм;

$P_{раб}$ — рабочее давление, МПа;

R_1 — расчетное сопротивление растяжению (сжатию) материала труб по пределу прочности, вычисляемое по формуле

$$R_1 = \frac{R_1^н m}{k_1 k_н}, \quad (Г.2)$$

где $R_1^н$ — нормативный предел прочности материала труб, равный 590 МПа (см. таблицу Г.1);

m — коэффициент условий работы трубопровода. Для участка трубопровода категории I m = 0,825;

k_1 — коэффициент надежности по материалу, равный 1,34;

$k_н$ — коэффициент надежности по ответственности трубопровода, равный 1,265.

Расчетное сопротивление растяжению (сжатию) материала труб по пределу прочности по формуле (Г.2) составляет R_1 = 287,15 МПа.

Расчетная толщина стенки по формуле (Г.1) составляет t = 25,7 мм.

Г.1.3 Проверка прочности при сейсмических воздействиях

Для проверки прочности трубопровода по продольным напряжениям вычисляют максимальные (фибровые) суммарные продольные напряжения $\sigma^{н}_{пр}$, МПа, в трубопроводе от нормативных нагрузок и воздействий и дополнительных напряжений от действия сейсмических сил

$$\sigma^{н}_{пр} = \mu \cdot \sigma^{н}_{кц} - \alpha E \Delta T \pm \frac{ED}{2\rho} + \sigma^{с}_{прN}, \quad (Г.3)$$

где μ — переменный коэффициент поперечной деформации стали;

$\sigma^{н}_{кц}$ — кольцевые напряжения от нормативного (рабочего) давления, МПа, определяемые по формуле

$$\sigma^{н}_{кц} = \frac{P_{раб} \cdot D_{вн}}{2 \cdot t}, \quad (Г.4)$$

где $D_{вн}$ — внутренний диаметр трубопровода $D_{вн} = D - 2t$;

α — коэффициент линейного расширения металла трубы, град$^{-1}$;

E — переменный параметр упругости, МПа;

ΔT — расчетный температурный перепад, принимаемый положительным при нагревании, °С;

ρ — минимальный радиус упругого изгиба оси газопровода, см;

$\sigma^{с}_{прN}$ — дополнительные продольные осевые напряжения от действия сейсмических сил, направленных вдоль продольной оси трубопровода, МПа.

Кольцевые напряжения, вычисленные по формуле (Г.4), составляют $\sigma^{н}_{кц}$ = 259,9 МПа.

Дополнительные продольные напряжения от прохождения сейсмических волн, вычисленные в соответствии с положениями нормативного документа, принятого для проектирования МГ, составляют $\sigma^{с}_{прN}$ = ± 11,25 МПа.

В формуле (Г.3) сумма второго $\alpha E \Delta T$ и третьего $ED/2\rho$ слагаемых с учетом знаков дают значения минус 109,18 МПа и минус 88,58 МПа.

В результате расчета по формуле (Г.3) с учетом дополнительных сжимающих сейсмических напряжений $\sigma^{с}_{прN}$ = –11,25 МПа получено значение максимальных продольных сжимающих напряжений $\sigma^{н-}_{пр}$ = –42,5 МПа и максимальных продольных растягивающих напряжений $\sigma^{н+}_{пр}$ = 0,63 МПа.

Проверку на прочность в продольном направлении проводят по условию

$$\left|\sigma^{н}_{пр}\right| \le \psi_1 \frac{m}{0,9 \cdot k_н} R^{н}_2, \quad (Г.5)$$

где ψ_1 — коэффициент, учитывающий двухосное напряженное состояние металла труб, при растягивающих осевых продольных напряжениях $\sigma_{прN} \ge 0$, принимаемый равный единице, при сжимающих осевых продольных напряжениях $\sigma_{прN} < 0$, определяемый по формуле

$$\psi_1 = \sqrt{1 - 0,75 \left(\frac{\sigma^{н}_{кц}}{\frac{m}{0,9 \cdot k_i} R^{н}_2} \right)^2} - 0,5 \frac{\sigma^{н}_{кц}}{\frac{m}{0,9 \cdot k_н} R^{н}_2}, \quad (Г.6)$$

где $R^{н}_2$ — нормативный предел текучести материала труб, равный 480 МПа (см. таблицу Г.1);

$\sigma^{н}_{кц}$ — кольцевые напряжения от нормативного (рабочего) внутреннего давления, МПа, определяемые по формуле (Г.4).

