

**Еврокод 1:
Воздействия на сооружения -
Часть 4: Силосы, бункеры и резервуары
(1-я редакция)**

Издание официальное

Москва 2011

НАЦИОНАЛЬНОЕ ПРЕДИСЛОВИЕ

ПОДГОТОВЛЕН ОАО «НИЦ «Строительство» - Центральным научно-исследовательским институтом строительных конструкций им. В.А. Кучеренко.

ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК.465. «Строительство».

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ

ЗАРЕГИСТРИРОВАН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)

ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ.

Настоящий стандарт идентичен европейскому (IDT) стандарту EN 1991-4:2006 Eurocode 1: Actions on structures - Part 4: Silos and tanks.

Настоящий Национальный стандарт Российской Федерации является официальной российской редакцией EN 1991-4:2006. Перевод с английского языка (en).

Официальные экземпляры европейского стандарта, на основе которого подготовлен настоящий национальный стандарт, и стандартов, на которые даны ссылки, имеются в Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии.

Неотъемлемой частью настоящего стандарта является его Национальное приложение.

В соответствии с принципами Европейского комитета по стандартизации (CEN) национальные Стандарты, реализующие Еврокоды, должны содержать полный текст Еврокода (включая все приложения), опубликованный CEN, перед которым может находиться Национальный титульный лист и Национальное введение, а за которым может следовать Национальное приложение.

Национальное Приложение может содержать информацию только о тех параметрах, которые в Еврокоде оставлены открытыми для национального выбора и именуются Национально определяемыми параметрами, предназначенными для проектирования зданий и инженерных сооружений в данной стране.

Ссылки на параметры, измененные в национальном приложении, даны в тексте Еврокода (включая его приложения). Например,

"Таблица А1.1. Рекомендуемые значения коэффициентов ψ для зданий. Примечание: Значения коэффициентов ψ могут быть установлены в Национальном приложении (см. НП Таблица А1.1)".

В разделе «Нормативные ссылки» и тексте Национального стандарта ссылочные Европейские стандарты актуализированы.

Сведения о соответствии европейских стандартов, на которые даны ссылки, государственным стандартам, принятым в качестве идентичных государственных стандартов, приведены в дополнительном приложении НП С.

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.

ЕВРОПЕЙСКИЙ СТАНДАРТ
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPEENNE
EUROPAISCHE NORM

EN 1991-1-4

Май 2006

ICS 91.010.30

Взамен ENV 1991-4:1995

Русская редакция

Еврокод 1: Воздействия на сооружения - Часть 4: Силосы, бункеры и резервуары

Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 4:
Silos et réservoirs

Eurocode 1 - Grundlagen der Tragwerksplanung
und Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 4: Silos und
Flüssigkeitsbehälter

Настоящий Европейский Стандарт утвержден CEN 12 октября 2005.

Члены CEN обязаны соблюдать Внутренний Регламент CEN/CENELEC, в котором оговариваются условия для придания Европейскому Стандарту безальтернативного статуса национального стандарта. Соответствующие перечни и библиографические ссылки, касающиеся национальных стандартов, можно получить по заявке в Административный Центр или к любому члену CEN.

Настоящий Европейский Стандарт представлен в трех официальных версиях (английской, французской и немецкой). Версия на любом другом языке, которая создается путем перевода на язык своей страны под ответственность члена CEN и регистрируется в Административном Центре, имеет тот же статус, что и официальные версии.

Членами CEN являются национальные органы по стандартизации Австрии, Бельгии, Кипра, Чешской Республики, Дании, Эстонии, Финляндии, Франции, Германии, Греции, Венгрии, Исландии, Ирландии, Италии, Латвии, Литвы, Люксембурга, Мальты, Нидерландов, Норвегии, Польши, Португалии, Румынии, Словакии, Словении, Испании, Швеции, Швейцарии и Соединенного Королевства.



ЕВРОПЕЙСКИЙ КОМИТЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

Административный Центр: rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels

© 2006 CEN. Все права на использование в любой форме и любыми средствами во всем мире сохраняются за национальными Членами CEN. Ref. No. EN 1991-4: 2006: E

Содержание

Введение	4
Предпосылки создания программы Еврокодов	4
Статус и область применения Еврокодов	5
Национальные Стандарты, реализующие Еврокоды	6
Связь между Еврокодами и гармонизированными техническими условиями (ENs и ETAs) на изделия	6
Дополнительные сведения о EN 1991-4	6
Национальное приложение к EN1991-4	6
1 Общие положения	8
1.1 Область применения	8
1.2 Нормативные ссылки	11
1.3 Предпосылки	12
1.4 Различия между принципами и правилами применения	12
1.5 Определения	12
1.6 Обозначения	16
2 Представление и классификация воздействий	22
2.1 Представление воздействий на бункеры	22
2.2 Представление воздействий на резервуары	24
2.3 Классификация воздействий на бункер	24
2.4 Классификация воздействий на резервуары	25
2.5 Классы требований	25
3 Расчетные ситуации	26
3.1 Общие положения	26
3.2 Расчетные ситуации для сыпучих материалов, хранимых в бункерах	27
3.3 Расчетные ситуации для различных геометрических образований бункера	28
3.4 Расчетные ситуации для специальных форм конструкции бункеров	34
3.5 Расчетные ситуации для жидкостей, хранимых в резервуарах	35
3.6 Принципы расчета взрывов	35
4 Сыпучий материал	35
4.1 Общие положения	35
4.2 Характеристики сыпучего материала	37
4.3 Измерение характеристик сыпучего материала в экспериментах	40
5 Нагрузки на вертикальные стенки силосов (бункеров)	43
5.1 Общие положения	43
5.2 Высокие силосы	44
5.3 Низкие бункеры и силосы средней высоты	61
5.4 Бункеры с опорными стенами	67
5.5 Бункеры с вентиляторами	69
5.6 Разность температур между сыпучим материалом и конструкцией бункера	70
5.7 Нагрузки на прямоугольные бункеры	71
6 Нагрузки на воронку и дно силоса (бункера)	72

6.1 Общие положения	72
6.2 Горизонтальные днища бункера	76
6.3 Крутые воронки.....	78
6.4 Плоские воронки.....	80
6.5 Воронки в бункерах с вентилятором	81
7 Нагрузки на резервуары	81
7.1 Общие положения	81
7.2 Нагрузки вследствие хранимых жидкостей	81
7.3 Характеристики жидкостей	82
7.4 Нагрузки струи вследствие недостаточной вентиляции.....	82
Приложения	
Приложение А (справочное) Основы проектирования – положения в дополнение к EN 1990 для силосов, бункеров и резервуаров	83
Приложение В (справочное) Воздействия, частные коэффициенты и комбинации воздействий на резервуары	91
Приложение С (обязательное) Измерение характеристик сыпучего материала для определения нагрузок на силос (бункер)	95
Приложение D (обязательное) Оценка параметров сыпучего материала для определения нагрузок на силос (бункер)	115
Приложение E (обязательное) Параметры свойств сыпучего материала.....	117
Приложение F (справочное) Определение структуры потока	120
Приложение G (обязательное) Альтернативные правила определения нагрузок на воронку.....	121
Приложение H (обязательное) Воздействия вследствие взрывоопасной пыли ..	125
Национальное приложение	35

Введение

Настоящий документ (EN 1991-4:2003) подготовлен Техническим Комитетом CEN/TC250 «Строительные Еврокоды», секретариат которого находится в ведении BSI.

Настоящему Европейскому Стандарту придается статус Национального Стандарта либо посредством опубликования идентичного текста, либо через подтверждение не позднее ноября 2006: противоречащие ему Национальные Стандарты отменяются не позднее марта 2010.

Настоящий документ разработан взамен ENV 1991-4:1995.

Согласно внутренним правилам CEN-CENELEC, обеспечивать выполнение Европейского стандарта должны национальные органы по стандартизации следующих стран: Австрии, Бельгии, Кипра, Чешской Республики, Дании, Эстонии, Финляндии, Франции, Германии, Греции, Венгрии, Исландии, Ирландии, Италии, Латвии, Литвы, Люксембурга, Мальты, Нидерландов, Норвегии, Польши, Португалии, Румынии, Словакии, Словении, Испании, Швеции, Швейцарии и Соединенного Королевства.

Предпосылки создания программы Еврокодов

В 1975 году Комиссия Европейских Сообществ приняла решение о введении в действие программы в области строительства, основанной на статье 95 Соглашения. Целью программы было устранение технических препятствий к торговле и гармонизация технических условий.

В рамках данной программы Комиссия выдвинула инициативу об установлении системы гармонизированных технических правил на проектирование строительных конструкций, которые, на первом этапе, должны были бы служить альтернативой национальным правилам для стран-членов и, в конечном итоге, заменили бы их.

В течение пятнадцати лет Комиссия, посредством Управляющего Комитета из представителей стран-членов, руководила разработкой программы Еврокодов, что привело к формированию первых Еврокодов в 1980-е годы.

С целью предоставления Еврокодам в будущем статуса Европейского Стандарта (EN) в 1989 году Комиссия и страны-члены EU и EFTA на основе соглашения¹ между Комиссией и CEN посредством серии мандатов приняли решение передать CEN подготовку и опубликование Еврокодов. Это *фактически* связывает Еврокоды с положениями Директив Совета и (или) Решениями Комиссии, которые посвящены Европейским стандартам (т.е. с Директивой Совета 89/106/ЕЕС по строительным изделиям – CPD, с Директивами Совета 93/37/ЕЕС, 92/50/ЕЕС и 89/440/ЕЕС по общественным работам и услугам и аналогичными Директивами EFTA, положившими начало стремлению к установлению внутреннего рынка).

Программа Строительных Еврокодов включает следующие стандарты, как правило, состоящие из нескольких частей:

¹ Соглашение между Комиссией Европейских Сообществ и Европейским комитетом по стандартизации (CEN), касающееся разработки Еврокодов для проектирования зданий и инженерных сооружений (BC/CEN/03/89).

EN 1990 Еврокод : Основы строительного проектирования
 EN 1991 Еврокод 1: Воздействия на сооружения
 EN 1992 Еврокод 2: Проектирование бетонных конструкций
 EN 1993 Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций
 EN 1994 Еврокод 4: Проектирование железобетонных конструкций
 EN 1995 Еврокод 5: Проектирование деревянных конструкций
 EN 1996 Еврокод 6: Проектирование каменных конструкций
 EN 1997 Еврокод 7: Геотехническое проектирование
 EN 1998 Еврокод 8: Проектирование сейсмостойких конструкций
 EN 1999 Еврокод 9: Проектирование алюминиевых конструкций

Стандарты Еврокода устанавливают ответственность полномочных органов каждой из стран-членов и гарантируют их право определять значения, относящиеся к регулированию безопасности на национальном уровне, в тех случаях, когда они отличаются для различных стран.

Статус и область применения Еврокодов

Страны-члены EU и EFTA признают Еврокоды в качестве ссылочных документов в следующих целях:

- для достижения соответствия конструкций зданий и инженерных сооружений основным требованиям Директивы Совета 89/106/ЕЕС, в частности, Основному Требованию №1 – Механическая прочность и устойчивость, и Основному Требованию №2 – Безопасность при пожаре;
- как основу для составления контрактов на строительные работы и соответствующие инженерные услуги;
- как базу для разработки гармонизированных технических условий на строительные изделия (EN и ETA).

Поскольку Еврокоды касаются строительных конструкций, они имеют прямое отношение к Интерпретирующим Документам², указанным в статье 12 CPD, хотя они отличны от гармонизированных стандартов на изделия³. Поэтому соответствующим Техническим комитетам CEN и (или) рабочим группам EOTA, разрабатывающим стандарты на изделия, необходимо рассмотреть технические аспекты действия Еврокодов с целью достижения полной совместимости этих технических условий с Еврокодами.

Стандарты Еврокода обеспечивают общие правила строительного проектирования для повседневного применения и предназначены для проектирования самих конструкций и их отдельных элементов как традиционного, так и инновационного характера. Для необычных форм конструкций или проектных решений, которые не относятся

² Согласно Ст. 3.3 CPD, интерпретирующие документы должны конкретизировать основные требования (ERs), чтобы создать необходимые связи между основными требованиями и мандатами на гармонизированные ENs и ETAGs/ETAs.

³ Согласно Ст. 12 CPD, интерпретирующие документы предназначены для того, чтобы:

- a) конкретизировать основные требования путем согласования терминологии и технических основ и, при необходимости, указания классов или уровней для каждого требования;
- b) указывать методы соотнесения этих классов или уровней с требованиями технических условий, т.е. методы расчета и доказательства, технические правила для разработки проекта и т.д.;
- c) быть ссылочными при разработке гармонизированных стандартов и рекомендаций для Европейского технического утверждения.

Фактически Еврокоды играют подобную роль в области действия ER 1 и части ER 2.

к ведению Еврокодов, проектировщик должен провести дополнительные экспертные рассмотрения.

Национальные Стандарты, реализующие Еврокоды

Национальные Стандарты, реализующие Еврокоды, будут содержать полный текст Еврокода (включая все приложения), опубликованный CEN, перед которым может находиться национальный титульный лист и национальное введение и за которым может следовать Национальное Приложение.

Национальное Приложение может содержать информацию только о тех параметрах, которые в Еврокоде оставлены открытыми для национального выбора и именуются Национально определяемыми параметрами, предназначенными для проектирования зданий и инженерных сооружений в данной стране, т.е.:

- значения и (или) классы, заданные в Еврокоде альтернативными,
- значения, которые следует использовать в тех случаях, когда в Еврокоде заданы только символы,
- специальные данные о стране (географические, климатические и т.п.), например, карта районирования значений веса снегового покрова,
- выбор методики, если в Еврокоде заданы альтернативные методики,
- рекомендации по применению справочных приложений,
- ссылки на не противоречащую дополнительную информацию, помогающую пользователю применять Еврокод.

Связь между Еврокодами и гармонизированными техническими условиями (ENs и ETAs) на изделия

Существует необходимость согласования гармонизированных технических условий на строительные изделия и технических правил для строительных конструкций⁴. Более того, вся информация, сопровождающая CE - маркировку строительных изделий, которая относится к ведению Еврокодов, должна четко указывать, какие национально определяемые параметры учтены.

Дополнительные сведения о EN 1991-4

EN 1991-4 содержит указания по определению воздействий для строительного проектирования силосов и резервуаров.

EN 1991-4 предназначен для заказчиков, проектировщиков, подрядчиков и органов государственной власти.

EN 1991-4 следует применять совместно с EN 1990, другими частями EN 1991, EN 1992 и EN 1993, и с другими частями EN 1994 – EN 1999 при проектировании силосов и резервуаров.

Национальное приложение к EN1991-4

В настоящем стандарте приводятся альтернативные методы, значения и рекомендации для классов с примечаниями, в которых указано, где допускается националь-

⁴ См. Ст.3.3 и Ст.12 CPD, а также пункты 4.2, 4.3.1, 4.3.2 и 5.2 ID 1.

ный выбор. Поэтому Национальный Стандарт, обеспечивающий выполнение EN 1991-4, должен включать Национальное приложение, содержащее национально определяемые параметры, необходимые для проектирования зданий и инженерных сооружений в конкретной стране.

В EN 1991-4 национальный выбор допускается в следующих пунктах:

- 2.5 (5)
- 3.6 (2)
- 5.2.4.3.1 (3)
- 5.4.1 (3)
- 5.4.1 (4)
- A.4 (3)
- B.2.14 (1)

Раздел 1 Общие положения

1.1 Область применения

1.1.1 Область применения EN 1991

(1) Серия стандартов EN 1991 дает указания по общим принципам и воздействиям для определения размеров строений и инженерных сооружений, включая серию геотехнических вопросов. Стандарт должен применяться в сочетании с EN 1990, а также стандартами серий EN 1992 – EN 1999.

(2) Кроме того, серия стандартов EN 1991 перекрывает воздействия во время процесса строительства и воздействия на сооружения с ограниченным сроком службы. Серия относится ко всем условиям, при которых требуется определенное поведение несущей конструкции.

(3) Серия стандартов EN 1991 не предусмотрена непосредственно для применения на уже выполненных конструкциях или для определения размеров при ремонте и изменении несущей конструкции и для оценки при изменении использования.

(4) Серия стандартов EN 1991 не полностью покрывает специальные расчетные ситуации, требующие необычного рассмотрения надежности, как например, несущие конструкции из сферы ядерной техники, при которых для расчета должны делаться специальные предположения.

1.1.2 Область применения настоящего технического кодекса. Воздействия на силосы, бункеры и резервуары

(1) Настоящий технический кодекс содержит общие принципы и указания по воздействиям для проектирования и определения размеров силосов, бункеров для хранения сыпучего материала и резервуаров. Настоящий технический кодекс должен применяться в сочетании с EN 1990, с другими частями серии EN 1991, а также со стандартами серий EN 1992 – EN 1999.

(2) Настоящий технический кодекс содержит также некоторые положения по воздействиям на силосы, бункеры и резервуары, выходящие за пределы непосредственных воздействий вследствие хранимого сыпучего материала или жидкостей (например, воздействия разности температур).

(3) На применение положений по определению размеров бункеров и бункерных сооружений распространяются следующие геометрические ограничения:

— формы поперечного сечения силосов, бункеров ограничены случаями, представленными на рисунке 1.1 d). Небольшие отклонения разрешены с учетом предпосылки, что учитываются возможные воздействия на бункерную несущую конструкцию вследствие изменений давления, вызываемых этими отклонениями;

— на геометрические габаритные размеры распространяются следующие ограничения:

$$\text{— } h_b/d_c < 10;$$

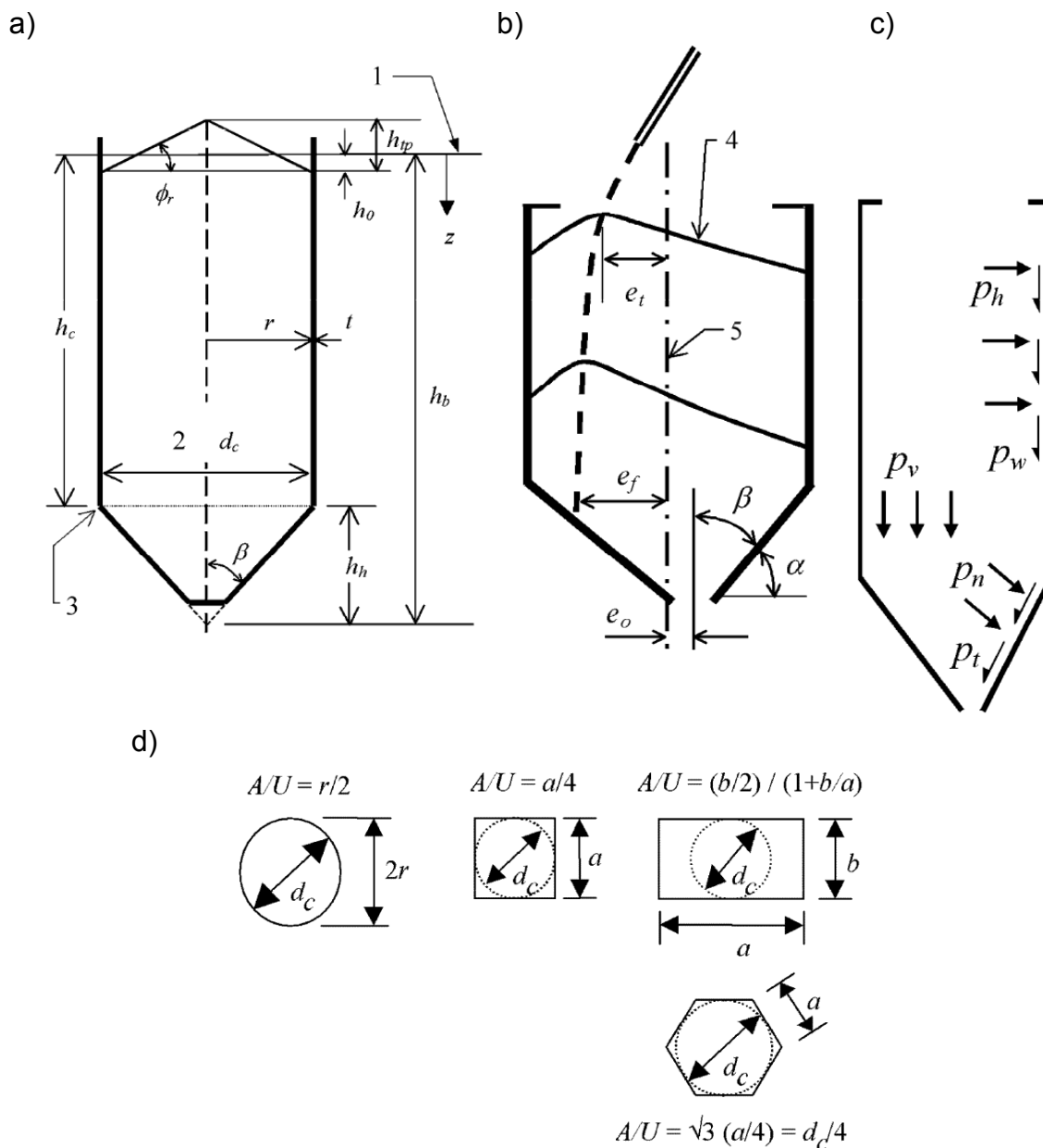
$$\text{— } h_b < 100 \text{ м};$$

$$\text{— } d_c < 60 \text{ м};$$

— переход от вертикального ствола бункера в воронку осуществляется на единственном горизонтальном уровне (см. рисунок 1.1 а).

— влияния на давления бункера вследствие встроенных элементов или специальных сужений поперечного сечения или встроенных элементов, как разгружающий конус, разгру-

жающие брусы и т. д. не регистрируется. Прямоугольный бункер может все же включать внутренние затяжки.



- 1 — эквивалентная поверхность сыпучего материала;
 2 — внутренний размер; 3 — переход;
 4 — профиль поверхности при полном силосе, бункере; 5 — средняя ось бункера;

Рисунок 1.1 — Представление силосов, бункеров с наименованием геометрических параметров и нагрузок:

- a — геометрия;
 b — эксцентриситет;
 c — нагрузки;
 d — формы поперечного сечения

(4) На применение положений по определению размеров элементов бункера и бункерных сооружений распространяются следующие пределы применения, касающиеся

хранимого сыпучего материала:

— каждый бункер рассчитывается на определенный диапазон свойств сыпучего материала;

— сыпучий материал течет свободно или может гарантироваться, что в особом случае он ведет себя как свободно текущий сыпучий материал (см. 1.5.12 и приложение С);

— максимальный размер зерна сыпучего материала не более $0,03d_c$ (см. рисунок 1.1 d).

Примечание — Если частицы сыпучего материала по сравнению с толщиной стены бункера крупные, то влияния контакта отдельных больших частиц сыпучего материала со стеной должны учитываться в форме добавки отдельных нагрузок.

(5) На применение положений по определению размеров бункеров и бункерных сооружений распространяются следующие ограничения, касающиеся условий работы при заполнении и разгрузке:

— при заполнении возникают только незначительные воздействия вследствие сил инерции и ударных сил, которыми можно пренебречь;

— при применении вспомогательных устройств для разгрузки или опустошения (например, системы транспортеров или центральные трубы с поглощающими отверстиями) поток сыпучего материала одинаков и движется по центру.