Проверка прочности по формуле (Г.5) выполнена:

- для максимальных продольных сжимающих напряжений 42,5 < 135,3 МПа;
- для максимальных продольных растягивающих напряжений 0,63 < 347,8 МПа.

Проверку на прочность по кольцевым напряжениям от рабочего давления $\sigma^{н}_{кц}$, МПа, проводят по формуле

$$\sigma^{н}_{кц} \le \frac{m}{0,9 \cdot k_н} R^{н}_2. \quad (Г.7)$$

Проверка условия (Г.7) выполнена: 259,9 , 347,8.

Таким образом, расчетная толщина стенки t = 25,7 мм обеспечивает выполнение условий прочности с учетом действия дополнительных сейсмических нагрузок в соответствии с принятым нормативным документом на проектирование МГ.

Г.1.4 Исходные данные для расчета на смещение грунта в активном тектоническом разломе

Для проведения расчета на воздействие грунта в АТР следует определить параметры «грунтовых пружин».

Параметры диаграмм взаимодействия с грунтом, вычисленные с использованием зависимостей (см. приложение Б), приведены в таблице Г.3.

Таблица Г.3 — Значения параметров диаграмм деформирования грунта

Направление	Предельное сопротивление грунта Q_u, кН/м	Предельное перемещение q_u, мм
Вертикальное вверх	151,7	151,0
Вертикальное вниз	1689,0	284,0
Поперечное	466,1	88,8
Осевое	209,4	8,0

Г.1.5 Результаты расчета максимальных прогнозных деформаций при воздействии активного тектонического разлома

Расчет выполнен для участка длиной L = 1000 м. Расчетный участок представлен совокупностью 1000 конечных элементов, реализованных на основе теории балок с учетом осевых, изгибных, сдвиговых и крутильных деформаций, а также больших перемещений, деформаций и физической нелинейности. Взаимодействие трубопровода с грунтом задано элементами нелинейных пружин, ориентированными в трех ортогональных направлениях. Полное перемещение АТР разделено на 20 приращений, приложенных последовательно за 20 шагов нагружения. На каждом шаге нагружения использованы контроль сходимости решения и автоматическое деление шага на меньшие приращения.

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния трубопровода при максимальной величине перемещения АТР 3 м показаны на рисунках Г.1—Г.5. На рисунках Г.2, Г.3 область вывода результатов ограничена длиной 100 м с центром в точке пересечения АТР.

Эквивалентные деформации по Мизесу, приведенные на рисунке Г.1, вычисляют по формуле

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3}\left[\left(\varepsilon_{11}-\varepsilon_{22}\right)^2+\left(\varepsilon_{22}-\varepsilon_{33}\right)^2+\left(\varepsilon_{33}-\varepsilon_{11}\right)^2+6\left(\varepsilon_{12}^2+\varepsilon_{13}^2+\varepsilon_{23}^2\right)\right]^{1/2}, \quad (Г.8)$$

где ε_{11}, ε_{22}, ε_{33} — линейные деформации;

ε_{12}, ε_{13}, ε_{23} — деформации сдвига.

Анализ эпюр на рисунках Г.2—Г.4 позволяет сделать следующие основные выводы:

а) для рассмотренной кинематики АТР (сброс — подвижная сторона разлома опускается вниз) наибольшие деформации возникают в трубопроводе на неподвижной стороне разлома в пределах 5 м от точки пересечения с плоскостью АТР;

б) максимальные продольные деформации растяжения возникают на верхней образующей трубопровода. Максимальные продольные деформации сжатия возникают на нижней образующей трубопровода;

в) изгибные деформации на подвижной стороне разлома распределены на протяженном участке трубопровода, в то время как изгибные деформации на неподвижной стороне сосредоточены в пределах сравнительно короткого участка. Это объясняется различным сопротивлением грунтовой среды при перемещении трубы вверх и вниз;

г) осевые растягивающие деформации занимают участок протяженностью более 300 м с концентрацией вблизи точки пересечения АТР. Затухание осевых деформаций при удалении от плоскости АТР близко к линейному и связано с действием распределенных сил контактного трения трубы о грунт.

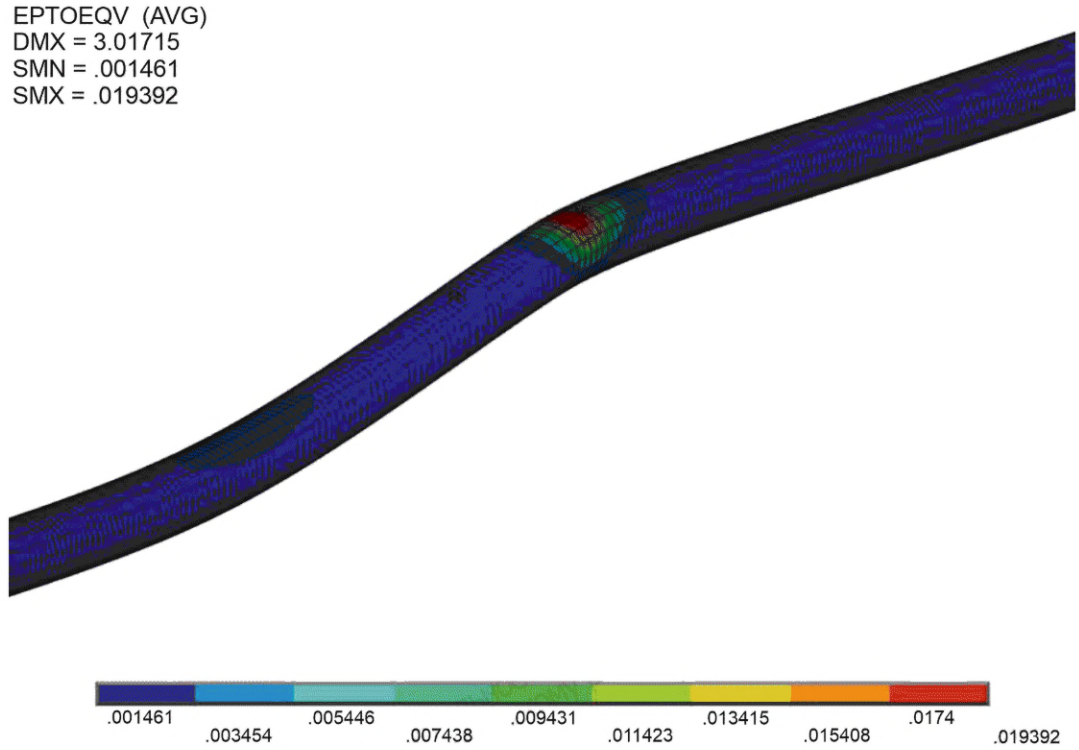


Рисунок Г.1 — Эквивалентные деформации по Мизесу в окрестности точки пересечения АТР