(6) Указанные добавки нагрузки на воронку бункера распространяются только на конические (в общем случае, оформленные симметрично оси или в форме пирамиды с квадратным или прямоугольным поперечным сечением) и клинообразные (в общем случае, с вертикальными стенами на торцевой и обратной стороне) воронки. Отличающиеся от этих форм воронки или воронки с дополнительными элементами требуют специальных, дополнительных предположений.

(7) Бункеры с геометрической формой горизонтальной проекции с осью симметрии, изменяющейся вдоль вертикальной оси, не являются предметом настоящего технического кодекса. К ним относятся, например, бункеры с воронкой, переходящей из цилиндрической формы в форму клина, под цилиндрическим бункером и воронки типа «diamond-back».

(8) Положения по определению размеров резервуаров распространяются только на жидкости при обычном атмосферном давлении.

(9) Нагрузки на кровли бункеров и резервуаров должны браться соответствующим образом из соответствующих стандартов EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 – EN 1991-1-7 и EN 1991-3.

(10) Определение размеров бункеров с непрерывным режимом находится за пределами области применения настоящего технического кодекса.

(11) Определение размеров бункеров по отношению к динамическим нагрузкам, которые могут появляться при опустошении, как например, сотрясение бункера, удары, звуковые сигналы или толчки бункера, находится за пределами области применения настоящего технического кодекса.

Примечание — Эти феномены до сих пор еще полностью не ясны, так что при применении настоящего технического кодекса нельзя гарантировать ни то, что

они не появятся, ни то, что структура бункера определена достаточной для вытекающих из них нагрузок.

1.2 Нормативные ссылки

Процитированные далее документы требуются для применения этого документа. К датированным ссылкам относится только издание, на которое ссылаются. Для недатированных ссылок действительно последнее издание рассматриваемого документа (включая изменения).

ISO 3898:1997. Основа проектирования конструкций. Примечания. Общие символы.

Примечание — Следующие опубликованные или находящиеся на подготовке Европейские стандарты процитированы в соответствующих местах текста:

EN 1990. Еврокод. Основы строительного проектирования

EN 1991-1-1. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1.1. Удельные веса, собственный вес и полезные нагрузки

EN 1991-1-2. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1.2. Воздействия пожара на несущие конструкции

EN 1991-1-3. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1.3. Снеговые нагрузки

EN 1991-1-4. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1.4. Ветровые нагрузки

EN 1991-1-5. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1.5. Температурные воздействия

EN 1991-1-6. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1.6. Воздействия во время производства строительных работ

EN 1991-1-7. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1.7. Случайные воздействия

EN 1991-2. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 2. Транспортные нагрузки на мосты

EN 1991-3. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 3. Крановые нагрузки

EN 1992. Еврокод 2. Проектирование бетонных конструкций

EN 1992-4. Еврокод 2. Проектирование конструкций из бетона. Часть 4. Опорные сооружения и сооружения с резервуарами из бетона

EN 1993. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций

EN 1993-1-6. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Общие положения. Часть 1.6. Дополнительные положения по прочности и стабильности конструкциям обшивок

EN 1993-4-1. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 4.1. Бункеры

EN 1993-4-2. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 4.2. Резервуары

EN 1994. Еврокод 4. Проектирование конструкций из стали и бетона

EN 1995. Еврокод 5. Проектирование деревянных сооружений

EN 1996. Еврокод 6. Проектирование кирпичных сооружений

EN 1997. Еврокод 7. Геотехническое проектирование

EN 1998. Еврокод 8. Проектирование конструкций с учетом сейсмостойкости

EN 1999. Еврокод 9. Проектирование алюминиевых конструкций.

1.3 Предпосылки

(1)Р Ссылки, перечисленные в 1.3 EN 1990 могут применяться в настоящем техническом кодексе.

1.4 Различия между принципами и применяемыми правилами

(1) В зависимости от вида отдельных абзацев, в этой части настоящего технического кодекса по нагрузкам различают принципы и применяемые правила.

(2) Принципы состоят из:

— общих определений и определений, для которых не существует альтернативы, а также;

— требований и моделей расчета, для которых альтернатива не разрешена, за исключением тех случаев, когда об этом явно упомянуто.

(3) Принципы обозначены дополнительной буквой Р, которая следует за номером абзаца.

(4) Применяемые правила представляют собой общепризнанные положения техники, которые следуют принципам и выполняют их требования.

(5) Допускается использовать альтернативные положения в отличие от применяемых правил настоящего технического кодекса, предполагая, что альтернативные положения находятся в соответствии с соответствующими принципами и имеют, по меньшей мере, такой же уровень безопасности.

(6) В этой части знакомятся с правилами применения числа, записанного в скобках, например, как в данном абзаце.

1.5 Определения

На применение настоящего технического кодекса распространяются определения по EN 1990, 1.5. Следующие дополнительные определения относятся специально к этой части стандарта по нагрузкам.

1.5.1 аэроднище: днище силоса (бункера), в которое поступает или нагнетается воздух для активизации потока в нижней части емкости (см. рисунок 3.5b).

1.5.2 характерный размер внутреннего поперечного сечения: характерным размером d_c является диаметр наибольшей вписанной окружности внутреннего поперечного сечения емкости (см. рисунок 1.1d).

1.5.3 круглый силос/бункер: емкость, поперечное сечение которой имеет круглую форму (см. рисунок 1.1d).

1.5.4 связность, сцепление: сопротивление сдвигу хранимого материала, когда нормальные напряжения по плоскости разрушения равны нулю.

1.5.5 коническая воронка: воронка, у которой наклонная боковая поверхность сходится в точке, за счет чего, как правило, может обеспечиваться течение сыпучего материала, симметричное относительно оси.

1.5.6 эксцентричная разгрузка: профиль потока в хранимом материале с несимметричным распределением движущегося сыпучего материала относительно

вертикальной средней оси. Обычно это является следствием выпускных отверстий, расположенных эксцентрично (см. рисунки 3.2с) и 3.2d, 3.3b и 3.3с). Но это может вызываться и другими феноменами, ведущими к асимметрии (см. рисунок 3.4d).

1.5.7 эксцентричное заполнение: Состояние в процессе заполнения или после заполнения бункера, при котором пик насыпаемой поверхности сыпучего материала (пик насыпного конуса) больше не центрирован по вертикальной средней оси бункера (см. рисунок 1.1b).

1.5.8 эквивалентная поверхность сыпучего материала: Высота предполагаемой выравненной (горизонтальной) поверхности сыпучего материала, которая получается из баланса объема между предполагаемым и фактическим ходом формы поверхности (см. рисунок 1.1a).

1.5.9 воронка «расширенного потока материала»: Воронка, у которой боковая поверхность в нижней зоне воронки образована с достаточной крутизной, чтобы создавать массовый поток, в то время как воронка в верхней области имеет более пологую боковую поверхность, за счет чего там должен ожидаться центральный поток (см. рисунок 3.5d). Это расположение снижает высоту воронки при одновременном сохранении надежной разгрузки.

1.5.10 плоское днище: внутренняя основная площадь бункера с наклоном менее 5° .

1.5.11 структура потока: Геометрическая форма вытекающего сыпучего материала, когда он уже полностью образовался (см. рисунки 3.1 – 3.4). Бункер при этом находится практически в заполненном состоянии.

1.5.12 текучий сыпучий материал: Состояние накопленного в виде порошка сыпучего материала, при котором оно имеет большую долю пор воздуха, с перепадом давления, противодействующим весу частиц и компенсирующим его. Воздух может вноситься специальной вентиляцией или в процессе заполнения. Сыпучий материал обозначается как частично текучий, если только часть веса частиц сыпучего материала компенсируется перепадом давления пор.

1.5.13 свободно текущий гранулированный материал: Гранулированный сыпучий материал, характеристика текучести которого не подвержена заметному влиянию сцепления.

1.5.14 полностью заполненное состояние: Бункер находится в полностью заполненном состоянии, если поверхность сыпучего материала находится в своем максимально возможном положении, которое она может принимать в течение срока использования конструкции в процессе работы бункера. Это состояние бункера считается определяющим условием определения размеров.

1.5.15 центральный поток: Профиль текучести, при котором в насыпном сырье создается канал текучести через сливное отверстие, в то время как сыпучий материал в зоне между этим каналом текучести и стенкой бункера сохраняет состояние покоя (см. рисунок 3.1). Канал текучести при этом может контактировать с вертикальной стенкой бункера — тогда говорят о «смешанном течении» — или он может простираться вплоть до поверхности без какой-либо зоны контакта со стеной. Это случай обозначается как «поток в трубе» или «шахтное течение».

1.5.16 гранулированный материал: Материал, который состоит из отдельных, отделенных друг от друга центров из твердых частиц, с частицами примерно одинакового порядка величины, для которого воздух, находящийся между отдельными центрами, при определении нагрузок играет лишь незначительную роль и имеет лишь незначительное влияние на течение сыпучего материала.

1.5.17 высокая скорость заполнения: Условие в бункере, при котором скорость заполнения приводит к загрузке воздуха такого порядка, что вследствие этого оказывается влияние на коэффициент давления на стену.

1.5.18 гомогенизирующий бункер: Бункер, в котором сыпучий материал гомогенизируется с помощью псевдооживления, т. е. за счет смешивания уравнивается.

1.5.19 воронка: Дно бункера с наклонными стенками.

1.5.20 величина коэффициента нагрузки воронки: Значение, которое указывает, в каком соотношении находятся друг относительно друга нормальная нагрузка p_n на наклонные стенки воронки и средняя вертикальная нагрузка p_v в этом месте сыпучего материала.

1.5.21 бункер со средней гибкостью: Бункер, отношение высоты которого к диаметру находится между $1,0 < h_c/d_c < 2,0$ (исключения определены в 3.3).

1.5.22 внутренний поток в трубе: Профиль текучести с внутренним потоком, в котором граница канала текучести простирается вплоть до поверхности сыпучего материала, не вызывая при этом соприкосновения зоны текучести со стенкой бункера (см. рисунки 3.1 и 3.2).

1.5.23 коэффициент горизонтальной нагрузки K : Значение, которое указывает, в каком отношении находятся друг относительно друга средняя горизонтальная нагрузка p_n , действующая на вертикальную стенку бункера, и средняя вертикальная нагрузка p_v в этом месте сыпучего материала.

1.5.24 незначительное сцепление: Проба сыпучего материала имеет незначительное сцепление, если сцепление c меньше 4 % напряжения предварительного укрупнения σ_r (метод для определения сцепления указан в С.9).

1.5.25 массовый поток: Профиль текучести, при котором все частицы сыпучего материала, находящиеся в бункере, при разгрузке двигаются одновременно (см. рисунок 3.1a).

1.5.26 смешанный поток: Профиль центрального потока, при котором канал текучести соприкасается с вертикальной стенкой бункера еще под поверхностью сыпучего материала (см. рисунки 3.1c и 3.3).

1.5.27 некруглый бункер: Бункер с поперечным сечением некруглой формы (см. рисунок 1.1d).

1.5.28 сыпучий материал: Обозначение твердого тела, которое состоит из множества независимых друг от друга отдельных частиц.

1.5.29 частичная поверхностная нагрузка: Локальная нагрузка, действующая в произвольном положении по высоте на определенную частичную поверхность перпендикулярно вертикальной стенке бункера.

1.5.30 поток в трубе: Профиль текучести, в котором сыпучий материал движется в вертикальном или почти вертикальном канале течения над сливным отверстием, но около канала течения находится в состоянии покоя (см. рисунки 3.1b и 3.2). Если сливное отверстие расположено с эксцентриситетом (см. рисунки 3.2c и 3.2d), или если специальные факторы приводят к тому, что канал течения отклоняется от вертикальной оси над сливом (см. рисунок 3.4d), то течение сыпучего материала может настраиваться по отношению к стенке бункера.

1.5.31 ровный поток: Профиль потока в бункере с прямоугольной или квадратной площадью поперечного сечения и сливным отверстием в виде щели. Сливная щель проходит параллельно двум стенкам бункера. Ее длина соответствует длине этих обеих стенок бункера.

1.5.32 порошкообразный материал: Для целей этого технического кодекса материал, средний размер частиц которого меньше 0,05 мм.

1.5.33 давление: Сила на единицу поверхности в сыпучем материале.

1.5.34 бункер с защитной стеной: Бункер с горизонтальным дном и отношением высоты к диаметру $h_c/d_c \leq 0,4$.

1.5.35 плоская воронка: Воронка, в которой после заполнения мобилизуется не вся величина трения о стенки.

1.5.36 емкость для сыпучих материалов: емкостное сооружение для хранения сыпучих материалов (закром, бункер, силос).

1.5.37 силос: емкость с отношением высоты к диаметру $h_c/d_c \geq 2,0$ или бункер, у которого выполнены дополнительные условия по 3.3.

1.5.38 относительная высота: Отношение высоты к диаметру h_c/d_c вертикальной детали бункера.

1.5.39 низкий бункер: Бункер с отношением высоты к диаметру $0,4 < h_c/d_c \leq 1,0$ или бункер, для которого выполнены дополнительные условия по 3.3. При отношении высоты к диаметру $h_c/d_c \leq 0,4$ и если бункер имеет воронку, бункер так же попадает в категорию низкого бункера. В противном случае, при ровных днищах бункера, он попадает в категорию бункера с защитной стеной.

1.5.40 крутая воронка: Воронка, в которой после заполнения мобилизуется полная величина трения о стенки.

1.5.41 напряжение в сыпучем материале: Сила на единицу поверхности внутри сохраненного сыпучего материала.

1.5.42 резервуар: Конструкция резервуара для хранения жидкостей.

1.5.43 толстостенный бункер: Бункер с отношением диаметра к толщине стенки менее $d_c/t = 200$.

1.5.44 тонкостенный круглый бункер: Круглый бункер с отношением диаметра к толщине стенки более $d_c/t = 200$.

1.5.45 нагрузка за счет трения о стенки: Сила на единицу поверхности вдоль стенки бункера (вертикальной или наклонной) на основе трения между сыпучим материалом и стенкой бункера.

1.5.46 переход воронки: Площадь сечения между воронкой и вертикальным стволом бункера, т. е. переход от вертикальной части бункера в воронку.

1.5.47 вертикальный ствол бункера: Часть бункера или резервуара с вертикальными стенками.

1.5.48 клинообразная воронка: Воронка, у которой наклонные поверхности сходятся к прорези с целью создания ровного потока сыпучего материала. Соответственно обе другие стенки воронки, как правило, проходят вертикально.

1.6 Обозначения

Перечень основных символов содержится в EN 1990. Далее указываются дополнительные сокращения для этой части настоящего технического кодекса. Применяемые сокращения базируются на ISO 3898:1997.

1.6.1 Латинские прописные буквы

A — поверхность поперечного сечения вертикального ствола;

A_c — поверхность поперечного сечения канала течения при эксцентрической разгрузке (большие эксцентриситеты);

B — параметр глубины для низких бункеров, заполняющихся с эксцентриситетом;

C — коэффициент увеличения нагрузки;

C₀ — коэффициент разгрузки (коэффициент увеличения нагрузки при разгрузке) сыпучего материала;

- C_{op} — параметр сыпучего материала частичной поверхностной нагрузки (коэффициент увеличения нагрузки);
- C_b — коэффициент увеличения нагрузки для нагрузок на дно;
- C_h — коэффициент увеличения нагрузки для горизонтальной нагрузки при разгрузке;
- C_{pe} — коэффициент увеличения частичной поверхностной нагрузки при разгрузке;
- C_{pf} — коэффициент увеличения частичной поверхностной нагрузки в случае нагрузки — заполнение;
- C_S — коэффициент гибкости для бункера со средней гибкостью;
- C_r — коэффициент увеличения нагрузки для учета разности или изменений температуры;
- C_W — коэффициент увеличения нагрузки за счет трения о стенки;
- E — отношение эксцентриситета канала течения к радиусу бункера;
- E_S — эффективный модуль упругости хранимого сыпучего материала при значительном уровне напряжения;
- E_W — модуль упругости стенки бункера;
- F — отношение между нагрузками, перпендикулярными к стенке воронки, и средней вертикальной нагрузкой в сыпучем материале в этом месте;
- F_e — отношение нагрузки в воронке в процессе разгрузки (отношение между нагрузками, перпендикулярными к стенке воронки, и средней вертикальной нагрузкой в сыпучем материале);
- F_t — отношение нагрузки в воронке после заполнения (отношение между нагрузками, перпендикулярными к стенке воронки, и средней вертикальной нагрузкой в сыпучем материале);
- F_{pe} — интеграл горизонтальной частичной поверхностной нагрузки для тонкостенного круглого бункера в случае нагрузки разгрузкой;
- F_{pf} — интеграл горизонтальной частичной поверхностной нагрузки для тонкостенного круглого бункера в случае нагрузки — заполнение;
- G — отношение между радиусом канала течения и радиусом внутреннего поперечного сечения круглого бункера;
- K — характеристическое значение коэффициента горизонтальной нагрузки;
- K_m — среднее значение коэффициента горизонтальной нагрузки;
- K_o — значение K при исключении горизонтальных удлинений, а также основных напряжений, направленных горизонтально и вертикально, или проходящих основных напряжений;
- S — геометрический коэффициент нагрузок воронки (равен 2 — для воронок конической формы; равен 1 — для круглых воронок);
- T — температура;
- U — внутренняя окружность поперечного сечения вертикального ствола бункера;
- U_{sc} — внутренняя длина окружности в зоне контакта для нетекучей зоны сыпучего материала при разгрузке с большими эксцентриситетами;
- U_{wc} — внутренняя длина окружности канала течения в зоне контакта со стенкой бункера при разгрузке с большими эксцентриситетами;

- Y — переменная функция глубины: функция для описания приема нагрузки с увеличением глубины в бункере;
- Y_J — переменная функция глубины по теории Янсена;
- Y_R — переменная функция глубины для низкого бункера.

1.6.2 Латинские строчные буквы

- a — длина стороны бункера с прямоугольной или шестиугольной площадью поперечного сечения (см. рисунок 1.1 d);
- a_x — коэффициент рассеяния или коэффициент пересчета для расчета верхнего и нижнего характеристического показателя сыпучего материала по средним значениям;
- a_K — коэффициент рассеяния или коэффициент пересчета коэффициента горизонтальной нагрузки;
- a_γ — коэффициент рассеяния или коэффициент пересчета удельного веса сыпучего материала;
- a_ϕ — коэффициент рассеяния или коэффициент пересчета угла внутреннего трения;
- a_μ — коэффициент рассеяния или коэффициент пересчета коэффициентов трения о стенки;
- b — ширина прямоугольного бункера (см. рисунок 1.1 d);
- b — эмпирический коэффициент нагрузок воронки;
- c — сцепление сыпучего материала;
- d_c — характеристический габаритный размер внутреннего поперечного сечения бункера (см. рисунок 1.1 d);
- e — наибольшее значение эксцентриситета e_t и e_o ;
- e_c — эксцентриситет средней оси канала течения при разгрузке с большими эксцентриситетами (см. рисунок 5.5)
- e_f — наибольший эксцентриситет насыпного конуса на поверхности сыпучего материала при заполнении (см. рисунок 1.1 b);
- $e_{f,cr}$ — наибольший эксцентриситет, при котором могут применяться упрощенные правила для учета незначительного эксцентриситета ($e_{f,cr} = 0,25d_c$);
- e_o — эксцентриситет средней точки сливного отверстия (см. рисунок 1.1 b);
- $e_{o,cr}$ — наибольший эксцентриситет сливного отверстия, для которого могут применяться упрощенные правила для учета незначительного эксцентриситета ($e_{f,cr} = 0,25d_c$);
- e_t — эксцентриситет пика насыпного конуса на поверхности сыпучего материала при заполненном бункере (см. рисунок 1.1 b);
- $e_{t,cr}$ — наибольший эксцентриситет насыпного конуса, при котором могут применяться упрощенные правила для учета незначительного эксцентриситета ($e_{f,cr} = 0,25d_c$);
- h_b — общая высота бункера с воронкой, измеренная от предполагаемого пика вплоть до эквивалентной поверхности сыпучего материала (см. рисунок 1.1 a);
- h_c — высота вертикального ствола бункера, измеренная от перехода воронки

вплоть до эквивалентной поверхности сыпучего материала (см. рисунок 1.1 а);

h_h — высота воронки, измеренная от предполагаемого пика воронки вплоть до перехода воронки (см. рисунок 1.1 а);

h_o — расстояние между эквивалентной поверхностью сыпучего материала и самой нижней точкой опоры насыпного конуса (наиболее глубоко расположенная точка стены бункера, которая при определенном уровне заполнения не контактирует с хранимым сыпучим материалом (см. рисунки 1.1 а), 5.6 и 6.3);

h_{tp} — общая высота насыпного конуса на поверхности сыпучего материала (вертикальное расстояние от самой нижней точки стенки бункера, которая при определенном уровне заполнения не вступает в контакт с накопленным насыпным сырьем, вплоть до пика насыпного конуса (см. рисунки 1.1 а) и 6.3);

n — параметр в уравнениях определения нагрузок воронки;

n_{zSk} — характеристическое значение результирующей сил на стенке бункера на погонный метр в направлении по периметру стены;

p — нагрузка на единицу силы по площади;

p_h — горизонтальная нагрузка из накопленного сыпучего материала (см. рисунок 1.1 с);

p_{hae} — горизонтальная нагрузка в спокойной зоне сыпучего материала около канала течения при разгрузке с большими эксцентриситетами;

p_{hce} — горизонтальная нагрузка в канале течения при разгрузке с большими эксцентриситетами;

p_{hco} — асимптотическая горизонтальная нагрузка на большой глубине в канале течения при разгрузке с большими эксцентриситетами;

p_{he} — горизонтальная нагрузка при разгрузке;

$p_{he,u}$ — горизонтальная нагрузка при разгрузке и применении упрощенного метода расчета;

p_{hf} — горизонтальная нагрузка после заполнения;

p_{hfb} — горизонтальная нагрузка после заполнения на нижнем конце вертикального ствола бункера;

$p_{hf,u}$ — горизонтальная нагрузка после заполнения при применении упрощенного метода расчета;

p_{ho} — асимптотическая горизонтальная нагрузка на большой глубине из накопленного сыпучего материала;

p_{hse} — горизонтальная нагрузка сыпучего материала, находящегося в покое, на большом расстоянии от канала течения в процессе разгрузки с большими эксцентриситетами;

p_{hT} — рост горизонтальных нагрузок вследствие разности или изменений температуры;

p_n — нагрузка, перпендикулярная стенкам воронки, из-за хранимого сыпучего материала (см. рисунок 1.1 с);