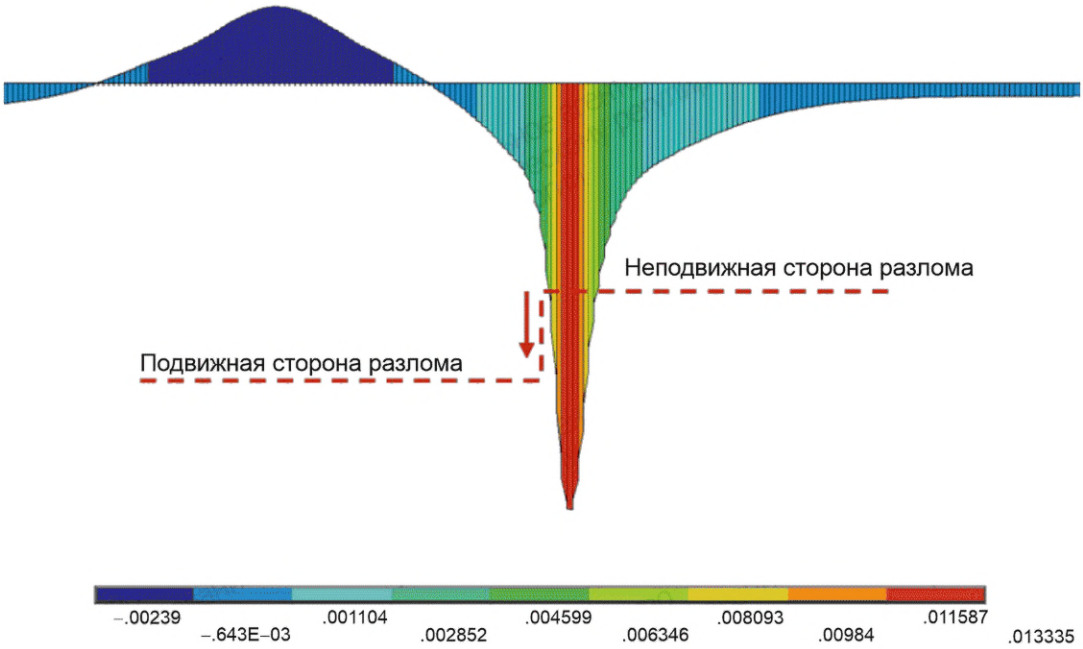


Рисунок Г.2 — Распределение полных продольных деформаций вдоль верхней образующей трубопровода

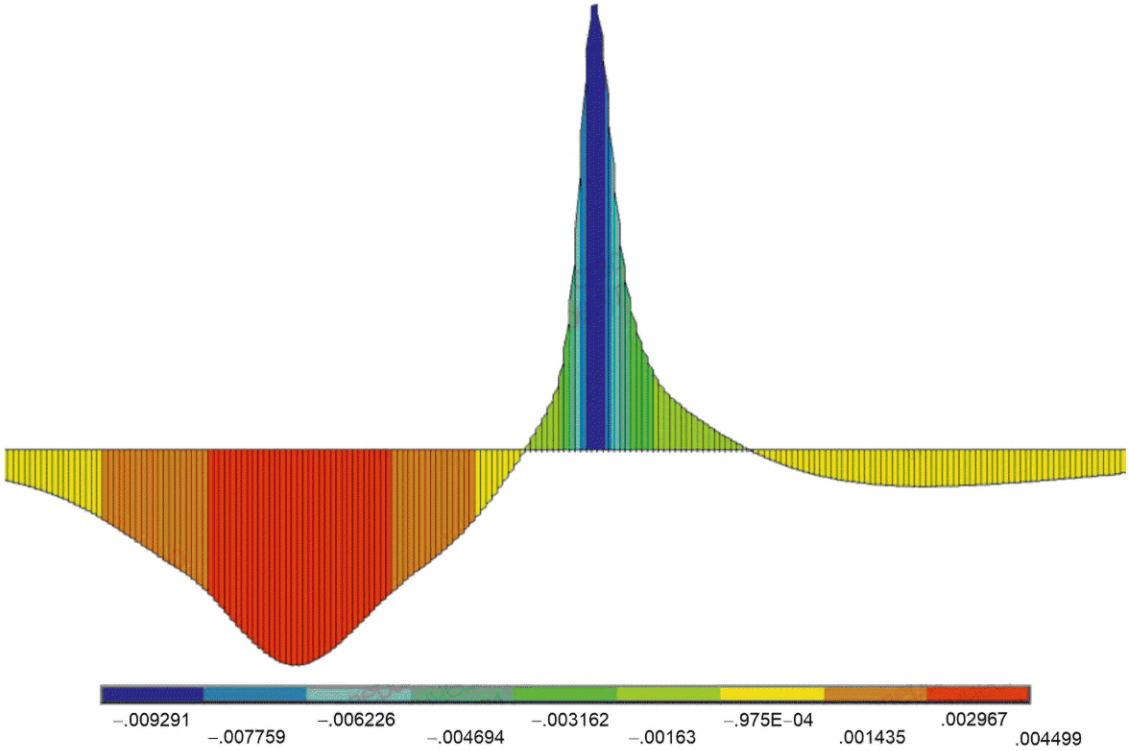


Рисунок Г.3 — Распределение полных продольных деформаций вдоль нижней образующей трубопровода

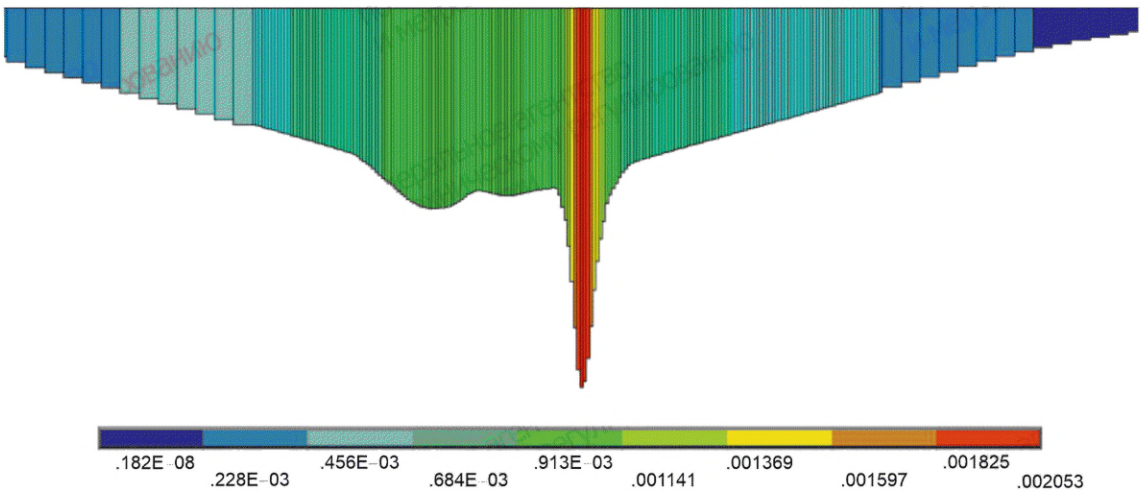


Рисунок Г.4 — Распределение продольных осевых деформаций на участке протяженностью 200 м

Г.1.6 Проверка критериев сейсмостойкого проектирования

В результате проведенного расчета получены следующие значения максимальных деформаций:

- максимальная фибровая деформация растяжения: $\varepsilon^{+} = 1{,}33$ %;
- максимальная фибровая деформация сжатия: $\varepsilon^{-} = -0{,}93$ %;
- максимальная осевая деформация растяжения: $\varepsilon^{+}_{пр} = 0{,}21$ %;
- максимальные осевая деформация сжатия: $\varepsilon^{-}_{пр}$ отсутствует.

Все максимальные значения соответствуют точке, находящейся на расстоянии 2,75 м от плоскости сдвижения грунта с неподвижной стороны разлома.

1 Критерий местного смятия

Для проверки критерия местного смятия предварительно вычисляют деформацию $\varepsilon_{M_{max}}$ по формуле (12.2)

$$\varepsilon_{M_{max}} = 0,5\frac{t}{D} = 0,90\ \%. \quad (Г.9)$$

Проверку критерия проводят по формуле (12.1):

$$0,93\ \% > 0,9 \cdot \varepsilon_{M_{max}} = 0,82\ \% \text{ (критерий не выполняется).} \quad (Г.10)$$

2 Критерий гофрообразования

В соответствии с 12.4 $\varepsilon_{гофр}$ = 0,9 %. Поскольку осевая деформация сжатия по результатам расчета отсутствует, то критерий выполнен.

3 Критерий трещинообразования

В соответствии с критерием по формуле (12.5) максимальная продольная деформация растяжения в сечении газопровода $\varepsilon^{+}_{пр}$ не должна превышать допустимой деформации растяжения $[\varepsilon^{+}_{пр}]$, равной 2 %. В соответствии с проведенным расчетом ε^{+} = 1,33 %. Таким образом, при дополнительном соблюдении условия (12.4) относительно пределов текучести основного металла и материала сварного шва критерий выполнен.

Г.1.7 Увеличение толщины стенки

Для выполнения критерия местной потери устойчивости толщина стенки увеличена на 2 мм до t_1 = 27,7 мм. Максимальная фибровая деформация сжатия составила: ε^{-} = 0,85 % (см. рисунок Г.5).