- ρ_{ne} — нагрузка, перпендикулярная стенкам воронки, во время разгрузки;
 ρ_{nf} — нагрузки, перпендикулярные стенкам воронки, после заполнения;
 ρ_p — частичная поверхностная нагрузка;
 ρ_{pe} — основное значение частичной поверхностной нагрузки во время разгрузки;
 ρ_{pei} — дополнительная частичной поверхностной нагрузки при разгрузке;
 $\rho_{pe,nc}$ — частичная поверхностная нагрузка в форме полосы для бункера с некруглым поперечным сечением при разгрузке;
 ρ_{pf} — основное значение частичной поверхностной нагрузки после заполнения;
 ρ_{pfi} — дополнительная частичной поверхностной нагрузки после заполнения;
 $\rho_{pf,nc}$ — частичная поверхностная нагрузка в форме полосы для бункера с некруглым поперечным сечением после заполнения;
 $\rho_{p,sq}$ — частичная поверхностная нагрузка в плоском бункере;
 ρ_{pes} — частичная поверхностная нагрузка на координате цилиндра θ для тонкостенного круглого бункера в процессе разгрузки;
 ρ_{pfs} — частичная поверхностная нагрузка в координате цилиндра θ для тонкостенного круглого бункера после заполнения;
 ρ_t — нагрузки за счет трения в воронке (см. рисунок 1.1 с);
 ρ_{te} — нагрузки за счет трения в воронке при разгрузке;
 ρ_{tf} — нагрузки за счет трения в воронке после заполнения;
 ρ_v — вертикальные нагрузки в сыпучем материале (см. рисунок 1.1 с);
 ρ_{vb} — вертикальные нагрузки на дно низкого бункера при использовании формулы (6.2);
 ρ_{vf} — вертикальные нагрузки в сыпучем материале после заполнения;
 ρ_{vft} — вертикальные нагрузки после заполнения на переходе воронки (точка опоры вертикального ствола бункера);
 ρ_{vho} — вертикальная нагрузка, рассчитанная в точке опоры насыпного конуса на поверхности сыпучего материала по формуле (5.78) и с глубиной сыпучего материала $z = h_o$;
 ρ_{vsq} — вертикальные нагрузки на горизонтальный пол низкого бункера или бункера средней гибкости;
 ρ_{vtp} — геостатическая вертикальная нагрузка в опорной точке насыпного конуса на поверхности сыпучего материала;
 ρ_w — нагрузки за счет трения о стенки вдоль вертикальной стены (срезающее усилие вследствие трения на единицу поверхности) (см. рисунок 1.1 с);
 ρ_{wae} — нагрузки за счет трения о стенки сыпучего материала, находящегося в состоянии покоя, непосредственно около канала течения в процессе разгрузки с большими эксцентриситетами (на переходе от спокойного к текущему сыпучему материалу);
 ρ_{wce} — нагрузки за счет трения о стенки в канале течения в процессе разгрузки с большими эксцентриситетами;
 ρ_{we} — нагрузки за счет трения о стенки в процессе разгрузки;
 $\rho_{we,u}$ — нагрузки за счет трения о стенки в процессе разгрузки с использованием упрощенного метода расчета;
 ρ_{wf} — нагрузки за счет трения о стенки после заполнения;

- $\rho_{wf,u}$ — нагрузки за счет трения о стенки после заполнения с использованием упрощенного метода расчета;
- ρ_{wse} — нагрузки за счет трения о стенки сыпучего материала, находящегося в состоянии покоя, на большом расстоянии от канала течения в процессе разгрузки с большими эксцентриситетами;
- r — эквивалентный радиус бункера ($r = 0,5d_c$);
- r_c — радиус эксцентрического канала течения при разгрузке с большими эксцентриситетами;
- s — габаритный размер поверхности, нагружаемой частичной поверхностной нагрузкой
($s = \pi d_c / 16 \cong 0,2d_c$);
- t — толщина стенки бункера;
- x — вертикальная координата в воронке с переходом к острию воронки (см. рисунок 6.2);
- z — глубина под эквивалентной поверхностью сыпучего материала в заполненном состоянии (см. рисунок 1.1 а);
- z_0 — характеристическая глубина по теории Янссена;
- z_{0c} — характеристическая глубина по теории Янссена для канала течения при разгрузке с большими эксцентриситетами;
- z_p — глубина средней точки частичной поверхностной нагрузки под эквивалентной поверхностью сыпучего материала в тонкостенном бункере;
- z_s — глубина под наиболее высоким местом контакта между сыпучим материалом и стенкой бункера (см. рисунки 5.7 и 5.8);
- z_v — размер глубины при установлении вертикальных нагрузок в низком бункере.

1.6.3 Греческие прописные буквы

- Δ — горизонтальное смещение верхней части элемента среза;
- Δ — оператор инкрементальных величин (см. следующие сокращения);
- $\Delta\rho_{sq}$ — вертикальная составляющая нагрузки вследствие неровной поверхности сыпучего материала для не гибкого бункера;
- ΔT — разность температур между сохраняемым сыпучим материалом и стенкой бункера;
- Δv — инкрементальное вертикальное смещение, измеренное при исследовании материала;
- $\Delta\sigma$ — приращение приложенного к образцу напряжения при исследовании материала.

1.6.4 Греческие строчные буквы

- α — средний угол наклона стенок воронки по отношению к горизонтальной плоскости (см. рисунок 1.1 б);
- α_w — коэффициент теплового расширения стенки бункера;
- β — угол наклона стенки воронки относительно вертикали (см. рисунки 1.1 а) и 1.1 б) или наибольший угол стенки воронки у квадратной или прямоугольной

- воронки;
- γ — характеристическое значение удельного веса хранимой жидкости или хранимого сыпучего материала;
- γ_1 — удельный вес сыпучего материала в псевдожидком состоянии;
- δ — стандартное отклонение свойства;
- θ — координаты цилиндра: угол по направлению окружности;
- θ_c — вписанный угол канала течения при разгрузке с большими эксцентриситетами (см. рисунок 5.5), отнесенный к средней оси ствола бункера;
- ψ — угол контакта стенки эксцентрического канала течения, отнесенный к средней оси канала течения;
- μ — характеристическое значение угла трения о стенки на вертикальной стенке бункера;
- μ_{heff} — эффективный или мобилизованный коэффициент трения о стенки в плоской воронке;
- μ_h — коэффициент трения о стенки в воронке;
- μ_m — среднее значение коэффициента трения о стенки между сыпучим материалом и стенкой бункера;
- ν — число Пуассона для сыпучего материала;
- ϕ_c — характеристическое значение угла внутреннего трения предварительно уплотненного сыпучего материала при разгрузке (см. С.9);
- ϕ_i — характеристическое значение угла внутреннего трения сыпучего материала при первичной нагрузке (см. С.9);
- ϕ_{im} — среднее значение угла внутреннего трения (см. С.9);
- ϕ_r — угол скоса сыпучего материала (коническая насыпанная куча) (см. рисунок 1.1 а);
- ϕ_w — угол трения о стенки (арктангенс μ) между сыпучим материалом и стенкой воронки;
- ϕ_{wh} — угол трения о стенки в воронке (арктангенс μ_h) между сыпучим материалом и стенкой воронки;
- σ_r — эталонное или опорное напряжение для экспериментов по определению параметров сыпучего материала.

1.6.5 Индексы

- d — измеренное значение (оснащенное коэффициентом частичной безопасности);
- e — разгрузка сыпучего материала (состояние разгрузки);
- f — заполненное состояние, сыпучий материал в процессе хранения;
- h — воронка;
- h — горизонтальный;
- K — коэффициент горизонтальной нагрузки;
- m — среднее значение;
- n — перпендикулярно стене;
- nc — некруглый бункер;
- p — частичная поверхностная нагрузка;

- t — для тангенциального вдоль стены;
- u — равномерно;
- v — для вертикального;
- w — для трения о стенки;
- γ — удельный вес сыпучего материала;
- ϕ — угол внутреннего трения;
- μ — коэффициент трения о стенки.

Раздел 2 Представление и классификация воздействий

2.1 Представление воздействий на силосы (бункеры)

(1)P Воздействия на бункеры должны определяться с учетом структуры бункера, свойств хранимого сыпучего материала и профилей текучести, устанавливаемых при разгрузке бункера.

(2)P Должны учитываться неопределенности, касающиеся устанавливаемых профилей текучести, влияния эксцентриситетов заполнения и разгрузки в процессах заполнения и разгрузки, влияния формы бункера на вид профиля текучести, и касающиеся давлений заполнения и разгрузки в зависимости от времени.

Примечание — Порядок величин и распределение расчетных нагрузок зависят от структуры бункера, от параметров материала хранимого сыпучего материала и от профилей текучести, образующихся при разгрузке. Неотъемлемые различия в свойствах различного хранимого сыпучего материала и упрощения в моделях нагрузки приводят к отклонениям между фактически появляющимися в бункере нагрузками и принимаемой нагрузкой (расчетные нагрузки) по разделам 5 и 6. Так с течением времени изменяется, к примеру, распределение давлений разгрузки вдоль стенки бункера. Точное предсказание господствующего среднего давления, его рассеяние и его изменяемость во времени с помощью современных знаний невозможно.

(3)P Нагрузки на вертикальные стены бункера в заполненном состоянии и в процессе разгрузки с незначительными эксцентриситетами заполнения и разгрузки должны устанавливаться за счет асимметричной составляющей нагрузки и несимметричной частичной поверхностной нагрузки. При больших эксцентриситетах нагрузки должны описываться несимметричной кривой распределения давления.

(4) Характеристические значения воздействий на бункер следует понимать так, чтобы они не превышались в течение одного года с вероятностью не более 2 %.

Примечание — Так как раньше не существовало имеющих силу данных, указанные характеристические значения воздействий на бункер базируются не на статистических расчетах. В сущности, они базируются на опытных значениях за счет применения действовавших ранее стандартов. Следовательно, определение выше соответствует определению по EN 1990.

(5) Если выбранная форма структуры бункера чувствительна к изменениям устанавливаемых данных нагрузки, то это должно учитываться соответствующими исследованиями.

(6) Симметричные нагрузки на стенки бункера должны устанавливаться за счет

горизонтальной составляющей p_n на внутреннюю поверхность перпендикулярных стенок бункера, за счет нагрузок, действующих перпендикулярно на наклонные стены p_n , за счет нагрузок из-за трения p_w и p_t , действующих в тангенциальном направлении по отношению к стене, и за счет вертикальной составляющей нагрузки в хранимом сыпучем материале p_v .

(7) Несимметричные нагрузки на вертикальные стенки бункера при незначительных эксцентриситетах заполнения и разгрузки должны учитываться за счет добавки частичной поверхностной нагрузки. Эти частичные поверхностные нагрузки состоят из локально действующих горизонтальных давлений p_h на внутреннюю поверхность стенки бункера.

(8) Несимметричные нагрузки на вертикальные стенки бункера при больших эксцентриситетах заполнения и разгрузки должны регистрироваться дополнительно за счет несимметричного распределения горизонтальных давлений p_h и нагрузок за счет трения p_w .

(9) Для регистрации неплановых, не учтенных влияний нагрузки должны использоваться коэффициенты увеличения нагрузки C .

(10) Коэффициенты увеличения нагрузки C для элементов бункера с классом требований 2 и 3 (см. 2.5) должны использоваться исключительно для того, чтобы регистрировать учитываемые дополнительные воздействия нагрузки, которые появляются за счет потока сыпучего материала при разгрузке бункера.

(11) Коэффициенты увеличения нагрузки C для элементов бункера с классом требований 1 должны использоваться для того, чтобы регистрировать как дополнительные влияния нагрузки при разгрузке в результате движения сыпучего материала, так и влияния за счет рассеяния параметров сыпучего материала.

Примечание — Задачей коэффициентов увеличения нагрузок C является перекрытие различий, касающихся настроенных профилей текучести, влияний эксцентриситетов при заполнении и разгрузке, влияния формы бункера на вид профиля текучести и приблизительных воздействий вследствие отсутствия учета имеющихся давлений заполнения и разгрузки, зависящих от времени. Для бункеров класса требований 1 (см. 2.5) коэффициент увеличения нагрузки учитывает и присущее рассеяние свойств материала сыпучего материала. Для бункеров классов требований 2 и 3 рассеяние параметров материала для сыпучего материала, влияющих на нагрузки, учитывается не коэффициентом увеличения нагрузки C , а установкой соответствующих характеристических расчетных значений параметров сыпучего материала γ , μ , K и ϕ_1 .

(12) Для бункеров класса требований 1 должны учитываться несимметричные нагрузки за счет повышения симметричных нагрузок при применении коэффициента увеличения для нагрузок при разгрузке C .

(13) Для бункеров класса требований 2 несимметричные частичные поверхностные нагрузки альтернативно могут учитываться за счет попеременного увеличения симметричных нагрузок, величина которых согласована с действием частичной поверхностной нагрузки.

2.2 Представление воздействий на резервуары

(1)Р Нагрузки на резервуары вследствие их заполнения должны учитываться за

счет гидростатических добавок нагрузки.

(2) Характеристические значения воздействий на резервуары настоящего технического кодекса нужно понимать так, чтобы они не превышались в течение одного года с вероятностью не более 2 %.

Примечание — Характеристические значения базируются не на формальных статистических расчетах. Напротив, они базируются на исторически сложившемся опыте при использовании действовавших ранее стандартов. Указанное выше определение ориентируется на EN 1990.

2.3 Классификация воздействий на силос (бункер)

(1)P Нагрузки в результате воздействия хранимого в элементах бункера сыпучего материала должны классифицироваться по EN 1990 как переменные воздействия.

(2)P Симметричные нагрузки на бункер должны классифицироваться как изменяющиеся местные воздействия по EN 1990.

(3)P Частичные поверхностные нагрузки для учета процессов заполнения и разгрузки в элементах бункера должны классифицироваться как изменяющиеся свободные воздействия по EN 1990.

(4)P Нагрузки с эксцентриситетом для учета эксцентрических процессов заполнения и разгрузки в элементах бункера должны классифицироваться как изменяющиеся стационарные воздействия.

(5)P Нагрузки в результате давления газа в сочетании с пневматическими подающими системами должны рассматриваться как изменяющиеся стационарные воздействия.

(6)P Нагрузки в результате взрыва пыли должны классифицироваться как чрезвычайные нагрузки.

2.4 Классификация воздействий на резервуары

(1)P Нагрузки на резервуары должны классифицироваться как изменяющиеся стационарные воздействия по EN 1990.

2.5 Классы требований

(1) В зависимости от надежности структурного исполнения и чувствительности по отношению к различным формам отказов при определении воздействий на структуры бункеров должны использоваться различные степени точности.

(2) Воздействия на бункер должны определяться после задания одного из трех последующих классов требований, применяемых в настоящем техническом кодексе (см. таблицу 1), который приводит к появлению нагрузки с принципиально одинаковым уровнем безопасности. Они учитывают необходимые затраты и требуемые методы, требующиеся для снижения риска для различных структур (см. EN 1990, 2.2 (3) и (4)). Различают следующие классы требований:

- класс требований 1 (AAC 1);
- класс требований 2 (AAC 2);
- класс требований 3 (AAC 3).

(3) Для бункера всегда может выбираться более высокий класс требований, чем требуется по 2.5 (2). Для каждой части метода, описанного в настоящем техническом кодексе по нагрузкам (установки нагрузки), если целесообразно, может быть поло-

жен в основу более высокий класс требований.

(4) Для бункеров класса требований 1 могут применяться упрощенные методы настоящего технического кодекса, разработанные для класса.

(5) Если с технической точки зрения несколько элементов бункера объединены друг с другом, то для каждого отдельного элемента должен определяться соответствующий класс требований, а не для всего блока силосных башен.

Таблица 2.1 — Рекомендованная классификация бункеров для расчетных ситуаций

Класс требований	Описание
Класс требований 3	Бункеры с емкостью более 10 000 т; Бункеры с емкостью более 1000 т, у которых существует одна из следующих расчетных ситуаций: а) эксцентрическая разгрузка с $e_c/d_c > 0,25$ (см. рисунок 1.1 b); б) низкие бункеры с эксцентрическим заполнением более $e_t/d_c > 0,25$
Класс требований 2	Все бункеры, которые перекрываются настоящим техническим кодексом по нагрузкам и не включены в оба другие класса
Класс требований 1	Бункеры с емкостью менее 100 т

Примечание 1 — Национальные приложения могут устанавливать границы между классами применения. Таблица 2.1 указывает рекомендованные для этой цели значения.

Примечание 2 — Дифференцирование по разным классам требований, приведенное в таблице 2.1, определено с учетом погрешностей точного определения воздействий. Положения для малых бункеров просты и консервативно надежны, так как они имеют свою собственную жесткость, и высокие затраты, например, на определение параметров сыпучего материала не обоснованы. Воздействия на устойчивость и риски с точки зрения жизни и собственности учитываются в классификации EN 1992 и EN 1993.

Примечание 3 — Классификация по классам требований должна осуществляться отдельно для каждого проекта.

Раздел 3 Расчетные ситуации

3.1 Общие положения

(1)P Воздействия на бункеры и резервуары должны определяться для каждой существенной расчетной ситуации в соответствии с общими определениями EN 1990.

Примечание — Это не значит, что разделы и значения для общего наземного строительства и мостовых сооружений в EN 1990, A.1 и A.2 должны применяться для бункеров и резервуаров.

(2)Р Должны рассматриваться определяющие расчетные ситуации и определяться критические случаи нагрузки. Для бункеров определяющие расчетные ситуации должны базироваться на характеристике текучести хранимого сыпучего материала в соответствии с приложением С.

(3)Р Для каждого критического случая нагрузки должны определяться расчетные значения воздействий по комбинации воздействий.

(4)Р Правила комбинирования зависят от соответствующего подтверждения и должны выбираться по EN 1990.

Примечание — Определяющие правила комбинирования указаны в приложении А.

(5) Воздействия, передающиеся от разграничивающих структур здания, должны учитываться.

(6) Воздействия от подающих и заполняющих систем должны учитываться. Особое внимание необходимо для подающих систем, не установленных стационарно. Они могут передавать нагрузки на структуру бункера через укладываемый на хранение сыпучий материал.

(7) В зависимости от ситуации должны учитываться следующие чрезвычайные воздействия и ситуации, вследствие:

- взрыва;
- удара автомобиля;
- землетрясения;
- нагрузок при пожаре.

3.2 Расчетные ситуации для сыпучих материалов, хранимых в бункерах

(1)Р Нагрузки на бункеры вследствие хранимого сыпучего материала должны определяться для максимального уровня заполнения.

(2)Р Установки нагрузок для заполнения и разгрузки должны использоваться как для подтверждений коэффициента запаса, так и для подтверждений пригодности к использованию.

(3) Расчеты заполнения и разгрузки сыпучего материала должны определяться по основным случаям нагрузки, которые могут привести к разным предельным состояниям сооружения:

- максимальные нагрузки, перпендикулярные вертикальной стене бункера (горизонтальные нагрузки);
- максимальные вертикальные нагрузки за счет трения о стенки на вертикальной стене бункера;
- максимальные вертикальные нагрузки на дно бункера;
- максимальные нагрузки на воронку бункера.

(4) При определении нагрузок всегда должны использоваться верхние характеристические значения удельного веса сыпучего материала γ .

(5) Определение нагрузок случая нагрузки всегда должно осуществляться для определенного сочетания взаимодействующих параметров сыпучего материала μ , K и ϕ_i , так чтобы каждому предельному состоянию соответствовало специальное, определенное свойство сыпучего материала.

(6) Для каждого из этих случаев нагрузки достигается свое экстремальное значение, если параметры сыпучего материала μ , K и ϕ_i принимают соответственно разные экстремальные значения в пределах полосы рассеяния их характеристических параметров сыпучего материала. Для того чтобы при определении размеров гарантировать достаточную надежность всех предельных состояний, должны рассматриваться различные комбинации экстремальных значений этих параметров материала. Экстремальные значения параметров сыпучего материала, которые должны применяться, указаны в таблице 3.1.

Таблица 3.1 — Определяющие параметры различных установок нагрузки

Исследование случая нагрузки	Устанавливаемое характеристическое значение		
	Коэффициент трения о стенки μ	Коэффициент горизонтальной нагрузки K	Угол внутреннего трения ϕ_i
Вертикальный отрезок стены			
Максимальные горизонтальные нагрузки перпендикулярно вертикальной стене	Нижнее предельное значение	Верхнее предельное значение	Нижнее предельное значение
Максимальные нагрузки за счет трения на вертикальные стены	Верхнее предельное значение	Верхнее предельное значение	Нижнее предельное значение
Максимальные вертикальные нагрузки на воронку и на дно бункера	Нижнее предельное значение	Нижнее предельное значение	Верхнее предельное значение
Исследование случая нагрузки	Коэффициент трения о стенки μ	Коэффициент горизонтальной нагрузки K	Угол внутреннего трения ϕ_i
Стенки воронки			
Максимальные нагрузки воронки в заполненном состоянии	Нижнее предельное значение для воронки	Нижнее предельное значение	Нижнее предельное значение
Максимальные нагрузки воронки при разгрузке	Нижнее предельное значение для воронки	Верхнее предельное значение	Верхнее предельное значение
<p><i>Примечание 1</i> — Нужно учитывать, что угол трения о стенки всегда меньше или равен углу внутреннего трения хранимого сыпучего материала (т. е. $\phi_{wi} \leq \phi_i$). Так как в противном случае внутри сыпучего материала образуется поверхность скольжения, когда на контактную поверхность стены принимаются большие напряжения сдвига, чем за счет внутреннего трения сыпучего материала. Это значит, что во всех случаях коэффициент трения о стенки не должен приниматься больше $\tan \phi_i$ ($\mu = \tan \phi_w \leq \tan \phi_i$).</p> <p><i>Примечание 2</i> — Нагрузки, перпендикулярные стенкам воронки p_n, как правило, самые большие, если трение о стенки в воронке мало, так как вследствие этого</p>			

малая часть нагрузок в воронке передается трением на стенку. Нужно тщательно взвесить, какие максимальные показатели становятся определяющими для отдельных расчетных задач (т. е. должны ли устанавливаться максимальными нагрузки за счет трения о стенки или нагрузки, перпендикулярные стенке воронки, зависит от исследуемого состояния разрушения детали).

(7) Несмотря на вышеприведенные высказывания бункеры класса требований 1 могут рассчитываться с использованием средних значений параметров сыпучего материала, а именно среднего значения коэффициентов трения о стенки μ_m , среднего значения коэффициента горизонтальной нагрузки K_m и среднего значения угла внутреннего трения ϕ_{im} .

(8) Основные формулы для расчета нагрузок бункера включены в разделы 5 и 6. Они должны быть положены в основу расчета следующих характеристических нагрузок:

- нагрузки заполнения на вертикальные участки стены (см. раздел 5);
- нагрузки при разгрузке на вертикальные участки стены (см. раздел 5);
- нагрузки заполнения и разгрузки на горизонтальные днища (см. раздел 6);
- нагрузки заполнения на воронку (см. раздел 6);
- нагрузки при разгрузке на воронку (см. раздел 6).

3.3 Расчетные ситуации для различных геометрических образований бункера

(1) Различные гибкости бункера (отношение высоты к диаметру), геометрии воронки и расположения сливных отверстий приводят к разным, подлежащим рассмотрению расчетным ситуациям.

(2) Если при некоторых состояниях заполнения траектория заполняющей струи заполняемого сыпучего материала приводит к насыпному конусу на поверхности сыпучего материала, образованному с эксцентриситетом (см. рисунок 1.1 b), то в различных зонах бункера могут появляться разные плотности хранения, которые приводят к несимметричным нагрузкам. Для определения размера этих нагрузок в основу должен быть положен эксцентриситет заполняющей струи e_f (см. 5.2.1.2 и 5.3.1.2).

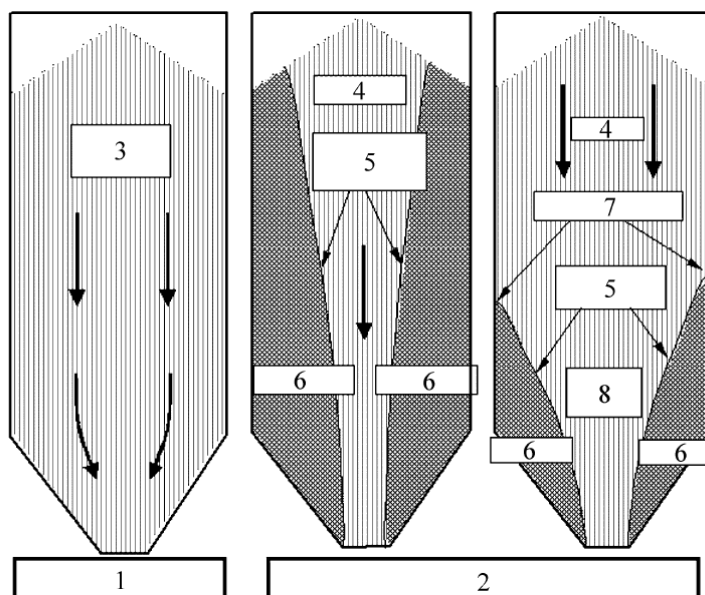
(3) При расчете должны учитываться влияния профилей текучести, настраивающихся при разгрузке, которые могут разделяться на следующие категории (см. рисунок 3.1):

- массовый поток;
- поток в трубе;
- смешанное течение.

a)

b)

c)



- 1 — массовый поток; 2 — центральный поток;
 3 — весь сыпучий материал в движении;
 4 — текущий сыпучий материал; 5 — границы канала течения;
 6 — сыпучий материал в покое; 7 — эффективный переход;
 8 — эффективная воронка

Рисунок 3.1 — Основные профили текучести:

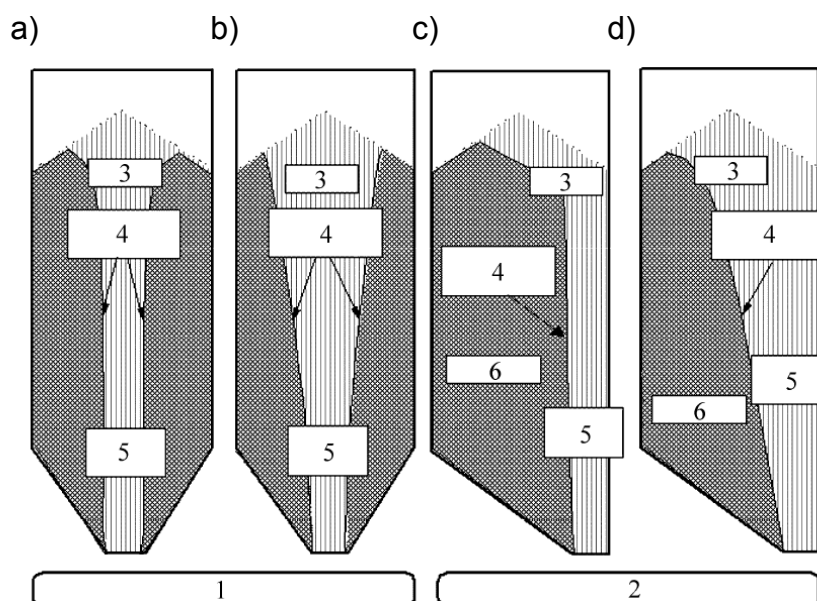
a — массовый поток;

b — центральный поток (поток в трубе);

c — центральный поток (смешанное течение)

(4) Если при потоке в трубе дополнительно может обеспечиваться то, что канал течения всегда находится внутри сыпучего материала без соприкосновения со стенкой бункера (см. рисунки 3.2 a) и b), то давлениями разгрузки можно пренебречь. Низкие бункеры с концентрической разгрузкой с помощью силы тяжести и бункеры с механической системой разгрузки, находящейся на поверхности сыпучего материала, которая обеспечивает образование потока в трубе внутри тела сыпучего материала (см. рисунки 3.4 a) и b) и 3.5 a), выполняют эти условия (см. 5.1 (7) и 5.3.2.1 (2) и (4)).

Примечание — Разработанная центральная труба с боковыми разгрузочными отверстиями также может обеспечивать это условие, т. е. образование внутреннего потока в трубе.



1 — внутренний поток в трубе; 3 — текущий сыпучий материал;
 5 — текущая вытяжка; 2 — эксцентрический поток в трубе;
 4 — границы канала течения; 6 — сыпучий материал в покое

Рисунок 3.2 — Профили текущести с потоком в трубе:

- a — внутренний параллельный поток в трубе;**
- b — внутренний конвергентный поток в трубе;**
- c — эксцентрический параллельный поток в трубе;**
- d — эксцентрический конвергентный поток в трубе**

(5) При симметричном массовом потоке или при смешанном течении (см. рисунок 3.1) должен учитываться расчет обычно появляющихся там несимметричных нагрузок (см. 5.2.2.2 и 5.3.2.2).

(6) Для профилей текущести с центральным потоком и частичным контактом находящихся в движении зон сыпучего материала со стенкой бункера при расчете должны учитываться другие несимметричные составляющие нагрузки, которые могут появляться специально в этом случае (см. рисунки 3.2 c) и d), а также рисунки 3.3 b) и c) (см. также 5.2.4).

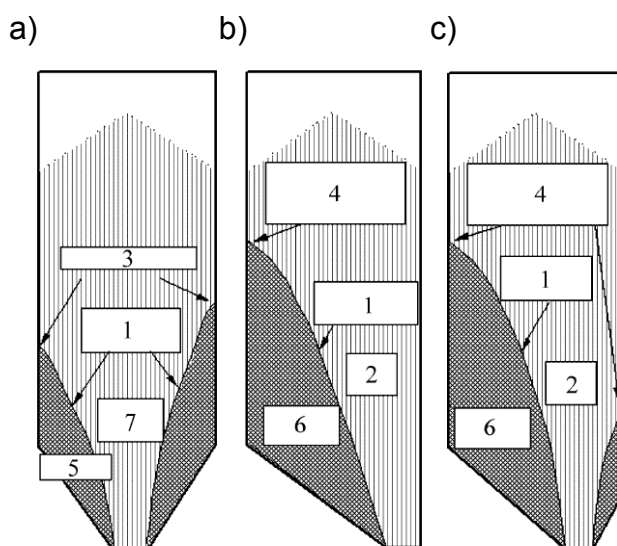
(7) Для бункеров с несколькими сливными отверстиями с учетом максимально возможного заполненного состояния должно учитываться, что при работе могут действовать или единственное сливное отверстие, или комбинация одновременно открытых сливных отверстий.

(8) Для бункеров с несколькими сливными отверстиями в качестве обычной расчетной ситуации должны рассматриваться комбинации активных сливных отверстий, предусмотренные для работы. Другие, не исключаемые ситуации открытия, которые не предусмотрены для плановой работы, должны рассматриваться как чрезвычайные расчетные ситуации.

Примечание — Понятие «обычная расчетная ситуация» в приведенном выше

абзаце относится к основной комбинации в EN 1990, 6.4.3.2. Понятие «чрезвычайная расчетная ситуация» относится к чрезвычайным расчетным ситуациям в EN 1990, 6.4.3.3.

(9) Если в заполненном с эксцентриситетом, очень гибком бункере в различных зонах бункера эффекты смешивания приводят или к разным плотностям упаковки, или к сцеплению сыпучего материала, то несимметричное наслоение частиц сыпучего материала может вызывать несимметричный центральный поток (см. рисунок 3.4 d). Это приводит к зонам в бункере, в которых сыпучий материал течет вдоль стены бункера и при этом вызывает несимметричные нагрузки. Для таких случаев должны использоваться специальные установки нагрузки (см. 5.2.4.1 (2)).



- 1 — границы канала течения; 2 — зона течения; 3 — эффективный переход;
 4 — эффективный переход меняется в направлении периметра бункера;
 5 — границы канала течения; 6 — спокойный сыпучий материал;
 7 — эффективная воронка

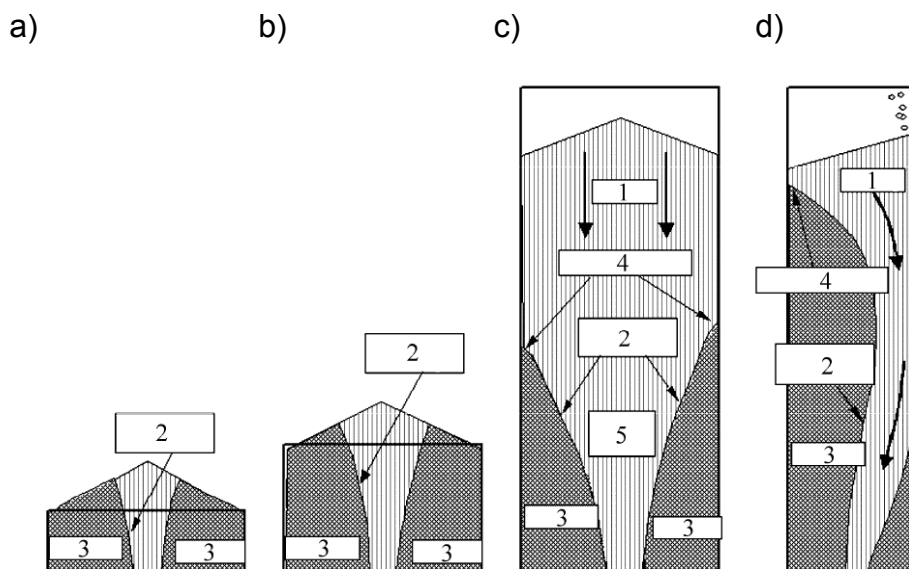
Рисунок 3.3 — Профили течения со смешанным течением сыпучего материала:

a — концентрическое смешанное течение;

b — полностью эксцентрическое смешанное течение;

c — частично эксцентрическое смешанное течение

ние;



1 — сыпучий материал в покое; 2 — границы канала течения;
3 — эффективная воронка; 4 — эффективный переход; 5 — течение

**Рисунок 3.4 — Влияние гибкости (отношение высоты к диаметру)
на смешанное течение сыпучего материала и поток в**

трубе:

- a — бункер с опорной стеной;**
- b — низкий бункер;**
- c — гибкий бункер;**
- d — очень гибкий бункер**

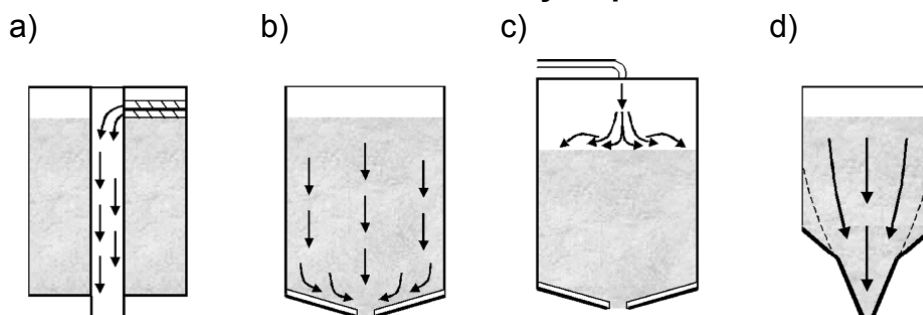


Рисунок 3.5 — Специальные расположения заполнения и разгрузки:

- a — поддерживаемая механически разгрузка с концентрическими нагрузками;**
- b — подача воздуха и вентиляционные щели создают массовый поток;**
- c — пневматическое заполнение порошкообразного сыпучего материала зачастую вызывает ровную поверхность сыпучего материала;**
- d — «expanded flow»: воронка вызывает массовый поток только в нижней воронке**

(10) Для бункеров с пневматически подающимся сыпучим материалом должны рассматриваться две расчетные ситуации соответственно при максимальном заполнении. Первое: Заполненный сыпучий материал может образовывать насыпной конус, как это имеет место для других видов сыпучего материала. Второе: Нужно учитывать, что поверхность сыпучего материала при определенных обстоятельствах также оформляется ровной независимо от угла скоса и эксцентриситета при заполнении (см. рисунок 3.5 с). В этом случае эксцентриситеты e_f и e_t должны устанавливаться в нуль.

(11) У бункеров для хранения порошкообразного сыпучего материала с непрерывной подачей воздуха в зоне дна в качестве помощи при разгрузке (см. рисунок 3.5 b) вся зона сыпучего материала вблизи дна может псевдоожигаться, что может вызывать эффективный массовый поток даже в низком бункере. Такие бункеры, независимо от фактической гибкости h_c/d_c , должны рассчитываться в соответствии с методом для гибкого бункера.

(12) У бункеров для порошкообразного сыпучего материала с непрерывной подачей воздуха в зоне дна в качестве помощи при разгрузке (см. рисунок 3.5 b) также может псевдоожигаться только частичная зона сыпучего материала вблизи дна. Это может вызывать эксцентрический поток в трубе (см. рисунок 3.3 b), что должно учитываться при расчете. Эксцентриситет получающегося канала течения и результирующее значение устанавливаемого эксцентриситета e_o должны выводиться с учетом псевдоожиганной зоны, а не только по положению сливного отверстия.

(13) Вертикальные стены бункера с разгрузочной воронкой, которая приводит к «расширенному течению» («expanded flow») (см. рисунок 3.5 d), могут попадать под условия смешанного течения сыпучего материала. Это может привести к несимметричным нагрузкам при разгрузке. В качестве гибкости для этого типа бункеров вместо h_c/d_c должно использоваться отношение h_o/d_c (см. рисунок 1.1 а).

(14) Бункер с гибкостью h_c/d_c менее 0,4 и сливной воронкой должен классифицироваться как низкий бункер. При горизонтальном дне бункера такой бункер должен классифицироваться как бункер с защитной стеной.

(15) Для бункера с воронкой не конической, не пирамидальной или не клинообразной формы, должен применяться подходящий метод для расчета нагрузок воронки. Для воронки с внутренними встроенными элементами с помощью подходящего метода должны определяться как нагрузки воронки, так и нагрузки на эти встроенные элементы.

(16) Для бункера с клинообразной воронкой под круглым цилиндром (воронка в форме бура) должен применяться подходящий метод расчета для нагрузок воронки.

Примечание — Протяженные в длину сливные отверстия могут вести к особым проблемам. Применение помощи при разгрузке для контроля разгрузки сыпучего материала бункера оказывает влияние на профиль текучести. Это может привести или к массовому потоку, к полностью эксцентрическому смешанному течению или к полностью эксцентрическому потоку в трубе.

3.4 Расчетные ситуации для специальных форм конструкции силосов (бункеров)

(1) При расчете железобетонных бункеров в состоянии использования ширина трещин должна ограничиваться соответствующим размером. Контроль ширины трещин должен выполнять указания по ограничению ширины трещин по EN 1992 с учетом классов взрывоопасности, получающихся в результате условий окружающей среды бункера.

(2) К металлическим бункерам, которые преимущественно состоят из конструкций с болтовыми и винтовыми соединениями, должны применяться определения для несимметричных установок нагрузки (частичная поверхностная нагрузка) по 5.2.1.4 (4). При этом нужно учитывать, что неравномерные нагрузки могут появляться во всех местах бункера.

(3) Для металлических бункеров с прямоугольным поперечным сечением, имеющим внутри стержня бункера стяжки для снижения изгибающих моментов стен, должны учитываться выражения 5.7.

(4) Влияния усталостных эффектов должны учитываться для бункеров и резервуаров, если они подвергаются действию цикла нагрузки в среднем более одного раза в день. Цикл нагрузки соответствует полному заполнению и разгрузке бункера или, в случае бункера, подвергающегося нагрузке продувкой воздухом (см. рисунок 3.5 b), полной обработке (ротация) секторов, подвергающихся нагрузке продувкой воздухом. Усталостные эффекты должны учитываться и у бункеров, которые подвергаются воздействию вибрирующих машин.

(5) Бункеры заводского производства должны рассчитываться и на воздействия при изготовлении, при транспортировании и монтаже.

(6) Для смотровых окон и отверстий для люков в стенах бункеров или воронок нагрузки на запорную крышку должны учитываться с удвоенным значением максимальных нагрузок, действующих на приграничные участки стены. Эта нагрузка должна устанавливаться только для расчета запорной крышки и ее установки на опоры или конструкций крепления.

(7) Если крыша бункера должна принимать нагрузки со стороны систем фильтрации пыли, циклонов, механических транспортных устройств или других частей установки, то эти нагрузки должны рассматриваться как полезные нагрузки.

(8) Если для заполнения или разгрузки бункера используются пневматические подающие системы, то должны учитываться соответствующие результирующие разности давления воздуха.

Примечание — Эти давления, как правило, составляют <10 кПа, но могут появляться и значительные пониженные давления (например, 40 кПа $\cong 0,4$ бар) вследствие ошибочного определения размеров специальных подающих установок или при неисправностях в работе. Поэтому бункеры должны оснащаться подходящими устройствами компенсации нагрузки для непредусмотренных явлений, если конструктор бункера не может их надежно исключить каким-либо другим способом.

(9) При использовании вибрирующих устройств, пневматических пушек или вращающихся разгрузочных рук на дне бункера изменения нагрузки, обусловленными

ими, должны исследоваться с точки зрения предельного состояния усталости. Колебания от пневматических систем транспортеров также должны учитываться.

(10) При перестройке существующего бункера путем замены облицовки стен бункера в расчете бункера должны рассматриваться последствия измененного трения о стены, включая возможные последствия из-за возможно измененного, настраиваемого профиля текучести.

3.5 Расчетные ситуации для жидкостей, хранимых в резервуарах

(1) Р Нагрузки на резервуары вследствие хранимых жидкостей должны определяться соответственно в процессе заполнения и для максимального уровня заполнения.

(2) Если уровень жидкости в рабочем состоянии может отличаться от максимального состояния заполнения, то он должен учитываться дополнительно в виде чрезвычайной расчетной ситуации.

3.6 Принципы расчета взрывов

(1) Так как жидкости или сыпучий материал, хранимые в резервуарах и бункерах, могут быть склонны к взрыву, то потенциальные повреждения должны ограничиваться, или предотвращаться следующими мерами:

- расположение достаточных поверхностей компенсации давления;
- расположение подходящих систем подавления взрыва;
- расчет/определение размеров структуры для приема давления взрывной волны.

Некоторые виды сыпучего материала, склонные к взрыву пыли, названы в таблице E.1.

Примечание — Виды помощи при обсуждении случая нагрузки взрыв пыли приведены в приложении H.

(2) Воздействия, возникающие в бункерной установке вследствие взрыва пыли, на соседние здания или части зданий, должны учитываться.

Примечание — Национальное приложение должно давать указания по обсуждению влияния взрыва пыли на соседние сооружения.

Раздел 4 Сыпучий материал

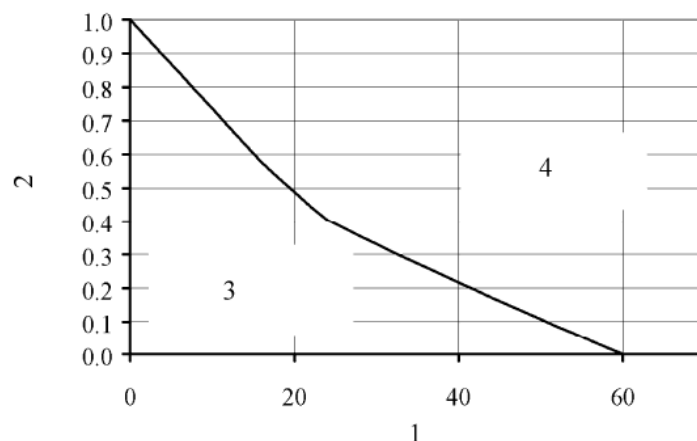
4.1 Общие положения

(1) Р Для определения нагрузок бункера вследствие сыпучего материала должны учитываться следующие влияния:

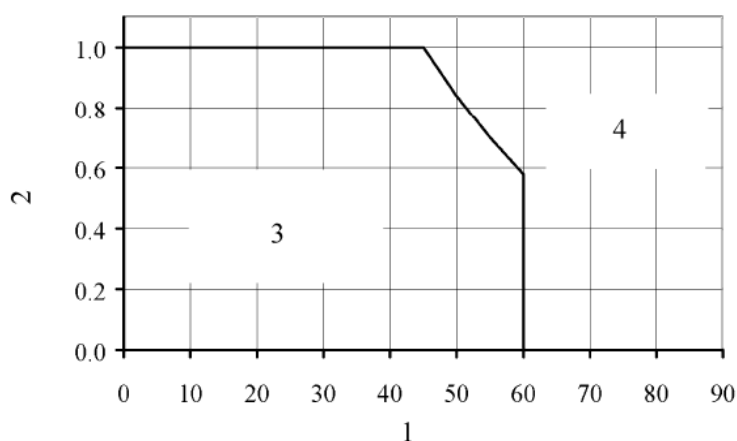
- рассеяние параметров сыпучего материала;
- колебания трения о стенки на стене бункера;
- геометрия бункера;
- методы заполнения и разгрузки.

(2) Благоприятные влияния жесткости сыпучего материала не должны учитываться при определении нагрузки и рассмотрении стабильности стен. Положительным действием деформации стен на давления, создающиеся в сыпучем материале, можно пренебречь, за исключением тех случаев, когда может подтверждаться разумный верифицированный метод.

a)



b)

1 — половинный максимальный угол β воронки;2 — коэффициент трения о стенки μ_n воронки;

3 — зона с возможностью массового потока; 4 — зона с центральным потоком

Рисунок 4.1 — Условия, при которых появляются давления, вследствие массового потока:

a — коническая воронка;

b — клинообразная воронка

(3) Если требуется, то должен определяться вид профиля текучести (массовый или центральный поток) по рисунку 4.1. Рисунок 4.1 должен привлекаться на основании упрощений, положенных в основу, а не для методологически-технического оформления бункера, т. к., к примеру, влиянием внутреннего трения пренебрегают.

Примечание — Расчет геометрии бункера для массового потока находится вне области применения настоящего технического кодекса (см. 1.1.2(5)). Для этой цели должны применяться специальные методы и технологии механики сыпучего материала.

4.2 Характеристики сыпучего материала

4.2.1 Общие положения

(1)Р Определяемые количественно для расчета нагрузок свойства сыпучего материала, хранимого в элементах бункера, должны создаваться или выводиться из экспериментальных результатов или из других подходящих данных по материалу.

(2)Р При использовании значений из экспериментальных результатов и других источников данных эти значения должны оцениваться соответствующим образом с точки зрения соответствующего рассматриваемого случая нагрузки.

(3)Р Нужно учитывать, что между параметрами материала, измеренными в экспериментах, и параметрами, которые определяют фактическую характеристику сыпучего материала в бункере, могут существовать явные различия.