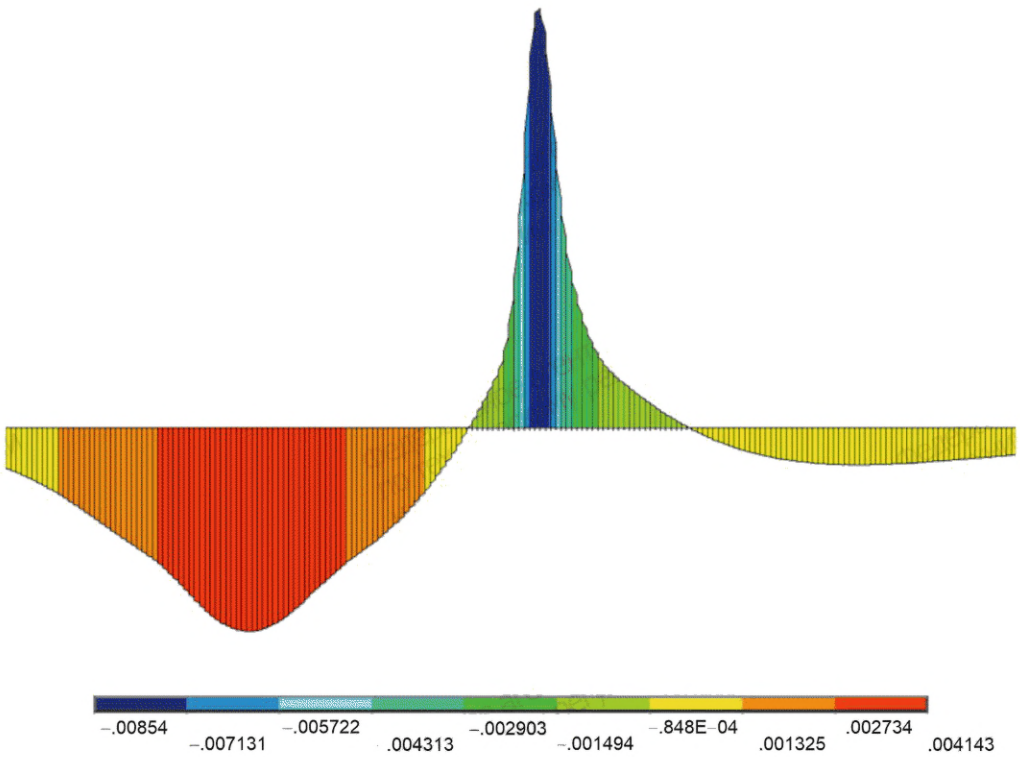


Рисунок Г.5 — Распределение полных продольных деформаций вдоль нижней образующей трубопровода для скорректированной толщины стенки

В соответствии с формулой (12.2)

$$\varepsilon_{M_{max}} = 0,5\frac{t}{D} = 0,98\ \%. \quad (Г.11)$$

Проверку критерия проводят по формуле (12.1)

$$0{,}85\ \% \le 0{,}9 \cdot \varepsilon_{M\max} = 0{,}88\ \%. \qquad (Г.12)$$

Критерий выполняется.

Г.1.8 Выводы по примеру

Исходная толщина стенки, вычисленная с учетом действия функциональных и сейсмических нагрузок, не обеспечивала выполнение критерия местной потери устойчивости при реализации воздействия АТР типа «сброс» с прогнозной амплитудой 3 м.

Для выполнения всех критериев толщину стенки следует увеличить на 2 мм.

Г.2 Упрощенный расчет участка газопровода на пересечении активного тектонического разлома типа сдвиг

Г.2.1 Исходные данные

Исходные данные по участку трубопровода приведены в таблице Г.4.

Таблица Г.4 — Расчетные параметры газопровода

Рабочее давление, $P_{раб}$, МПа	Наружный диаметр, D, мм	Температурный перепад ΔT, °С	Класс прочности труб	Глубина заложения (до верхней образующей трубы), м	Тип грунта
9,8	720	40	К60	0,8	Глина

Прогнозное смещение АТР задано компонентами смещения в таблице Г.5.

Таблица Г.5 — Компоненты смещения активного тектонического разлома

Поперечная горизонтальная Δf_x, м	Поперечная вертикальная Δf_y, м	Продольная Δf_z, м
2,8	0	1,0

Г.2.2 Определение толщины стенки труб

Угол пересечения АТР β и амплитуду смещения Δf определяют по формулам (11.12) и (11.13)

$$\beta = \text{arctg}(\Delta f_x/\Delta f_z) = 70°, \qquad (Г.13)$$

$$\Delta f = \Delta f_x/\sin\beta = 2{,}97\ \text{м}. \qquad (Г.14)$$

В соответствии с данными таблицы Г.4 и таблицы В.5 толщину стенки определяют по рисунку В.22 по данным таблицы В.27.

С учетом вычисленного значения угла β толщину стенки $[t]_{\beta,\Delta f}$ определяют интерполяцией между значениями толщин стенки $[t]_{75,\,\Delta f}$ и $[t]_{60,\,\Delta f}$ для значения смещения АТР $\Delta f = 2{,}97$ м.

Значения толщин стенки $[t]_{75,\,\Delta f}$ и $[t]_{60;\,\Delta f}$ для заданного смещения $\Delta f = 2{,}97$ м определяют интерполяцией значений толщины стенки для смещений $\Delta f = 2{,}5$ м и $\Delta f = 3{,}0$ м

$$[t]_{75;2,97} = [t]_{75;2,5} + (2{,}97 - 2{,}5)([t]_{75;3,0} - [t]_{75;2,5})/(3{,}0 - 2{,}5) = 16{,}78\ \text{мм}; \qquad (Г.15)$$

$$[t]_{60;2,97} = [t]_{60;2,5} + (2{,}97 - 2{,}5)([t]_{60;3,0} - [t]_{60;2,5})/(3{,}0 - 2{,}5) = 28{,}16\ \text{мм}. \qquad (Г.16)$$

Значения толщины $[t]_{75;2,5}$, $[t]_{75;3,0}$, $[t]_{60;2,5}$, $[t]_{60;3,0}$ приведены в таблице В.19.

Интерполяцию толщины стенки при пересечении АТР под углом $60° \le \beta \le 75°$ определяют по формуле

$$[t]_{\beta;\Delta f} = [t]_{75;\Delta f} - (75 - \beta)([t]_{75;\Delta f} - [t]_{60;\Delta f})/(75 - 60). \qquad (Г.17)$$

Соответственно для $\beta = 70°$, $\Delta f = 2{,}97$ м толщина стенки составляет

$$[t]_{70;2,97} = 16{,}78 - (75 - 70)(16{,}78 - 28{,}16)/(75 - 60) = 20{,}57\ \text{мм}. \qquad (Г.18)$$

С учетом округления для приведенных данных толщина стенки, определенная по условию выполнения критериев прочности при пересечении АТР, составляет 21,0 мм.

Следует отметить, что полный нелинейный расчет МКЭ в соответствии с методикой по подразделу 13.1 дает допустимое значение толщины стенки [t], равное 20,43 мм.

Учитывая, что стенка, рассчитанная по функциональным нагрузкам, составляет 12 мм, такое существенное увеличение толщины может быть не оптимальным решением. В качестве альтернативного компенсирующего мероприятия рассмотрена замена глинистого грунта на песчаный грунт. В этом случае интерполяцию определяют с использованием рисунка В.6 и данных таблицы В.11 между значениями толщины стенки для смещения АТР Δf = 2,97 м под углом 90° и под углом 60°

$$[t]_{90;2,97} = [t]_{90;2,5} + (2,97 - 2,5)([t]_{90;3,0} - [t]_{90;2,5})/(3,0 - 2,5) = 18,93 \text{ мм}; \quad (Г.19)$$

$$[t]_{60;2,97} = [t]_{60;2,5} + (2,97 - 2,5)([t]_{60;3,0} - [t]_{60;2,5})/(3,0 - 2,5) = 11,93 \text{ мм}; \quad (Г.20)$$

Линейная интерполяция при пересечении под углом 60° ≤ β ≤ 90° имеет вид

$$[t]_{\beta;\Delta f} = [t]_{60;\Delta f} + (\beta - 60)([t]_{90;\Delta f} - [t]_{60;\Delta f})/(90 - 60). \quad (Г.21)$$

Для β = 70°, Δf = 2,97 м искомая толщина стенки составляет

$$[t]_{70;2,97} = 11,93 + (70 - 60)\ (18,93 - 11,93)/(90 - 60) = 14,26 \text{ мм}. \quad (Г.22)$$

Таким образом, применение данного компенсирующего мероприятия существенно уменьшает минимально допустимую толщину стенки трубы.

Следует отметить, что полный расчет МКЭ в соответствии с методикой по подразделу 13.1 устанавливает для данного случая допустимое значение толщины стенки [t] = 11,93 мм. Таким образом, упрощенный расчет дает консервативные результаты.

Г.3 Упрощенный расчет участка газопровода на пересечении активного тектонического разлома комбинированного типа

Г.3.1 Исходные данные

Исходные данные по участку трубопровода приведены в таблице Г.6.