(4)Р При оценке различий в параметрах сыпучего материала, названных в (3)Р, кроме того, нужно учитывать следующие факторы:

— многие параметры не являются постоянными, которые зависят от уровня напряжения и истории нагрузки;

— влияния вследствие формы частиц, размера и распределения величины зерна могут оказывать очень разное влияние в эксперименте и в бункере;

— временные воздействия;

— колебания содержания влаги;

— влияния динамических воздействий;

— хрупкость или пластичность тестируемого сыпучего материала;

— вид и способ внесения сыпучего материала в бункер и в испытательное устройство.

(5)Р При оценке различий, названных в (3)Р, по отношению к коэффициентам трения о стенки должны учитываться следующие факторы:

— коррозия и химическая реакция между частицами сыпучего материала, влагой и стеной;

— износ и истирание, которые могут сделать стены бункера шероховатыми;

— сглаживание поверхности стен;

— обогащение отложениями жира на стене;

— частицы, которые вдавливаются в поверхность стены (обычно влияние, приводящее к шероховатости поверхности стены).

(6)Р При определении значений параметров материала нужно учитывать следующее:

— опубликованные и общепризнанные данные по применению соответствующих экспериментов;

— сравнительные рассмотрения по значениям отдельных параметров, измеренным в экспериментах, с соответствующими опубликованными параметрами и с учетом общих опытных значений;

— рассеяние параметров, существенных для расчета;

— результаты крупномасштабных измерений в бункерах подобной конструкции;

— связи между результатами различных видов экспериментов;

— изменения в параметрах материала, определяемые в течение срока исполь-

зования бункера.

(7)P Выбор характеристических параметров материала должен осуществляться на основе значений, определенных в лабораторных исследованиях, с учетом полученных, опытных знаний.

(8) Характеристическое значение свойства материала должно выбираться в качестве осторожной оценки подходящего, нижнего или верхнего характеристического значения, в зависимости от его влияния на определяемую нагрузку.

(9) По отношению к интерпретации экспериментальных результатов ссылаются на EN 1990.

Примечание — Дополнительная ссылка на приложение D, EN 1990

4.2.2 Испытание и определение характеристик сыпучего материала

(1)P Характеристики сыпучего материала, принимающиеся для расчета, должны учитывать возможные рассеяния вследствие изменений в составе, методах производства, распределении размера зерна, содержания влаги, температуры, возраста и электрического заряда в процессе обращения.

(2) Характеристики сыпучего материала должны определяться или по упрощенному методу по 4.2.3, или при измерениях в экспериментах по 4.3.

(3) Для бункеров класса требований 3 характеристики сыпучего материала должны определяться по экспериментам в соответствии с 4.3.

(4) Для каждого сыпучего материала упрощенно могут применяться и характеристики «Общего сыпучего материала» по таблице E.1.

(5) Коэффициенты трения сыпучих материалов о стенки μ , положенные в основу расчета, должны учитывать шероховатость поверхностей стен, вдоль которых они скользят. В 4.2.1 определены различные классы поверхностей стен, которые используются в настоящем техническом кодексе, и перечислены в таблице 4.1.

(6) Для бункеров с поверхностями стен класса (категории) D4 по таблице 4.1 должен определяться эффективный коэффициент трения о стенки по методу, описанному в D.2.

(7) Коэффициент сыпучего материала C_{op} для частичной поверхностной нагрузки нужно брать из таблицы E.1 или рассчитывать по формуле (4.8).

Таблица 4.1 — Категории поверхностей стен

Категория	Поверхность стены (комментарий)	Примерные материалы
D1	Незначительное трение. Классифицируется как: «Очень гладкая»	Холоднокатаная нержавеющая сталь; Полированная нержавеющая сталь; Поверхности с покрытием, покрытие рассчитано на незначительное трение; Алюминий; Экструдированный полиэтилен высокой плотности ^{a)}

D2	Среднее трение. Классифицируется как: «Гладкая»	Карбоновая сталь с легкой ржавчиной на поверхности (сварная или соединенная винтами); Прокат из нержавеющей стали; Гальванизированная углеродистая сталь; Поверхности с покрытием, покрытие рассчитано против коррозии или истирания
D3	Большое трение. Классифицируется как: «Шероховатая»	Обшитый досками бетон, бетон с серой поверхностью (стальная опалубка), старый бетон; Старая (корродировавшая) углеродистая сталь; Износостойкая сталь; Керамическая плитка (плиты)
D4	Прочие	Горизонтально гофрированные стены; Профилированные листы с горизонтальными прорезями; Нестандартные стены с глубоким профилированием
<p>^{a)} Для этих поверхностей нужно особенно тщательно рассматривать эффект шероховатости за счет частиц, вдавленных в поверхность стены.</p>		

Примечание — Классификации и комментарии, приведенные в таблице 4.1, относятся к трению и в меньшей степени к шероховатости. Определяющим основанием для этого является то, что между размером шероховатости и измеренным трением о стенки существует лишь незначительная связь из-за сыпучего материала, скользящего вдоль поверхности стены.

4.2.3 Упрощенный принцип действия

(1) Характеристики общеизвестных сыпучих материалов должны браться из таблицы Е.1. Указанные там значения удельного веса γ соответствуют верхнему характеристическому значению, характеристики трения о стенки μ_m , отношения горизонтальной нагрузки K_m и угла внутреннего трения ϕ_{im} представляют средние значения этих величин.

(2) Если отдельные виды сыпучих материалов не могут однозначно относиться к сыпучим материалам, перечисленным в таблице Е.1, то их характеристики должны определяться экспериментально по методу, описанному в 4.3.

(3) Для определения характеристических параметров μ , K и ϕ_i перечисленные значения μ_m , K_m и ϕ_{im} должны перемножаться с так называемыми коэффициентами конверсии или пересчета или делиться на них. Коэффициенты пересчета a указаны в таблице Е.1 для перечисленных сыпучих материалов. При расчете максимальных нагрузок должны использоваться следующие комбинации:

— верхнее характеристическое значение: $K = a_K K_m$; (4.1)

— нижнее характеристическое значение: $K = K_m / a_K$; (4.2)

— верхнее характеристическое значение: $\mu = a_\mu \mu_m$; (4.3)

— нижнее характеристическое значение: $\mu = \mu_m/a_\mu;$ (4.4)

— верхнее характеристическое значение: $\phi_j = a_\phi\phi_{im};$ (4.5)

— нижнее характеристическое значение: $\phi_i = \phi_{im}/a_\phi.$ (4.6)

(4) При определении воздействий на бункеры класса требований 1 вместо верхнего и нижнего характеристических значений могут использоваться средние значения μ_m , K_m и ϕ_{im} .

4.3 Измерение характеристик сыпучего материала в экспериментах

4.3.1 Экспериментальное определение (методы измерения)

(1)P Экспериментальное определение характеристик должно проводиться с представительными образцами сыпучего материала. Для каждого свойства сыпучего материала должно определяться среднее значение соответствующего параметра с учетом рассеяния его определяющих, так называемых вторичных влияющих параметров, как состав сыпучего материала, кривая просеивания, содержание влаги, температура, возраст и возможность электрического заряда в процессе работы или изготовления.

(2) Характеристические значения выводятся из определенных экспериментально средних значений с привлечением формул (4.1) – (4.6) и соответствующих коэффициентов пересчета a .

(3) Каждый коэффициент пересчета a должен тщательно определяться. При этом нужно соответствующим образом считаться с тем, что параметры сыпучего материала в течение срока использования бункера могут изменяться. Точно так же должны учитываться возможные влияния явлений смешивания в бункере и неточности при подготовке образцов материала.

(4) Если существуют достаточные экспериментальные данные для того, чтобы определить стандартное отклонение характеристик, то коэффициенты пересчета a должны определяться по С.11.

(5) Интервал между средним значением и характеристическим значением параметра сыпучего материала выражается коэффициентом пересчета a . Если параметр вторичного влияния один отвечает более чем за 75 % коэффициента пересчета a , то он должен увеличиваться на коэффициент 1,10.

Примечание — Приведенными выше определениями может обеспечиваться то, что значения a представляют соответствующую вероятность появления выведенных нагрузок.

4.3.2 Удельный вес сыпучего материала γ

(1) Удельный вес сыпучего материала γ должен определяться для плотности упаковки частиц сыпучего материала и при уровне давления, которые соответствуют плотности упаковки или уровню давления в диапазоне максимального вертикального давления заполнения p_{vft} . Вертикальное давление p_{vft} в бункере может определяться по формулам (5.3) или (5.79) для глубины сыпучего материала на нижнем краю зоны с вертикальными стенами.

(2) Для измерения удельного веса сыпучего материала γ должны применяться методы по С.6.

(3) Коэффициент пересчета для вывода характеристического значения из измеренного значения должен определяться по способу, описанному в С.11. Коэффициент пересчета a_γ не должен приниматься менее $a_\gamma = 1,10$, за исключением того, когда меньшее значение может подтверждаться экспериментами и отдельно соответствующей оценкой (см. С.11).

4.3.3 Коэффициент трения о стенки μ

(1) Экспериментальное определение коэффициентов трения о стенки μ для определения нагрузок должно осуществляться при плотности упаковки частиц сыпучего материала и при уровне давления, которые соответствуют плотности упаковки или уровню давления в диапазоне максимального горизонтального давления заполнения p_{nfb} . Уровень давления p_{nfb} в бункере может определяться по формулам (5.1) или (5.71) для глубины сыпучего материала на нижнем краю зоны с вертикальными стенами.

(2) Для измерения удельного веса сыпучего материала μ должны применяться методы по С.7.

(3) Среднее значение μ_m коэффициента трения о стенки и его стандартное отклонение должны определяться и выводиться из экспериментов. Если из материала по данным может определяться только среднее значение, то стандартное отклонение должно оцениваться по методу, описанному в С.11.

(4) Коэффициент пересчета для вывода характеристического значения из измеренного значения должен определяться по способу, описанному в С.11. Коэффициент пересчета не должен приниматься менее $a_\mu = 1,10$, за исключением того, когда меньшее значение может подтверждаться экспериментами и отдельно соответствующей оценкой (см. С.11).

4.3.4 Угол внутреннего трения ϕ_i

(1) Угол внутреннего трения ϕ_i для расчета нагрузок — арктангенс отношения усилия среза и вертикального усилия при разрыве при первичной нагрузке, должен определяться при плотности упаковки частиц сыпучего материала и при уровне давления, которые соответствуют плотности упаковки или уровню давления в диапазоне максимального вертикального давления заполнения p_{vf} . Уровень давления p_{vf} в бункере может определяться по формулам (5.3) или (5.79) для глубины сыпучего материала на нижнем краю зоны с вертикальными стенами.

(2) Для измерения угла внутреннего трения ϕ_i должны применяться методы испытаний по С.9.

(3) Среднее значение ϕ_{im} угла внутреннего трения и его стандартное отклонение δ должны определяться и выводиться из экспериментов. Если из материала по данным может определяться только среднее значение, то стандартное отклонение должно оцениваться по методу, описанному в С.11.

(4) Коэффициент пересчета для вывода характеристического значения из измеренного значения должен определяться по способу, описанному в С.11. Коэффициент пересчета a_ϕ не должен приниматься менее $a_\phi = 1,10$, за исключением того, когда меньшее значение может подтверждаться экспериментами и отдельно соответствующей оценкой (см. С.11).

4.3.5 Горизонтальный коэффициент K

(1) Коэффициент горизонтальной нагрузки K для определения нагрузок (отношение среднего горизонтального давления к среднему вертикальному давлению) должен определяться при плотности упаковки частиц сыпучего материала и при уровне давления, которые соответствуют плотности упаковки или уровню давления в диапазоне максимального вертикального давления заполнения. Уровень давления p_{vf} может определяться по формулам (5.3) или (5.79) для глубины сыпучего материала на нижнем краю зоны с вертикальными стенами.

(2) Для определения коэффициента горизонтальной нагрузки K должны применяться методы испытаний по С.8.

(3) Среднее значение K_m коэффициента горизонтальной нагрузки и его стандартное отклонение должны определяться и выводиться из экспериментов. Если из материала по данным может определяться только среднее значение, то стандартное отклонение должно оцениваться по методу, описанному в С.11.

(4) Приближенное значение K_m может альтернативно определяться по среднему значению угла внутреннего трения при первичной нагрузке ϕ_{im} , определенного из опытов (см. 4.3.4), по формуле (4.7):

$$K_m \approx 1,1 (1 - \sin\phi_{im}). \quad (4.7)$$

Примечание — Коэффициент 1,1 в формуле (4.7) применяется для того, чтобы обеспечить соответствующий сохраняемый размер для учета разности между значением, измеренным при практически отсутствующем влиянии трения о стенки, $K (=K_0)$ и значением, измеренным при наличии влияний трения о стенки, K (см. также 4.2.2 (5)).

(5) Коэффициент пересчета для вывода характеристического значения из измеренного значения должен определяться по способу, описанному в С.11. Коэффициент пересчета a_K не должен приниматься менее $a_K = 1,10$, за исключением того, когда меньшее значение может подтверждаться экспериментами и отдельно соответствующей оценкой (см. С.11).

4.3.6 Сцепление c

(1) Сцепление сыпучих материалов варьируется с напряжением консолидации, которым нагружается образец. Оно должно определяться при плотности упаковки частиц сыпучего материала и при уровне давления, которые соответствуют плотности упаковки или уровню давления в диапазоне максимального вертикального давления заполнения. Уровень давления p_{vf} может определяться по формулам (5.3) или (5.79) для глубины сыпучего материала на нижнем краю зоны с вертикальными стенами.

(2) Для измерения сцепления c должны применяться методы испытаний по С.9.

Примечание — Альтернативно сцепление c может определяться по результатам экспериментов в элементе среза Дженике. Метод расчета сцепления по экспериментальным результатам нужно взять из С.9.

4.3.7 Коэффициент сыпучего материала для частичной поверхностной нагрузки C_{op}

(1) Коэффициент сыпучего материала для частичной поверхностной нагрузки C_{op} определен на основании соответствующих экспериментальных данных.

Примечание 1 — Коэффициенты разгрузки C учитывают ряд феноменов, появляющихся при разгрузке бункера. Симметричное принятие давлений относительно не зависит от хранимого сыпучего материала, однако несимметричные компоненты сильно зависят от материала. Зависимость несимметричных компонентов от материала представляется коэффициентом сыпучего материала C_{op} . Этот параметр не может легко определяться с помощью экспериментальных методов испытаний на сыпучем материале.

Примечание 2 — Подходящий экспериментальный метод испытаний для параметра C_{op} до сих пор еще не разработан. Поэтому этот коэффициент основывается на оценках экспериментов на бункерах и на опытных значениях в бункерах с традиционными системами загрузки и разгрузки, которые построены в пределах обычных строительных допусков.

(2) Значения коэффициента сыпучего материала для частичной поверхностной нагрузки C_{op} для общеизвестных сыпучих материалов должны браться из таблицы Е.1.

(3) Для сыпучих материалов, не приведенных в таблице Е.1, коэффициент сыпучего материала для частичной поверхностной нагрузки должен оцениваться по коэффициентам рассеяния коэффициента горизонтальной нагрузки a_K и коэффициента трения о стенки a_μ по формуле (4.8):

$$C_{op} = 3,5a_\mu + 2,5a_K - 6,2, \quad (4.8)$$

где a_μ — коэффициент рассеяния коэффициента трения о стенки μ ;

a_K — коэффициент рассеяния коэффициента горизонтальной нагрузки K сыпучего материала.

(4) Для специальных бункеров или специальных сыпучих материалов (в отдельном случае) соответствующие коэффициенты сыпучего материала для частичной поверхностной нагрузки C_{op} должны определяться по крупномасштабным экспериментальным исследованиям в бункере сравнимой конструкции.

5 Нагрузки на вертикальные стенки силосов (бункеров)

Раздел 5.1 Общие положения

(1)Р Для случаев нагрузки заполнение и разгрузка должны устанавливаться характеристические значения нагрузок, описанные в этом разделе. При этом различают нагрузки на:

- высокие силосы;
- силосы средней относительной высоты;
- бункеры;
- бункеры с опорной стеной;
- аэрируемые силосы/бункеры для хранения сыпучих материалов.

(2)Р Нагрузки на вертикальные стены бункера должны определяться в соответствии со следующими критериями гибкости бункера (см. рисунки 1.1 а) и 5.1):

- гибкие бункеры, с $2,0 \leq h_c/d_c$ (с исключениями по 3.3);
- бункеры средней гибкости, с $1,0 < h_c/d_c < 2,0$ (с исключениями по 3.3);
- низкие бункеры, с $0,4 < h_c/d_c \leq 1,0$ (с исключениями по 3.3);

— бункеры с опорной стеной (бункер, состоящий из опорных стен) с горизонтальным дном и $h_c/d_c \leq 0,4$.

(3) бункер с вентилируемым дном должен рассматриваться независимо от своей фактической гибкости h_c/d_c как гибкий бункер.

(4) Р Нагрузки на вертикальные стены состояются из стационарной составляющей нагрузки, симметричных нагрузок и свободной составляющей нагрузки, нагрузок частичной поверхности. Обе составляющие должны устанавливаться действующими одновременно.

(5) Подробные положения для расчета нагрузок заполнения и разгрузки указаны в зависимости от гибкости бункера в 5.2, 5.3 и 5.4.

(6) Положения по дополнительным случаям нагрузки должны учитываться для специальных типов бункеров, как показано ниже:

— бункеры с устройствами подачи воздуха для полного или частичного псевдооживления сыпучего материала, см. 5.5;

— бункеры, у которых может появляться разность температур хранимых сыпучих материалов и конструкции бункера, см. в 5.6;

— бункеры с прямоугольным поперечным сечением, см. 5.7.

(7) При появлении больших эксцентриситетов укладки сыпучего материала в процессе заполнения или разгрузки должны устанавливаться особые нагрузки. Они должны действовать не одновременно с симметричными или частичными поверхностными нагрузками, а должны представлять собственный отдельный случай нагрузки.

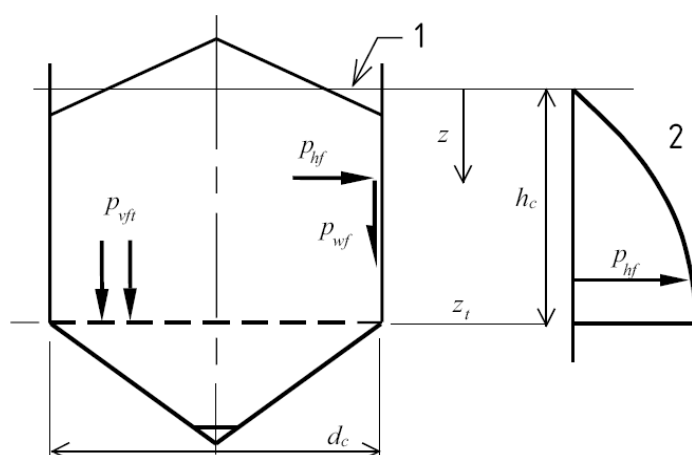
(8) Если может обеспечиваться поток в трубе внутри сыпучего материала без зоны контакта между зоной течения и стеной бункера (см. 3.3 (3)), то определение размеров может ограничиваться установкой нагрузок заполнения, при этом, в случае необходимости, должны учитываться частичные поверхностные нагрузки.

5.2 Силосы

5.2.1 Нагрузки заполнения на вертикальные стенки

5.2.1.1 Симметричные нагрузки заполнения

(1) Симметричные нагрузки заполнения (см. рисунок 5.1) должны рассчитываться по формулам (5.1) – (5.6).



- 1 — эквивалентная поверхность сыпучего материала;
2 — распределение давления в секторе с вертикальными стенками

Рисунок 5.1 — Симметричные нагрузки заполнения в зоне вертикальных стен бункера

(2) После заполнения и в процессе укладки сыпучего материала горизонтальные нагрузки p_{hf} , нагрузки за счет трения о стенки p_{wf} и вертикальные нагрузки p_{vf} должны учитываться, как показано далее:

$$p_{hf}(z) = p_{ho} Y_J(z); \quad (5.1)$$

$$p_{wf}(z) = \mu p_{ho} Y_J(z); \quad (5.2)$$

$$p_{vf}(z) = p_{ho} / K Y_J(z) \text{ с:} \quad (5.3)$$

$$p_{ho} = \gamma K z_o; \quad (5.4)$$

$$z_o = \frac{1}{K\mu} \cdot \frac{A}{U}; \quad (5.5)$$

$$Y_J(z) = 1 - e^{-z/z_o}, \quad (5.6)$$

- где γ — характеристическое значение удельного веса сыпучего материала;
 μ — характеристическое значение коэффициента трения о стенки сыпучего материала на вертикальной стенке бункера;
 K — характеристическое значение коэффициента горизонтальной нагрузки;
 z — глубина материала в бункере под эквивалентной поверхностью сыпучего материала;
 A — площадь внутреннего поперечного сечения бункера;
 U — периметр поверхности внутреннего поперечного сечения бункера.

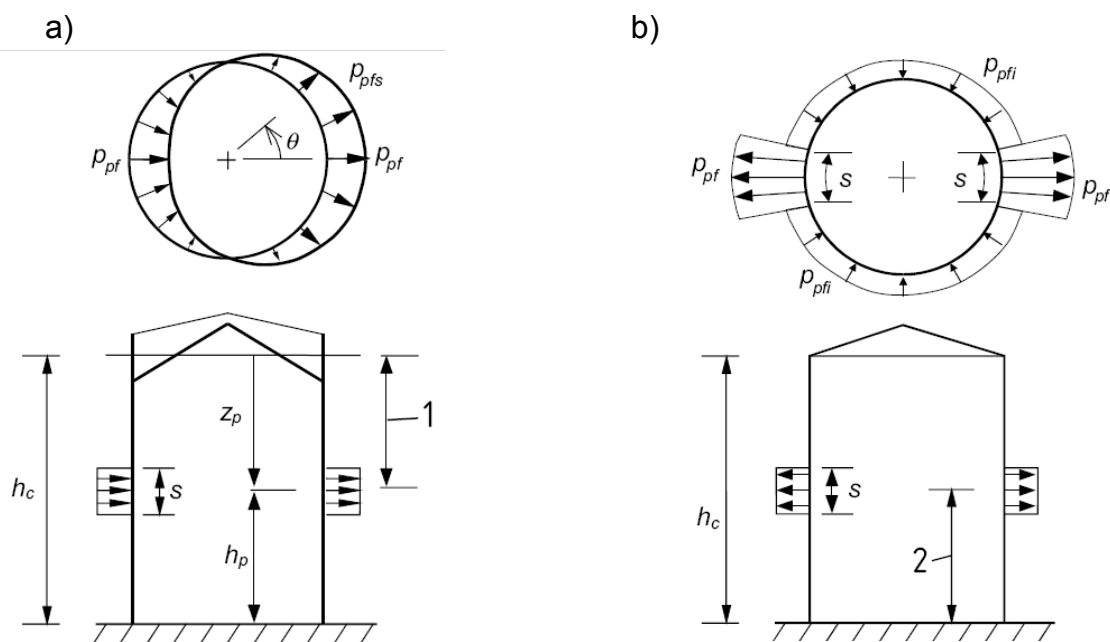
(3) Для состояния после заполнения рассчитывается результирующее характеристическое значение вертикальных сил резания стен (давление) n_{zSk} — с единицей измерения силы на единицу длины в направлении периметра:

$$n_{zSk} = \int_0^z p_{wf}(z) dz = \mu p_{ho} [z - z_o Y_J(z)]. \quad (5.7)$$

Примечание — Определяемая формулой (5.7) результирующая сила является характеристическим значением. При использовании этой формулы нужно обратить внимание на то, чтобы не забыть соответствующий коэффициент частичной безопасности для воздействий. Поэтому нужно соблюдать это указание, так как эта формула уже должна оцениваться как результат статического расчета (с применением теории мембран оболочки). Формула приведена в настоящем техническом кодексе для того, чтобы поддержать проектировщика несущих конструкций при интегрировании формулы (5.2). Кроме того, нужно сослаться на то, что и другие нагрузки (например, частичные поверхностные нагрузки) могут вызывать дополнительные вертикальные усилия в стене.

(4) Для определения характеристических значений требуемых параметров сыпучего материала (удельный вес γ , коэффициент трения о стенки μ и коэффициент го-

ризонгальной нагрузки K) должны применяться методы, описанные в 4.2 и 4.3.



- 1 — меньшее значение z_0 и $h_c/2$ для сварного бункера класса требований 2 или произвольное для других тонкостенных бункеров классов требований 2 и 3;
2 — произвольное значение

Рисунок 5.2 — Продольное и поперечное сечение с представлением диаграмм частичной поверхностной нагрузки:

а — тонкостенный круглый бункер;

б — другой круглый бункер

5.2.1.2 Частичная поверхностная нагрузка для случая нагрузки: общие требования

(1)Р Для того чтобы учесть неплановые несимметричные нагрузки вследствие эксцентриситета и недостатков при заполнении бункера, для случая нагрузки – заполнение должны устанавливаться частичные поверхностные нагрузки или другие подходящие установки нагрузок.

(2) Для бункеров класса требований 1 частичной поверхностной нагрузкой для случая нагрузки – заполнение можно пренебречь.

(3) Для бункеров для хранения порошкообразных сыпучих материалов, которые заполняются с помощью устройств для подачи воздуха, от установки частичной поверхностной нагрузки для случая нагрузки – заполнение можно отказаться.

(4) Величина частичной поверхностной нагрузки, устанавливаемой для случая нагрузки заполнения p_{pf} должна определяться с учетом максимального возможного эксцентриситета e_f насыпного конуса, получающегося на поверхности сыпучего материала (см. рисунок 1.1 б).

(5) Основное значение частичной поверхностной нагрузки для случая нагрузки заполнения p_{pf} должно устанавливаться:

$$p_{pf} = C_{pf} p_{nf}, \quad (5.8)$$

где p_{nf} — локальное значение горизонтального давления заполнения по формуле (5.1) в месте, в котором устанавливается частичная поверхностная нагрузка;

$$C_{pf} = 0,21 C_{op} [1 + 2E^2] (1 - t^{(-1,5[(h_c/d_c)-1])}), \quad (5.9)$$

здесь C_{op} — коэффициент сыпучего материала для частичной поверхностной нагрузки (см. таблицу E.1);

$$E = 2e_f/d_c; \quad (5.10)$$

Если же формула (5.9) дает отрицательное значение, то C_{pf} должно устанавливаться:

$$C_{pf} = 0. \quad (5.11)$$

e_f — максимальный эксцентриситет насыпного конуса, возникающего на поверхности сыпучего материала при заполнении (см. рисунок 1.1 b);

(6) Величина зоны, в которой должна устанавливаться частичная поверхностная нагрузка (см. рисунок 5.2), составляет:

$$s = \pi d_c / 16 \cong 0,2 d_c. \quad (5.12)$$

(7) Частичная поверхностная нагрузка состоит только из горизонтально действующей составляющей нагрузки. Силы трения вследствие этой горизонтальной компоненты нагрузки учитываться не должны.

(8) Форма частичной поверхностной нагрузки для случая нагрузки заполнения зависит от формы конструкции бункера. По отношению к устанавливаемым частичным поверхностным нагрузкам следует различать следующие конструктивные формы бункера:

— толстостенные бункеры с круглым поперечным сечением, см. 5.2.1.3 (железобетонные бункеры);

— тонкостенные бункеры с круглым поперечным сечением, см. 5.2.1.4 (металлические бункеры);

— бункеры с некруглым поперечным сечением, см. 5.2.1.5.

5.2.1.3 Частичная поверхностная нагрузка для случая нагрузки: толстостенные круглые бункеры

(1) Для толстостенных круглых бункеров основное значение частичной поверхностной нагрузки для случая заполнения p_{pf} на квадратную частичную поверхность с длиной стороны s на противоположные поверхности должно устанавливаться как действующее снаружи (см. формулу (5.12)). Размер боковой стороны s должен соответствующим образом к искривленной поверхности (см. рисунок 5.2 b).

(2) Дополнительно к действующей снаружи частичной поверхностной нагрузке p_{pf} в оставшейся зоне периметра бункера на одинаковой высоте стены (см. рисунок 5.2 б) должна устанавливаться направленная внутрь дополнительная частичная поверхностная нагрузка:

$$p_{pfi} = p_{pf}/7, \quad (5.13)$$

где p_{pf} — основное значение действующей снаружи частичной поверхностной нагрузки для случая нагрузки – заполнение по формуле (5.8).

Примечание — Величина и эффективная поверхность направленной внутрь нагрузки p_{pfi} должна выбираться такой, чтобы результирующая обеих составляющих нагрузки в месте, в котором она должна устанавливаться, в среднем взаимно уничтожалась.

(3) Частичная поверхностная нагрузка для случая нагрузки – заполнение должна устанавливаться в любом месте стены бункера. Но это может рассчитываться по способу, описанному в 5.2.1.3 (4).

(4) В толстостенных круглых бункерах класса требований 2 может вводиться упрощенное подтверждение. В качестве неблагоприятного места для установки частичной поверхностной нагрузки может рассматриваться половина высоты вертикального ствола элемента. Наибольшее увеличение напряжений в процентном отношении может переноситься на другие зоны стены в качестве результата установки частичной поверхностной нагрузки в этом месте, умножая его на величину отношения горизонтального давления заполнения в рассматриваемом месте к горизонтальному давлению заполнения в месте установки частичной поверхностной нагрузки.

5.2.1.4 Частичная поверхностная нагрузка для случая нагрузки: тонкостенные круглые бункеры

(1) Для тонкостенных круглых бункеров ($d_c/t > 200$) классов требований 2 и 3 частичная поверхностная нагрузка для случая заполнения должна устанавливаться на высоте s по формуле (5.12). Она передается от максимального давления, действующего снаружи в одном месте, величиной p_{pf} на противоположную сторону (см. рисунок 5.2 а). Ход в направлении окружности должен устанавливаться, как показано ниже:

$$p_{pfs} = p_{pf} \cos \theta, \quad (5.14)$$

где p_{pf} — частичная поверхностная нагрузка, действующая снаружи, по формуле (5.8);

θ — угловая координата в направлении окружности (см. рисунок 5.2 а).

(2) Горизонтальная нагрузка, получающаяся из частичной поверхностной нагрузки для случая нагрузки заполнения, F_{pf} для тонкостенных круглых бункеров должна рассчитываться по формуле (5.15):

$$F_{pf} = \frac{\pi}{2} s d_c p_{pf}. \quad (5.15)$$

(3) Для бункера из гофрированных листов класса требований 2 частичная поверхностная нагрузка может устанавливаться действующей на глубине z_p под по-

верхностью сыпучего материала. Для z_p должно устанавливаться меньшее из следующих значений:

$$z_p = z_0 \text{ и } z_p = 0,5h_c, \quad (5.16)$$

где h_c — высота вертикального ствола бункера (см. рисунок 1.1 а).

(4) Для бункеров с болтовыми и винтовыми соединениями класса требований 2 частичная поверхностная нагрузка может устанавливаться действующей в любом произвольном месте. Величина нагрузки, действующей вертикально на стенку бункера вдоль всей высоты бункера, может определяться упрощенно по единому процентному увеличению нагрузки.

5.2.1.5 Частичная поверхностная нагрузка для случая нагрузки: некруглые бункеры

(1) Для некруглых бункеров классов требований 2 и 3 частичные поверхностные нагрузки для случая нагрузки Заполнение должны учитываться за счет увеличения симметричных нагрузок по (2) и (3).

(2) Частичная поверхностная нагрузка, направленная снаружи, должна устанавливаться действующей в каждом месте и на каждой глубине в бункере на высоте s (по формуле (5.12) (см. рисунок 5.3 а).

(3) Величина равномерной частичной поверхностной нагрузки $p_{pf,nc}$ должна устанавливаться

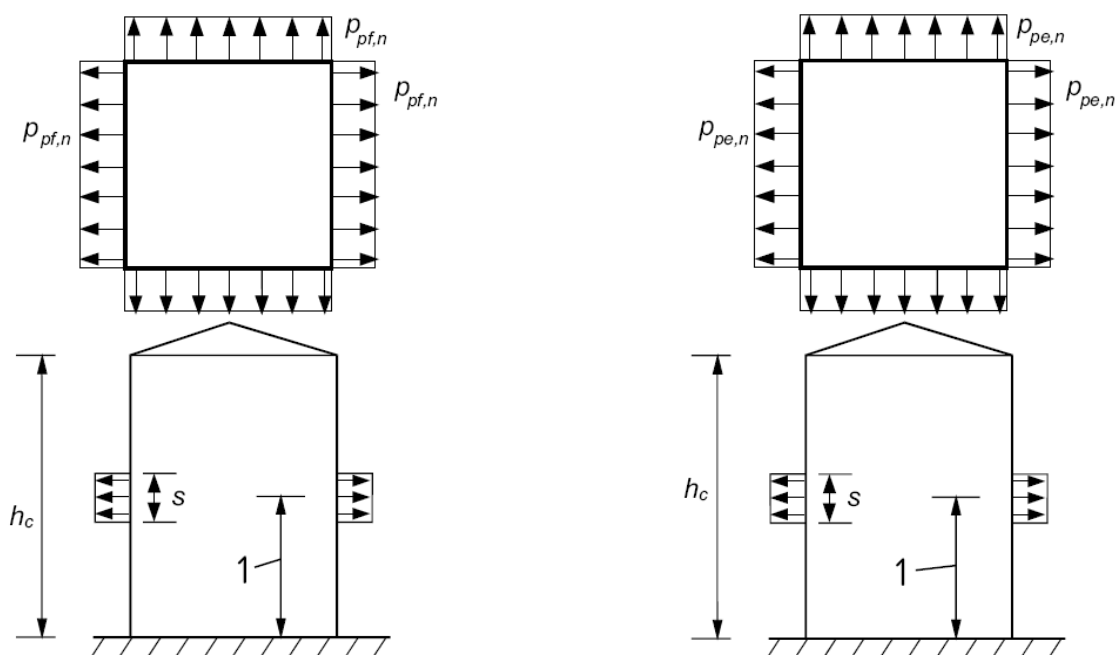
$$p_{pf,nc} = 0,36p_{pf}, \quad (5.17)$$

где p_{pf} представляет основное значение частичной поверхностной нагрузки для случая нагрузки – заполнение по формуле (5.8). Соответствующая оценка d_c должна выводиться по рисунку 1.1 d).

Примечание — Значение и объем равномерной нагрузки $p_{pf,nc}$ выбран таким, чтобы результирующие моменты изгиба для бункера с прямоугольным поперечным сечением бункера без внутренних стяжек принимался примерно того же порядка величины, как он получался при установке локальной частичной поверхностной нагрузки p_{pf} в центре стены.

а)

б)



1 — произвольное значение

Рисунок 5.3 — Продольное и поперечное сечение с представлением диаграмм нагрузки для некруглых бункеров:
a — случай нагрузки – заполнение;
b — случай нагрузки – разгрузка

5.2.2 Нагрузки при разгрузке на вертикальные стенки

5.2.2.1 Симметричные нагрузки при разгрузке

(1) Для учета возможного предшествующего приема нагрузок в процессах разгрузки в случае нагрузки Разгрузка должно устанавливаться увеличение симметричных составляющих нагрузки.

(2) Для бункеров всех классов требований симметричные нагрузки при разгрузке p_{he} и p_{we} должны определяться по формулам:

$$p_{he} = C_h p_{nf} ; \quad (5.18)$$

$$p_{we} = C_w p_{wf} , \quad (5.19)$$

где C_h — коэффициент разгрузки для горизонтальных нагрузок;

C_w — коэффициент разгрузки для нагрузок за счет трения о стенки.

Коэффициенты разгрузки C_h и C_w в зависимости от существующего случая должны определяться из формул (5.20) – (5.24).

(3) Для бункеров всех классов требований, которые разгружаются с поверхности сыпучего материала, (а следовательно, не имеют течения внутри хранящегося сыпучего материала) должны приниматься следующие значения C_h и C_w

$$C_h = C_w = 1,0. \quad (5.20)$$

(4) Для гибких бункеров классов требований 2 и 3 должны устанавливаться сле-

дующие значения коэффициентов разгрузки:

$$C_h = C_0 = 1,15; \quad (5.21)$$

$$C_w = 1,1. \quad (5.22)$$

где C_0 — коэффициент разгрузки сыпучего материала.

(5) Для гибких бункеров класса требований 1, у которых для определения нагрузки используются средние значения параметров сыпучего материала K и μ , в качестве коэффициентов разгрузки должны приниматься следующие значения:

$$C_h = 1,15 + 1,5 \cdot (1 + 0,4e/d_c) \cdot C_{op}; \quad (5.23)$$

$$C_w = 1,4 \cdot (1 + 0,4e/d_c); \quad (5.24)$$

$$e = \max(e_f, e_o). \quad (5.25)$$

где e_f — максимальный эксцентриситет насыпного конуса, возникающего на поверхности сыпучего материала при заполнении;

e_o — эксцентриситет средней точки сливного отверстия;

C_{op} — коэффициент сыпучего материала для частичной поверхностной нагрузки (см. таблицу E.1).

(6) Для случая нагрузки — разгрузка рассчитывается результирующее значение вертикальных сил резания на стене n_{zSk} — с единицей измерения силы на единицу длины в направлении периметра стены:

$$n_{zSk} = \int_0^z p_{we}(z) dz = C_w p_{ho} [z - z_o Y_J(z)]. \quad (5.26)$$

Примечание — Определяемая формулой (5.26) результирующая сила является характеристическим значением. При использовании этой формулы нужно обратить внимание на то, чтобы не забыть соответствующий коэффициент частичной безопасности для воздействий. Поэтому нужно соблюдать это указание, так как эта формула уже должна оцениваться как результат статического расчета (с применением теории мембран оболочки). Формула приведена в настоящем техническом кодексе для того, чтобы поддержать проектировщика несущих конструкций при интегрировании формулы (5.19). Кроме того, нужно сослаться на то, что и другие нагрузки (например, частичные поверхностные нагрузки) могут вызывать дополнительные вертикальные усилия в стене.

5.2.2.2 Частичная поверхностная нагрузка для случая нагрузки — разгрузка: общие требования

(1) Р Частичные поверхностные нагрузки для случая нагрузки — разгрузка должны устанавливаться для того, чтобы учесть как неплановые несимметричные нагрузки при разгрузке бункера, так и эксцентриситеты при заполнении и разгрузке (см. рисунок 1.1 b).

(2) Для бункеров класса требований 1 частичной поверхностной нагрузкой для случая нагрузки — разгрузка можно пренебречь.

(3) Для бункеров классов требований 2 и 3 для оценки нагрузок при разгрузке

должны использоваться методы этого раздела.

(4) Для бункеров классов требований 2 и 3 дополнительно к методам этого раздела должны применяться установки нагрузок для гибкого бункера (5.2.4) с большими эксцентриситетами при разгрузке (см. 5.1 (5) как отдельный случай нагрузки, если к ним относится одно из следующих условий:

— эксцентриситет сливного отверстия e_o больше критического значения $e_{o,cr} = 0,25d_c$ (см. рисунок 3.3 с);

— максимальный эксцентриситет при заполнении e_f больше критического значения $e_{f,cr} = 0,25d_c$, а гибкость бункера больше предельного значения $(h_c/d_c)_{lim} = 4,0$ (см. рисунок 3.4 d).

(5) Должно применяться основное значение частичной поверхностной нагрузки для случая нагрузки — разгрузка, p_{pe} :

$$p_{pe} = C_{pe} p_{ne}, \quad (5.27)$$

при этом для $h_c/d_c > 1,2$ действует C_{pe} по формуле (5.28).

$$C_{pe} = 0,42 C_{op} [1 + 2E^2] \cdot (1 - \exp\{-1,5[h_c / d_c] - 1\}). \quad (5.28)$$

Для $h_c/d_c \leq 1,2$ действует наибольшее значение, определенное по формулам (5.28), (5.29) или (5.30).

$$C_{pe} \geq 0,272 C_{op} \{(h_c / d_c - 1 + E)\}; \quad (5.29)$$

$$C_{pe} = 0, \quad (5.30)$$

$$E = 2e/d_c \quad (5.31)$$

$$e = \max(e_f, e_o), \quad (5.32)$$

где e_f — максимальный эксцентриситет насыпного конуса, возникающего на поверхности сыпучего материала при заполнении (см. рисунок 1.1 b);

e_o — эксцентриситет средней точки сливного отверстия;

p_{ne} — локальное значение горизонтального давления разгрузки по формуле (5.18) в месте, в котором устанавливается частичная поверхностная нагрузка;

C_{op} — коэффициент сыпучего материала для частичной поверхностной нагрузки (см. таблицу E.1).

(6) Частичная поверхностная нагрузка для случая нагрузки — разгрузка состоит только из действующей горизонтально составляющей нагрузки. Дополнительные силы трения вследствие горизонтальной компоненты нагрузки не должны учитываться.

(7) Форма частичной поверхностной нагрузки для случая нагрузки — разгрузка зависит от формы конструкции бункера. В настоящем техническом кодексе с точки зрения устанавливаемых частичных поверхностных нагрузок различают следующие формы конструкции бункеров:

— толстостенные бункеры с круглым поперечным сечением, см. 5.2.2.3 (железобетонные бункеры);

— тонкостенные бункеры с круглым поперечным сечением, см. 5.2.2.4 (металлические бункеры);

— бункеры с некруглым поперечным сечением, см. 5.2.2.5.

5.2.2.3 Частичная поверхностная нагрузка для случая нагрузки – разгрузка: толстостенные круглые силосы (бункеры)

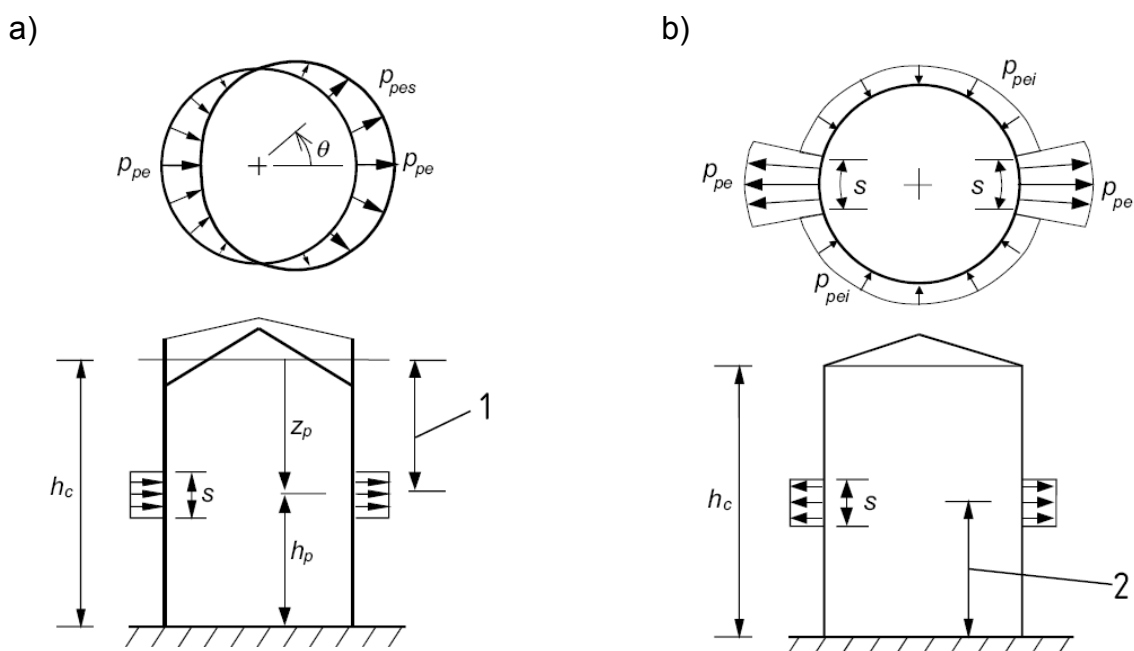
(1) Для толстостенных круглых бункеров основное значение частичной поверхностной нагрузки для случая нагрузки — разгрузка p_{pe} на квадратную частичную поверхность s длиной стороны s (см. формулу (5.12) на противоположные поверхности должно устанавливаться как действующее снаружи в соответствии с рисунком 5.4 б).

(2) Дополнительно к действующей снаружи частичной поверхностной нагрузке p_{pe} в оставшейся зоне периметра бункера на одинаковой высоте стены (см. рисунок 5.4 б) должна устанавливаться направленная внутрь дополнительная частичная поверхностная нагрузка p_{pei} :

$$p_{pei} = p_{pe}/7, \quad (5.33)$$

где p_{pe} — основное значение действующей снаружи частичной поверхностной нагрузки по формуле (5.27).

Примечание — Величина и эффективная поверхность направленной внутрь нагрузки p_{pei} должна выбираться такой, чтобы результирующая обеих составляющих нагрузки в месте, в котором она должна устанавливаться, в среднем взаимно уничтожалась.



1 — меньшее значение z_0 и $h_c/2$ для сварного бункера класса требований 2 или произвольное для других тонкостенных бункеров классов требований 2 и 3;
2 — произвольное значение

Рисунок 5.4 — Продольное и поперечное сечение с представлением диаграмм частичной поверхностной нагрузки при разгрузке:

a — тонкостенный круглый бункер;
b — другой круглый бункер

(3) Частичная поверхностная нагрузка для случая нагрузки – разгрузка должна устанавливаться в любом произвольном месте стены бункера. Но это может рассчитываться по способу, описанному в 5.2.2.3 (4).

(4) В толстостенных круглых бункерах класса требований 2 может вводиться упрощенное подтверждение. В качестве неблагоприятного места для установки частичной поверхностной нагрузки может рассматриваться половина высоты вертикального ствола элемента. Наибольшее увеличение напряжений мембраны в процентном отношении может переноситься на другие зоны стены в качестве результата установки частичной поверхностной нагрузки в этом месте, умножая его на величину отношения горизонтального давления заполнения в рассматриваемом месте к горизонтальному давлению заполнения в месте установки частичной поверхностной нагрузки.

5.2.2.4 Частичная поверхностная нагрузка для случая нагрузки – разгрузка: тонкостенные бункеры

(1) Для тонкостенных круглых бункеров классов требований 2 и 3 частичная поверхностная нагрузка для случая разгрузка должна устанавливаться на высоте s по формуле (5.12). Она передается от максимального давления, действующего внутри в одном месте, величиной p_{pe} на противоположную сторону (см. рисунок 5.4 а). Ход в направлении окружности должен устанавливаться:

$$p_{pes} = p_{pe} \cos \theta, \quad (5.34)$$

где p_{pe} — частичная поверхностная нагрузка, действующая снаружи, по формуле (5.27);

θ — угловая координата в направлении окружности (см. рисунок 5.4 а).

(2) Горизонтальная нагрузка, получающаяся из частичной поверхностной нагрузки для случая нагрузки – разгрузка, F_{pe} для тонкостенных круглых бункеров должна рассчитываться по формуле (5.35):

$$F_{pe} = \frac{\pi}{2} s d_c p_{pe}. \quad (5.35)$$

(3) Для сварного бункера класса требований 2 частичная поверхностная нагрузка может устанавливаться действующей на глубине z_p под поверхностью насыпного сырья. Для z_p должно устанавливаться меньшее из следующих значений:

$$z_p = z_o \text{ и } z_p = 0,5h_c, \quad (5.36)$$

где h_c — высота вертикального ствола бункера (см. рисунок 1.1 а).

(4) Для бункеров с болтовыми и винтовыми соединениями класса требований 2 частичная поверхностная нагрузка может устанавливаться действующей в любом произвольном месте. Величина нагрузки, действующей вертикально на стенку бункера вдоль всей высоты бункера, может определяться упрощенно по единому процентному увеличению нагрузки. В качестве альтернативы может применяться метод

по 5.2.3.

5.2.2.5 Частичная поверхностная нагрузка для случая нагрузки – разгрузка: некруглые бункеры

(1) Для некруглых бункеров классов требований 2 и 3 частичные поверхностные нагрузки для случая нагрузки – заполнение должны учитываться за счет увеличения симметричных нагрузок по (2) и (3).

(2) Частичная поверхностная нагрузка, направленная снаружи, должна устанавливаться действующей в каждом месте и на каждой глубине в бункере на высоте s (по формуле 5.12) (см. рисунок 5.3 b).

(3) Величина приема равномерной, симметричной частичной поверхностной нагрузки $p_{pe,nc}$ для некруглых бункеров должна устанавливаться

$$p_{pe,nc} = 0,36p_{pe}, \quad (5.37),$$

где p_{pe} — основное значение частичной поверхностной нагрузки для случая нагрузки – разгрузка (см. формулу (5.27)).

Примечание — Значение и объем равномерной нагрузки $p_{pe,nc}$ выбран таким, чтобы результирующие моменты изгиба для бункера с прямоугольным поперечным сечением бункера без внутренних стяжек принимался примерно того же порядка величины, как он получался при установке локальной частичной поверхностной нагрузки p_{pe} в центре стены.

5.2.3 Равномерное повышение нагрузки как замена частичной поверхностной нагрузки для случаев нагрузки – заполнение и разгрузка круглых бункеров

(1) Для бункеров класса требований 2 метод частичных поверхностных нагрузок по 5.2.1 и 5.2.2 для учета асимметрии при заполнении и разгрузке приближенно может заменяться равномерным увеличением нагрузки.

(2) Для некруглых бункеров равномерное повышение определено в 5.2.1.5 и 5.2.2.5.

(3) Для круглых бункеров следующие установки должны применяться только тогда, когда вертикальный ствол бункера на нижнем и верхнем конце образован соответствующими элементами жесткости против горизонтальных деформаций. Круглая цилиндрическая обшивка бункера на верхнем конце и в точке опоры по всему объему должна удерживаться, к примеру, конструктивным соединением с крышей или кольцом жесткости.

(4) У толстостенных круглых бункеров результирующие горизонтальные нагрузки для случая нагрузки – заполнение $p_{hf,u}$ и разгрузка $p_{he,u}$ должны рассчитываться по формулам:

$$p_{hf,u} = p_{hf} \cdot (1 + \zeta C_{pf}); \quad (5.38)$$

$$p_{he,u} = p_{he} \cdot (1 + \zeta C_{pe}) \quad (5.39)$$

$$с \quad \zeta = 0,5 + 0,01 \cdot (d_c/t) \quad (5.40)$$

$$и \quad \zeta \geq 1,0, \quad (5.41)$$

где p_{hf} — симметричная горизонтальная нагрузка после заполнения по формуле

- (5.1);
- p_{he} — симметричная горизонтальная нагрузка при разгрузке по формуле (5.18);
- C_{pf} — коэффициент частичной поверхностной нагрузки для случая нагрузки — заполнение по формуле (5.9);
- C_{pe} — коэффициент частичной поверхностной нагрузки для случая нагрузки — разгрузка по формуле (5.28).

(5) Для тонкостенных круглых бункеров результирующие горизонтальные нагрузки для случая нагрузки — заполнение $p_{hf,u}$ и разгрузка $p_{he,u}$ и вытекающие из них нагрузки за счет трения о стенки $p_{wf,u}$ и $p_{we,u}$ должны рассчитываться по формулам:

$$p_{hf,u} = p_{hf} \cdot (1 + 0,5C_{pf}); \quad (5.42)$$

$$p_{wf,u} = p_{wf} \cdot (1 + C_{pf}); \quad (5.43)$$

$$p_{he,u} = p_{he} \cdot (1 + 0,5\zeta C_{pe}); \quad (5.44)$$

$$p_{we,u} = p_{we} \cdot (1 + C_{pf}), \quad (5.45)$$

где p_{wf} — симметричная нагрузка за счет трения о стенки для случая нагрузки — заполнение по формуле (5.2);

p_{we} — симметричная нагрузка за счет трения о стенки для случая нагрузки — разгрузка по формуле (5.19);

Параметры p_{hf} , p_{he} , C_{pf} и C_{pe} должны рассчитываться по описанному в (3) способу.

5.2.4 Нагрузки при разгрузке круглых силосов (бункеров) с большим эксцентриситетом при разгрузке

5.2.4.1 Общие положения

(1) Если эксцентриситет сливного отверстия e_o больше критического значения $e_{o,cr} = 0,25d_c$, то в бункерах классов требований 2 и 3 для учета эксцентрической разгрузки в форме каминного потока над сливным отверстием должны приниматься приведенные ниже методы для определения распределения нагрузки (см. рисунок 5.5 а).

(2) Если максимальный эксцентриситет при заполнении e_f больше критического значения $e_{f,cr} = 0,25d_c$, а гибкость бункера больше $h_c/d_c = 4,0$, то для бункеров классов требований 2 и 3 должны применяться приведенные ниже методы для определения распределения давления в бункере. Это распределение давления может настраиваться в виде результата образования эксцентрического канала потока в трубе (см. рисунки 3.4 d) и 5.5 а).

(3) Если применимо, (см. (1) и (2)), то методы по 5.2.4.2 и 5.2.4.3 должны устанавливаться как отдельные независимые случаи нагрузки. Эти дополнительные случаи нагрузки не зависят от тех, которые определены давлениями заполнения и разгрузки по методам частичной поверхностной нагрузки в 5.2.2 и 5.2.3.

(4) Определение этих нагрузок должно проводиться с использованием нижнего характеристического значения трения о стенки μ и верхнего характеристического зна-

чения угла внутреннего трения ϕ_j .

(5) Для бункеров класса требований 2 разрешен упрощенный метод по 5.2.4.2. Для бункеров класса требований 3 должны применяться методы по 5.2.4.3.

5.2.4.2 Методы для бункеров класса требований 2

5.2.4.2.1 Геометрия канала течения

(1) Для бункеров класса требований 2 расчеты должны проводиться только для размера канала течения, контактирующего со стеной бункера. Размер зоны течения при этом должен определяться по значению угла

$$\theta_c = 35^\circ. \quad (5.46)$$

5.2.4.2.2 Толщина стенок при эксцентрической разгрузке

(1) В зоне течения горизонтальные нагрузки на вертикальную стену бункера (см. рисунок 5.5 с) должны приниматься по формуле

$$p_{hce} = 0. \quad (5.47)$$

(2) В зоне, в которой сыпучий материал не движется, горизонтальные нагрузки на вертикальную стену бункера должны устанавливаться на глубине z (см. рисунок 5.5.с) по формулам:

$$p_{hse} = p_{hfi}, \quad (5.48)$$

$$p_{hae} = 2p_{hfi}, \quad (5.49)$$

а нагрузка трением о стенки на стену на глубине z — по формулам:

$$p_{wse} = p_{wfi}, \quad (5.50)$$

$$p_{wae} = 2p_{wfi}, \quad (5.51)$$

где p_{hfi} — горизонтальная нагрузка для случая нагрузки – заполнение по формуле (5.1);

p_{wfi} — нагрузка за счет трения о стенки для случая нагрузки – заполнение по формуле (5.2).

Примечание — Этот упрощенный метод соответствует «пустой» вытяжке (пустой канал течения) и поэтому, иногда, дает очень консервативные нагрузки.

(3) В качестве альтернативы могут использоваться и методы по 5.2.4.3.2.

5.2.4.3 Метод для бункера класса требований 3

5.2.4.3.1 Геометрия канала течения

(1) Геометрия и положение канала течения должны выбираться таким образом, чтобы за счет этого адекватно учитывались геометрия бункера, условия разгрузки и свойства сыпучего материала.

(2) Если условие разгрузки выводится к каналу течения хорошо определенной геометрии и местоположения, то должны быть приняты соответствующие параметры для этого канала течения.

(3) Если геометрия канала течения не может выводиться непосредственно из расположения сливных отверстий и геометрии бункера, то расчеты должны проводиться как минимум с тремя разными радиусами канала течения r_c , чтобы учесть случайное изменение величины канала течения

во времени. При этом должны учитываться следующие три значения:

$$r_c = k_1 r, \quad (5.52)$$

$$r_c = k_2 r, \quad (5.53)$$

$$r_c = k_3 r, \quad (5.54)$$

где r — радиус круглого бункера ($= d_c/2$).

Примечание — Значения k_1 , k_2 и k_3 должны определяться в национальном приложении. Рекомендуются соответственно 0,25, 0,4 или 0,6.

(4) Эксцентриситет канала течения e_c (см. рисунок 5.5) должен устанавливаться с помощью:

$$e_c = r\{\eta \cdot (1-G) + (1-\eta) \cdot \sqrt{1-G}\}, \quad (5.55)$$

где $G = r_c/r, \quad (5.56)$

$$\eta = \frac{\mu}{\tan\phi_i}, \quad (5.57)$$

здесь μ — нижнее характеристическое значение коэффициента трения о стенки для вертикальной стены бункера;

ϕ_i — верхнее характеристическое значение угла внутреннего трения хранящегося сыпучего материала;

r_c — расчетное значение радиуса канала течения по формулам (5.52) – (5.54).

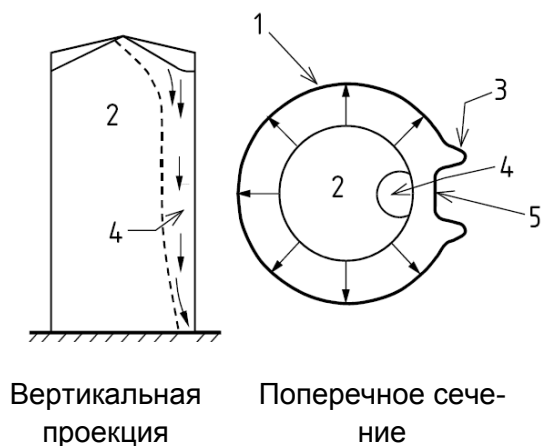
Примечание 1 — Необходимо указать на то, что всегда $\phi_w \leq \phi_i$, так как в противном случае образовывалась бы поверхность скольжения внутри сыпучего материала. Это значит, что в формуле (5.56) всегда $\eta \leq 1$.

Примечание 2 — Эксцентриситет канала течения e_c может, как видно из рисунка 3.4 d), варьироваться.

Он зависит не только от одного эксцентриситета сливного отверстия. Указанный метод предусматривает учет таких ситуаций, которые при любой геометрии бункера и конструктивном расположении приводят к неблагоприятным отношениям. Эксцентриситет канала течения может в результате этого быть меньше критического эксцентриситета заполнения $e_{f,cr}$ и меньше критического эксцентриситета разгрузки $e_{e,cr}$.

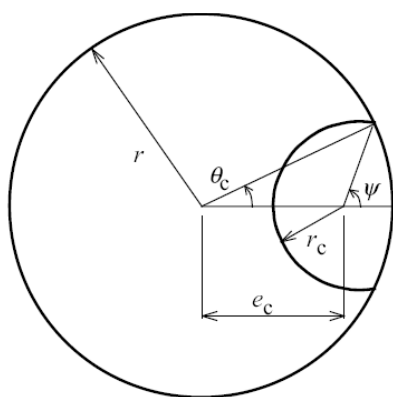
Примечание 3 — Это определение положения и размера канала течения основывается на принципе минимизации сопротивления трению сыпучего материала по площади круга канала течения при упрощенном допущении, что периметр канала течения представляет собой круговую дугу. Для определения периметра канала течения могут применяться и другие подходящие методы.

a)

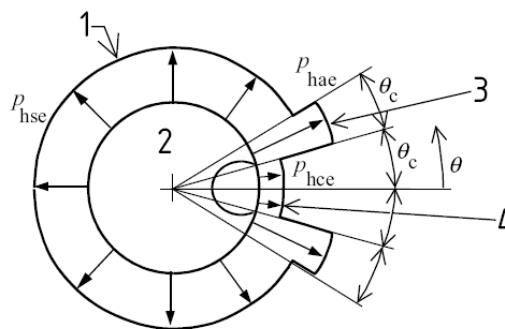


1 — статическое давление; 2 — спокойный сыпучий материал;
3 — канал течения; 4 — давление течения; 5 — местное повышение давления

b)



с)



1 — статическое давление; 2 — спокойный сыпучий материал;
3 — краевые нагрузки канала течения; 4 — давление канала течения

Рисунок 5.5 — Канал течения и распределение давления при разгрузке с большими эксцентриситетами:
а — канал течения и распределение давления;
б — геометрия канала течения;
с — распределение давления

(5) Если это не противоречит приведенным выше требованиям относительно принятого радиуса канала течения для воронок «расширенного течения» (см. рисунок 3.5 d), то должен рассматриваться дополнительный случай канала течения с радиусом r_c , соответствующим радиусу поперечного сечения бункера на верхнем краю воронки для «расширенного течения».

(6) Ограничение контактной поверхности между каналом течения и стеной бункера должно определяться круговыми координатами $\theta = \pm\theta_c$, причем:

$$\cos \theta_c = (r^2 + e_c^2 - f_c^2) / (2re_c). \quad (5.58)$$

(7) Длина дуги контактной поверхности между каналом течения и стеной должна рассчитываться как:

$$U_{wc} = 2\theta_c r, \quad (5.59)$$

а длина дуги контактной поверхности между каналом течения и не находящимся в движении сыпучим материалом должна рассчитываться как:

$$U_{sc} = 2r_c \cdot (\pi - \psi), \quad (5.60)$$

при этом
$$\sin \psi = \frac{r}{r_c} \sin \theta_c. \quad (5.61)$$

Оба угла θ_c и ψ должны устанавливаться в дуговой мере.

(8) Площадь поперечного сечения канала течения должна рассчитываться, по формуле:

$$A_c = (\pi - \psi)r_c^2 + \theta_c r^2 - r r_c \sin(\psi - \theta_c). \quad (5.62)$$

5.2.4.3.2 Нагрузки на стену при разгрузке с большими эксцентриситетами

(1) Нагрузки на вертикальные стены в зоне канала течения (см. рисунок 5.5 с) зависят от глубины z под эквивалентной поверхностью сыпучего материала и должны рассчитываться по формуле:

$$p_{hce} = p_{hco} \cdot (1 - e^{-z/z_{oc}}). \quad (5.63)$$

Нагрузки за счет трения о стенки, действующие на глубине z , определяются по формуле (5.63) для:

$$p_{wce} = \mu p_{hce} = \mu p_{hco} \cdot (1 - e^{-z/z_{oc}}) \quad (5.64)$$

с
$$p_{hco} = \gamma K z_{oc}; \quad (5.65)$$

$$z_{oc} = \frac{1}{K} \cdot \left(\frac{A_c}{U_{wc} \mu + U_{sc} \tan \varphi_i} \right), \quad (5.66)$$

где μ — коэффициент трения о стенки в зоне вертикальной стены;

K — коэффициент горизонтальной нагрузки сыпучего материала.

(2) Горизонтальные нагрузки на стену бункера на глубине z в зоне вне зоны течения, в которой сыпучий материал не движется (см. рисунок 5.5 с), должны устанавливаться с:

$$p_{hse} = p_{hfs}, \quad (5.67)$$

а нагрузка за счет трения о стенки на стену на глубине z :

$$p_{wse} = p_{wfs}, \quad (5.68)$$

где p_{hfs} — горизонтальная нагрузка для случая нагрузки – заполнение по формуле (5.1);

p_{wfs} — нагрузка трением о стенки для случая нагрузки – заполнение по формуле (5.2).

(3) Непосредственно на переходе от зоны течения к зоне, в которой сыпучий материал не движется, действуют более высокие нагрузки p_{hae} на вертикальные стены бункера (см. рисунок 5.5 с). Эти дополнительные нагрузки, действующие снаружи на глубине z под эквивалентной поверхностью сыпучего материала, около канала тече-

ния должны устанавливаться с:

$$p_{hae} = 2p_{hf} - p_{hce}, \quad (5.69)$$

а соответствующие нагрузки за счет трения о стенки на глубине z в соответствии с:

$$p_{wae} = \mu p_{hae}. \quad (5.70)$$

5.3 Низкие бункеры и бункеры средней гибкости

5.3.1 Заполняющие нагрузки на вертикальные стенки

(1) Симметричные нагрузки для случая нагрузки – заполнение (см. рисунок 5.6) должны определяться по формулам (5.71) – (5.80).

(2) Значения горизонтальных нагрузок p_{hf} и нагрузок за счет трения о стенки p_{wf} для случая нагрузки – заполнение должны устанавливаться в каждом месте, как показано ниже:

$$p_{hf} = p_{ho} Y_R; \quad (5.71)$$

$$p_{wf} = \mu p_{hf} \quad (5.72)$$

с:

$$p_{ho} = \gamma K z_o = \gamma \cdot \frac{1}{\mu} \cdot \frac{A}{U}; \quad (5.73)$$

$$Y_R = \left(1 - \left\{ \left(\frac{z - h_o}{z_o - h_o} \right) + 1 \right\}^n \right); \quad (5.74)$$

$$z_o = \frac{1}{K\mu} \cdot \frac{A}{U}; \quad (5.75)$$

$$n = -(1 + \tan\phi_r) (1 - h_o/z_o), \quad (5.76)$$

где h_o — расстояние по вертикали между эквивалентной поверхностью сыпучего материала

и наиболее высоким местом контакта хранимого сыпучего материала со стеной (см. рисунки 1.1 а) и 5.6). Размер h_o должен приниматься:

— для симметрично заполненного круглого бункера с радиусом r :

$$h_o = \frac{r}{3} \tan\phi_r; \quad (5.77)$$

— для симметрично заполненного прямоугольного бункера с размером d_c :

$$h_o = \frac{d_c}{4} \tan\phi_r, \quad (5.78)$$

γ — характеристическое значение удельного веса сыпучего материала;

μ — характеристическое значение коэффициента трения о стенки между сыпучим материалом и вертикальной стенкой бункера;

K — характеристическое значение коэффициента горизонтальной нагрузки хранимого сыпучего материала;

z — глубина под эквивалентной поверхностью сыпучего материала;

A — площадь поперечного сечения вертикального ствола бункера;

U — периметр поверхности внутреннего поперечного сечения вертикального ствола бункера;

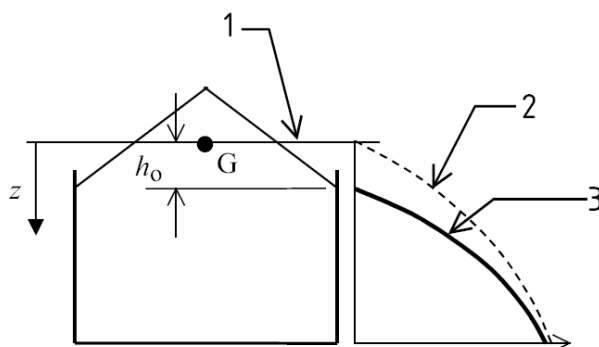
ϕ_r — угол скоса сыпучего материала (см. таблицу Е.1).

(3) Величина вертикальной нагрузки p_{vf} для случая нагрузки – заполнение устанавливается формулой:

$$p_{vf} = \gamma z_V, \quad (5.79)$$

где

$$z_V = h_o - \frac{1}{(n+1)} \left(z_o - h_o - \frac{(z + z_o - 2h_o)^{n+1}}{(z_o - h_o)^n} \right). \quad (5.80)$$



- 1 — эквивалентная поверхность сыпучего материала;
 2 — нагрузки бункера по положениям для гибких бункеров;
 3 — нагрузки для низких бункеров

**Рисунок 5.6 — Нагрузки в низком бункере
или в бункере со средней гибкостью
после заполнения нагрузки заполнения**

(4) Для случая нагрузки – заполнение рассчитывается результирующее характеристическое значение вертикальных сил резания стен n_{zSk} с единицей измерения силы на единицу длины в направлении периметра стены:

$$n_{zSk} = \int_0^z p_{wf}(z) dz = \mu p_{h_o}(z - z_V), \quad (5.81)$$

где z_V — по формуле (5.80).

Примечание — Результирующая сила, определенная по формуле (5.81), это характеристическое значение. При применении этой формулы нужно следить за тем, чтобы не забыть соответствующий коэффициент частичной поверхностной нагрузки воздействий. Это указание должно соблюдаться потому, что это формула уже должна оцениваться в качестве результата статического расчета (с

применением теории мембран оболочки). Формула приведена в настоящем техническом кодексе для того, чтобы поддержать проектировщика несущих конструкций при интегрировании формулы (5.2). Кроме того, нужно сослаться на то, что и другие нагрузки (например, частичные поверхностные нагрузки) могут вызывать дополнительные вертикальные усилия в стене.

5.3.1.2 Частичная поверхностная нагрузка для случая нагрузки – заполнение

(1) Частичная поверхностная нагрузка при заполнении должна учитываться как действующая перпендикулярно стене бункера.

(2) Частичная поверхностная нагрузка состоит только из действующей горизонтально составляющей нагрузки. Дополнительные нагрузки за счет трения вследствие этой горизонтальной компоненты учитываться не должны.

(3) Для низких бункеров ($h_c/d_c \leq 1,0$) всех классов требований частичной поверхностной нагрузкой для случая нагрузки – заполнение можно пренебречь ($C_{pf} = 0$).

(4) Для бункеров со средней гибкостью ($1,0 < h_c/d_c < 2,0$) класса требований 1 частичной поверхностной нагрузкой для случая нагрузки – заполнение можно пренебречь.

(5) Для бункеров со средней гибкостью ($1,0 < h_c/d_c < 2,0$) классов требований 2 и 3 для учета случайных асимметрий нагрузок и малых эксцентриситетов при заполнении e_f (см. рисунок 1.1 b) должны применяться частичные поверхностные нагрузки для случая нагрузки – заполнение p_{pf} по 5.2.1.

(6) Для плоских бункеров или для бункеров со средней гибкостью ($h_c/d_c < 2,0$) по классам требований 2 и 3, у которых эксцентриситет заполнения e_f превышает критическое значение $e_{f,cr} = 0,25d_c$, должен устанавливаться дополнительный случай нагрузки для больших эксцентриситетов заполнения плоских бункеров по 5.3.3.

5.3.2 Нагрузки при разгрузке на вертикальные стенки бункера

5.3.2.1 Симметричные нагрузки при разгрузке

(1) Для учета возможного предшествующего приема нагрузок для случая нагрузки – разгрузка должно устанавливаться увеличение симметричных составляющих нагрузки.

(2) Для низких бункеров ($h_c/d_c \leq 1,0$) симметричные нагрузки при разгрузке могут уравниваться нагрузками заполнения.

(3) Для бункеров со средней гибкостью ($1,0 < h_c/d_c < 2,0$) симметричные нагрузки при разгрузке p_{he} и p_{we} должны рассчитываться по формулам:

$$p_{he} = C_h p_{nf} ; \quad (5.82)$$

$$p_{we} = C_w p_{wf} , \quad (5.83)$$

где C_h , C_w — коэффициенты разгрузки для горизонтальных нагрузок и нагрузок за счет трения о стенки в соответствии с формулами (5.84) – (5.89).

(4) Для бункеров всех классов требований, которые разгружаются с поверхности сыпучего материала (а следовательно, не имеют течения внутри хранящегося сыпучего материала), действует:

$$C_w = C_h = 1,0. \quad (5.84)$$

(5) Для бункеров со средней гибкостью классов требований 2 и 3 должны устанавливаться следующие значения коэффициентов разгрузки:

$$C_h = 1,0 + 0,15C_S; \quad (5.85)$$

$$C_w = 1,0 + 0,1C_S; \quad (5.86)$$

$$C_S = h_c/d_c - 1,0, \quad (5.87)$$

где C_S — коэффициент гибкости.

(6) Для бункеров со средней гибкостью класса требований 1, если в установках нагрузок использовались средние значения характеристик материала K и μ , коэффициенты разгрузки должны рассчитываться, как показано ниже:

$$C_h = 1,0 + \{0,15 + 1,5(1 + 0,4e/d_c)C_{op}\} \cdot C_S; \quad (5.88)$$

$$C_w = 1,0 + 0,4(1 + 1,4e/d_c) \cdot C_S; \quad (5.89)$$

$$e = \max(e_f, e_o), \quad (5.90)$$

где e_f — максимальный эксцентриситет насыпного конуса при заполнении;

e_o — эксцентриситет средней точки сливного отверстия;

C_{op} — коэффициент сыпучего материала для частичной поверхностной нагрузки по таблице E.1;

C_S — коэффициент гибкости по формуле (5.87).

(7) Для случая нагрузки – заполнение рассчитывается результирующее характеристическое значение вертикальных сил резания стен n_{zSk} с единицей измерения силы на единицу длины в направлении периметра стены, на каждой высоте стены по следующей формуле:

$$n_{zSk} = \int_0^z p_{we}(z) dz = C_w \mu p_{ho}(z - z_V), \quad (5.91)$$

где z_V — по формуле (5.80).

Примечание — Результирующая сила, определенная по формуле (5.91), это характеристическое значение. При применении этой формулы нужно следить за тем, чтобы не забыть соответствующий коэффициент частичной поверхностной нагрузки воздействий. Это указание должно соблюдаться потому, что эта формула уже должна оцениваться в качестве результата статического расчета (с применением теории мембран оболочки). Формула приведена в настоящем техническом кодексе для того, чтобы поддержать проектировщика несущих конструкций при интегрировании формулы (5.2). Кроме того, нужно сослаться на то, что и другие нагрузки (например, частичные поверхностные нагрузки) могут вызывать дополнительные вертикальные усилия в стене.

5.3.2.2 Частичная поверхностная нагрузка

(1) Частичные поверхностные нагрузки p_{pe} для случая нагрузки – разгрузка должны устанавливаться для учета неплановых нагрузок и малых эксцентриситетов при заполнении (см. рисунок 1.1 b).

(2) Данные для определения формы, положения и величины частичной поверх-

ностной нагрузки для случая нагрузки – разгрузка должны браться по положениям по 5.2.2.

(3) Для низких бункеров и для бункеров со средней гибкостью ($h_c/d_c < 2,0$) всех классов требований при эксцентриситете e_o в процессе разгрузки, который превышает критическое значение $e_{o,cr} = 0,25d_c$, должен устанавливаться дополнительный случай нагрузки по 5.3.4.

(4) Для низких бункеров ($h_c/d_c \leq 1,0$) класса требований 1 величина частичной поверхностной нагрузки для случая нагрузки – разгрузка учитываться не должна (т. е. $C_{pe} = 0$).

(5) Для бункеров со средней гибкостью ($h_c/d_c < 2,0$) класса требований 1 величина частичной поверхностной нагрузки для случая нагрузки – разгрузка учитываться не должна (т. е. $C_{pe} = 0$).

(6) Для низких бункеров ($h_c/d_c \leq 1,0$) класса требований 2 и эксцентриситета в процессе разгрузки e_o , который больше критического значения $e_{o,cr} = 0,1d_c$, должны применяться определения по 5.3.2.3.

(7) Для бункеров со средней гибкостью ($1,0 < h_c/d_c < 2,0$) класса требований 2 должны применяться определения по 5.3.2.3.

(8) Для низких бункеров ($h_c/d_c \leq 1,0$) класса требований 3 и эксцентриситета в процессе разгрузки e_o , который больше критического значения $e_{o,cr} = 0,1d_c$, должны применяться определения по 5.3.2.2 – 5.2.2.5 в зависимости от пригодности.

(9) Для бункеров со средней гибкостью ($1,0 < h_c/d_c < 2,0$) класса требований 3 должны применяться определения по 5.3.2.2 – 5.2.2.5 в зависимости от пригодности.

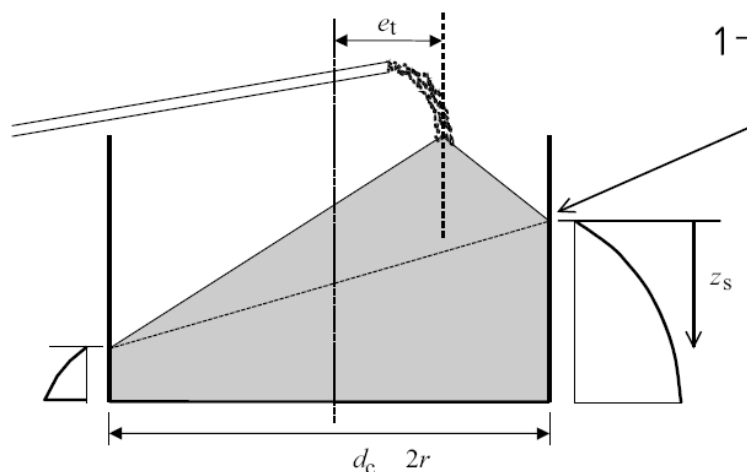
5.3.2.3 Равномерное повышение горизонтальных нагрузок в качестве замены частичных поверхностных нагрузок для случаев нагрузки – заполнение и разгрузка

(1) Для бункеров класса требований 2 для учета асимметрии при заполнении и разгрузке приближенно может использоваться метод частичных поверхностных нагрузок по 5.3.1.2 и 5.3.2.2 за счет равномерного увеличения горизонтальных нагрузок.

(2) В зависимости от существующего случая могут применяться методы по 5.2.3 за счет применения формул (5.38) – (5.45) к значениям частичных поверхностных нагрузок по 5.3.1.2 и 5.3.2.2.

5.3.3 Большие эксцентриситеты при заполнении круглых низких бункеров и круглых бункеров средней гибкости

(1) Для круглых низких бункеров и круглых бункеров со средней гибкостью ($h_c/d_c \leq 2,0$) класса требований 3 и эксцентриситетом насыпного конуса при заполнении e_f , который больше критического значения $e_{f,cr} = 0,25d_c$ (см. рисунок 5.7), должно рассматриваться влияние несимметричного распределения нагрузки с точки зрения вертикальных нагрузок на стены бункера.



1 — наиболее высоко расположенное место контакта стены бункера с сыпучим материалом

Рисунок 5.7 — Давления заполнения в низком бункере с эксцентричным заполнением или в бункере со средней гибкостью

(2) При традиционном расчете должны выполняться требования 5.3.3 (1)Р, если вертикальные нагрузки на стены n_{zSk} по формуле (5.92) складываются с симметричными нагрузками заполнения. Симметричные нагрузки должны определяться для уровня заполнения с эквивалентной поверхностью сыпучего материала, соответствующего принятому симметричному заполнению по 5.3.1.1.

(3) Влияние несимметричных нагрузок может учитываться повышением вертикальных усилий в зоне стены, где высота заполнения самая большая.

Примечание — Повышение вертикальных усилий получается в результате общего изгиба бункера, если на противоположную стену не действует горизонтальное давление. Следовательно, прирост вертикальной нагрузки непосредственно прибавляется к нагрузкам за счет трения о стенки, которые рассчитываются по симметричным случаям нагрузки (см. выше).

(4) Расчеты должны проводиться с верхним характеристическим значением параметров сыпучего материала K и μ .

(5) Характеристическое значение результирующих дополнительных вертикальных усилий на стену бункера $n_{zSk}(z_s)$ должно определяться на глубине z_s под самой высокой точкой соприкосновения сыпучего материала со стеной по формуле:

$$n_{zSk} = 0,04 p_{ho} z_s \tan \phi_r \cdot (e_t / r) \cdot (6 + 7Z - Z^2) \quad (5.92)$$

где

$$p_{ho} = \frac{\gamma}{\mu} \cdot \frac{A}{U} = \frac{\gamma r}{2\mu}; \quad (5.93)$$

$$Z = \frac{z_s}{B}; \quad (5.94)$$

$$\text{здесь} \quad B = \frac{r}{2\mu k} - h_o; \quad (5.95)$$

$$h_o = r \tan \phi_r [1 - (e_t / r)^2] / 3 \quad (5.96)$$

z_s — глубина под самым высоким местом контакта сыпучего материала со стеной;

ϕ_r — угол скоса сыпучего материала;

r — радиус круглой стены бункера;

e_t — эксцентриситет пика насыпного конуса заполнения в радиальном направлении (см. рисунки 1.1 b) и 5.7).

Примечание — Сила резания, определенная по формуле (5.92), является характеристическим значением. При использовании этой формулы нужно следить за тем, чтобы не забыть соответствующий коэффициент частичной безопасности воздействий. Это указание нужно соблюдать потому, что эта формула уже должна оцениваться как результат статического расчета (с применением теории мембран оболочки).

(6) Составляющая нагрузки из формулы (5.92) должна накладываться на составляющую нагрузки из суммированной нагрузки за счет трения о стенки по формуле (5.81).

5.3.4 Большие эксцентриситеты разгрузки в круглых низких бункерах и круглых средней гибкости бункерах

(1) Для эксцентриситета разгрузки e_o , который больше критического значения $e_{o,cr} = 0,25d_c$, для низких бункеров и бункеров со средней гибкостью ($h_c/d_c < 2,0$) классов требований 2 и 3 должны применяться методы по 5.2.4. Описанные в них нагрузки должны рассматриваться как дополнительный случай нагрузки, рассматриваемый отдельно от симметричных нагрузок и частичных поверхностных нагрузок (по 5.3.2).

5.4 Бункеры с опорными стенами

5.4.1 Заполняющие нагрузки на вертикальные стенки

(1) Влияние геометрии насыпного конуса и, если требуется, искривления стены бункера должно учитываться при определении нагрузок заполнения.

(2) При определении коэффициента горизонтальной нагрузки K должно учитываться сопротивление стены радиальному удлинению (в общем случае, условия статического давления). При расчетном подтверждении достаточной (упругой) деформации опорной стены может приниматься более низкий коэффициент горизонтальной нагрузки K .

(3) Должно определяться характеристическое значение горизонтальных нагрузок p_h на вертикальные стены (см. рисунок 5.8).

Примечание 1 — Метод определения горизонтального давления p_h на вертикальные стены должен определяться в национальном приложении. Рекомендованный метод указан в формуле (5.97).

$$p_h = \gamma K \cdot (1 + \sin \phi_r) z_s, \quad (5.97)$$

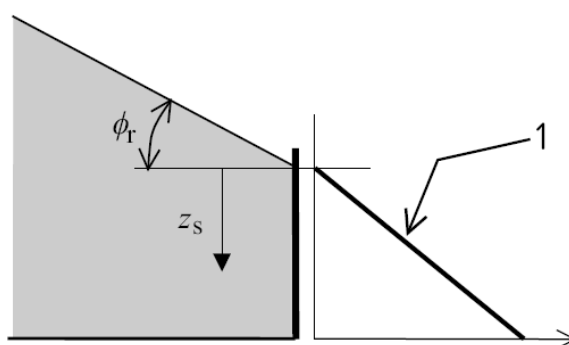
где z_s — глубина под самым высоким местом контакта сыпучего материала со стеной (см. рисунок 5.8);

γ — верхнее характеристическое значение удельного веса сыпучего материала;

K — верхнее характеристическое значение коэффициента горизонтальной нагрузки сыпучего материала;

ϕ_r — угол скоса сохраняемого сыпучего материала.

Примечание 2 — Формула (5.97) при условии прямой вертикальной стены с полностью созданным контактом трения о стенки и с предпосылкой равенства угла скоса и угла внутреннего трения дает признанные реалистичные установки нагрузки. Это соответствует соответствующим требованиям EN 1997.



1 — установка нагрузки в бункере с опорной стеной

Рисунок 5.8 — Давления заполнения в бункере с опорной стеной

(4) Характеристическое значение результирующих дополнительных вертикальных усилий на стену (давление) n_{zSk} с единицей измерения силы на единицу длины в направлении периметра на произвольной глубине z_s под самой высокой точкой соприкосновения сыпучего материала и стены должно определяться с учетом угла трения о стенки μ таким же образом, как и в (3).

Примечание — Метод определения результирующих дополнительных вертикальных усилий на стену (давление) n_{zSk} должен определяться в национальном приложении. Рекомендованный метод указан в формуле (5.98).

$$n_{zSk} = \gamma \frac{\mu K}{2} (1 + \sin \phi_r) z_s^2, \quad (5.98)$$

где μ является характеристическим значением коэффициента трения о стенки сыпучего материала.

(5) Несмотря на другие положения настоящего технического кодекса рассеяние параметров сыпучего материала для бункера с опорной стеной должно считаться учтенным в достаточной степени за счет применения верхних характеристических значений удельного веса γ и коэффициента горизонтальной нагрузки K сыпучего материала.

5.4.2 Нагрузки при разгрузке на вертикальные стены

(1) Необходимо исходить из того, что нагрузки при разгрузке на вертикальные стены меньше нагрузок заполнения.

(2) Принимая во внимание 5.4.2 (1), определение условий разгрузки должно учитывать возможность неравномерного распределения нагрузки как результат неравномерного снятия сыпучего материала в бункере.

5.5 Бункеры с вентиляторами

5.5.1 Общие положения

(1)Р Дополнительные нагрузки в результате псевдооживления и давлений воздуха вследствие подачи воздуха должны учитываться при расчете.

(2)Р Гомогенизирующие бункеры с псевдооживленным сыпучим материалом и бункеры с большой скоростью заполнения сыпучего материала (см. 1.5.16 и 1.5.17) должны рассчитываться для обоих случаев:

- сыпучий материал псевдооживлен;
- сыпучий материал не псевдооживлен.

(3) Для случая, когда сыпучий материал не псевдооживлен, нагрузки должны рассматриваться

в соответствии с методом по 5.2 или 5.3.

5.5.2 Нагрузки в бункерах для хранения псевдооживленного сыпучего материала

(1) В бункерах для хранения порошкообразного сыпучего материала (см. 1.5.31) необходимо исходить из того, что хранимый сыпучий материал может псевдооживляться, если скорость возрастающей поверхности сыпучего материала превышает 10 м/ч.

Примечание — Условия, при которых хранимый сыпучий материал может псевдооживляться, зависят от многих факторов, которые нельзя просто определить. Приведенный выше критерий является простой оценкой ситуации, может ли данный случай нагрузки быть определяющим. Если все же существуют сомнения в возможном псевдооживлении сыпучего материала, то рекомендуется привлечение соответствующих, специализирующихся на этом экспертов (например, их механики сыпучего материала).

(2) В гомогенизирующих бункерах (см. 1.5.18) для хранения порошкообразных сыпучих материалов (см. 1.5.32) в режиме циркуляции нужно исходить из того, что хранимый сыпучий материал может псевдооживляться.

(3) Горизонтальные нагрузки на стены бункера p_h от псевдооживленного сыпучего материала должны рассчитываться по формуле (5.99)

$$p_h = \gamma_1 z, \quad (5.99)$$

где γ_1 — удельный вес псевдооживленного сыпучего материала (псевдооживленный удельный вес).

(4) Удельный вес сыпучего материала γ_1 в псевдооживленном состоянии может оцениваться следующим соотношением:

$$\gamma_1 = 0,8\gamma, \quad (5.100)$$

где γ — является удельным весом порошкообразного сыпучего материала по разделу 4.

5.6 Разность температур между сыпучим материалом и конструкцией бункера

5.6.1 Общие положения

(1)P При расчете конструкции бункера должны учитываться влияния температурных воздействий вследствие разности температур между сыпучим материалом и конструкцией бункера и/или между условиями окружающей среды и конструкцией бункера (сдвиги, удлинения, искривления, напряжения, усилия и моменты).

(2)P Если хранимый сыпучий материал может иметь разные температуры по отношению к частичным зонам или ко всей стене бункера, то бункер должен рассчитываться для дополнительных нагрузок вследствие различного теплового расширения с установкой жесткого сыпучего материала.

(3) Температурные условия должны устанавливаться в соответствии с данными EN 1991-1-5.

(4) Различные температурные деформации между бункером и соединенными с бункером деталями конструкции должны учитываться, причем нужно рассматривать следующие расчетные ситуации:

- снижение температур окружающей среды по отношению к температурам конструкции бункера и хранимого сыпучего материала;
- заполнение бункера горячим сыпучим материалом;
- различные скорости нагревания и охлаждения между незащищенными и облицованными деталями конструкции из стали и железобетона;
- препятствование деформации стен за счет конструкции бункера.

Примечание — Различные характеристики нагревания и охлаждения между незащищенными стальными и железобетонными деталями конструкции могут типично появляться для конструкций крыши, у которых опора крыши установлена на стены бункера только со скольжением (без конструктивных связей). Проблема появляется при кратковременных расширениях вследствие разных температур на стали и бетоне, которые затем снова медленно снимаются за счет общей компенсации температур бетона на стальных конструкциях.

5.6.2 Нагрузки вследствие снижения температуры атмосферы окружающей среды

(1)P Если в течение коротких промежутков времени следует ожидать снижения атмосферной температуры окружающей среды, то нужно учитывать дополнительные нагрузки вследствие различных температурных деформаций между внешней структурой и телом сыпучего материала, подверженного в относительно меньшей степени тепловым влияниям.

(2) Для бункеров с круглой горизонтальной проекцией должны устанавливаться дополнительные горизонтальные нагрузки p_{hT} , которые действуют на вертикальные стены бункера, если резервуар охлаждается сильнее по сравнению с хранимым сыпучим материалом. Дополнительные нагрузки должны устанавливаться в каждом

месте бункера по формуле

$$p_{HT} = C_T \alpha_w \Delta T \frac{E_w}{[(r/t) + (1-\nu) \cdot (E_w / E_{SU})]}, \quad (5.101)$$

где C_T — коэффициент увеличения нагрузки вследствие температуры;

α_w — коэффициент теплового расширения стены бункера;

ΔT — разность температур;

r — радиус бункера ($=d_c/2$);

t — толщина стены;

E_w — модуль упругости стены бункера;

ν — число Пуассона сыпучего материала (приблизительно нужно устанавливать $\nu = 0,3$);

E_{SU} — эффективный модуль упругости сыпучего материала при разгрузке на глубине сыпучего материала z .

(3) Оценка эффективного модуля упругости E_{SU} сыпучего материала при разгрузке на глубине сыпучего материала z должна учитывать порядок величины вертикальных нагрузок заполнения p_{VF} в сыпучем материале в этом месте.

(4) Эффективный модуль упругости E_{SU} сыпучего материала при разгрузке должен определяться методами, описанными в С.10.

(5) Если эффективный модуль упругости E_{SU} сыпучего материала определен по экспериментам, то должен устанавливаться коэффициент увеличения нагрузки вследствие температуры $C_T = 1,2$.

Если эффективный модуль упругости приближенно выведен из плотности сыпучего материала, то должен устанавливаться коэффициент увеличения нагрузки вследствие температуры $C_T = 3$.

5.6.3 Нагрузки вследствие сыпучего материала, заполняемого горячим

(1) Если сыпучие материалы с высокой температурой закладываются на хранение в бункер, то должна учитываться разность температур между охлажденным, находящимся уже длительное время в бункере сыпучим материалом и образующейся атмосферой с высокой температурой воздуха над поверхностью сыпучего материала.

(2) Эти эффекты для бункеров класса требований 1 учитывать не нужно.

5.7 Нагрузки на прямоугольные бункеры

5.7.1 Прямоугольные бункеры

(1) Нагрузки на стену вследствие хранимых сыпучих материалов в бункерах с прямоугольным поперечным сечением в зависимости от случая применения должны устанавливаться по 5.2, 5.3 и 5.4.

(2) Не обращая внимания на общие требования 4.1 (2), при расчете бункеров классов требований 1 и 2 должно учитываться благоприятное влияние взаимодействия между сыпучим материалом и стеной бункера в форме перемещения горизонтальных нагрузок с середины стены (снятие) в углы (увеличение), если стена бункера рассчитана таким образом, что ее жесткость сравнима с жесткостью сыпучего материала.

(3) Если исходят от перемещения давления в соответствии с (2) на определен-

ной высоте заполнения, то среднее давление на этой высоте должно определяться по 5.2 или 5.3.

(4) С точки зрения 5.7.1 (3) и в случаях, когда используются соответствующие пониженные давления, для оценки давлений должен устанавливаться имеющий смысл метод.

5.7.2 Бункеры с внутренними подкрепляющими элементами

(1) В прямоугольных элементах бункеров с затяжками, проходящими внутри поперечного сечения бункера нагрузки сыпучего материала на стены должны устанавливаться в зависимости от случая применения по методам в 5.2, 5.3 и 5.4.

(2) Силы, действующие на стены бункера со стороны растягивающих элементов, должны определяться с учетом следующих влияний:

- нагрузка на соответствующие внутренние растягивающие элементы;
- положение и крепление растягивающих элементов;
- прогиб растягивающих элементов;
- влияние жесткости структуры на порядок величины прогиба растягивающих элементов как результат нагрузки вследствие хранимого сыпучего материала.

(3) Для бункеров классов требований 1 и 2 нагрузки на структуру бункера вследствие внутренних затяжек должны учитываться по методам расчета EN 1993-4-1.