Таблица Г.6 — Расчетные параметры газопровода

Рабочее давление $P_{раб}$, МПа	Диаметр наружный D, мм	Температурный перепад ΔT, °С	Класс прочности труб	Глубина заложения (до верхней образующей трубы), м	Тип грунта
9,8	1420	40	К65	0,8	Глина

Прогнозное смещение АТР задано компонентами смещения, приведенными в таблице Г.7.

Таблица Г.7 — Компоненты смещения активного тектонического разлома

Поперечная горизонтальная Δf_x, м	Поперечная вертикальная Δf_y, м	Продольная Δf_z, м
2,0	–3,0	1,0

Г.3.2 Определение толщины стенки труб

В соответствии с В.1.5 следует рассмотреть независимое действие сдвига и сброса с учетом компоненты растяжения.

Параметры сдвига определяют по формулам (11.12) и (11.13)

$$\beta = \text{arctg}(\Delta f_x/\Delta f_z) = 63°, \quad (Г.23)$$

$$\Delta f = \Delta f_x/\sin\beta = 2,24 \text{ м}. \quad (Г.24)$$

Параметры сброса определяют по формулам (11.15) и (11.16) при условии β = 90°

$$\beta_c = \text{arctg}(\Delta f_y/\Delta f_z) = 72°, \quad (Г.25)$$

$$\Delta f = -\Delta f_y/\sin\beta_c = 3{,}16 \text{ м}. \quad (Г.26)$$

Для определения толщин стенки при сдвиге и сбросе согласно с данными таблицы В.5 используют рисунки В.26 и В.58 (и данные таблицы В.31 и В.63 соответственно).

В соответствии с данными таблицы В.23 толщина стенки составляет $[t]_{сд} = 23{,}75$ мм. Интерполяция в данном случае не требуется, поскольку при $\Delta f = 2{,}24$ м допускаемая толщина стенки равна начальной толщине в рассматриваемом диапазоне углов β.

В соответствии с данными таблицы В.63 для определения толщины стенки $[t]_{сб}$ используют интерполяцию. Значения толщины стенки $[t]_{90;3,16}$ и $[t]_{60;3,16}$ для смещения $\Delta f = 3{,}16$ м определяют по формулам

$$[t]_{90;3,16} = [t]_{90;3,0} + (3{,}16 - 3{,}0)([t]_{90;3,5} - [t]_{90;3,0})/(3{,}5 - 3{,}0) = 25{,}73 \text{ мм}, \quad (Г.27)$$

$$[t]_{60;3,16} = [t]_{60;3,0} + (3{,}16 - 3{,}0)([t]_{60;3,5} - [t]_{60;3,0})/(3{,}5 - 3{,}0) = 31{,}69 \text{ мм}. \quad (Г.28)$$

Толщину стенки $[t]_{\beta c;\Delta f}$ при пересечении под углом $60° \le \beta_c \le 90°$ находят из соотношения

$$[t]_{\beta c;\Delta f} = [t]_{60;\Delta f} + (\beta - 60)([t]_{90;\Delta f} - [t]_{60;\Delta f})/(90 - 60). \quad (Г.29)$$

Для $\beta_c = 72°$, $\Delta f = 3{,}16$ м искомая толщина стенки составляет

$$[t]_{72;3,16} = 31{,}69 + (72 - 60)(25{,}73 - 31{,}69)/(90 - 60) = 29{,}31 \text{ мм}. \quad (Г.30)$$

Таким образом, $[t]_{сб} = 29{,}31$. В соответствии с В.1.5 минимально допустимая толщина стенки составляет $[t] = \max([t]_{сд}, [t]_{сб}) = 29{,}31$ мм.

Полный расчет МКЭ в соответствии с методикой по подразделу 13.1 дает значение толщины стенки $[t] = 26{,}75$ мм. Различие обусловлено применением в упрощенном расчете линейной интерполяции данных таблицы В.63, а также раздельным анализом сдвиговой и сбросовой составляющих. Следует отметить, что при выполнении приближенной процедуры получают консервативную оценку толщины стенки.

УДК 622.692.4.07:550.34.006.354 ОКС 75.2000

Ключевые слова: нормы проектирования, магистральный газопровод, зона высокой сейсмической активности, активный тектонический разлом, расчет, прочность, сейсмостойкость

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 30.03.2026. Подписано в печать 16.04.2026. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 11,63. Уч.-изд. л. 10,52.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru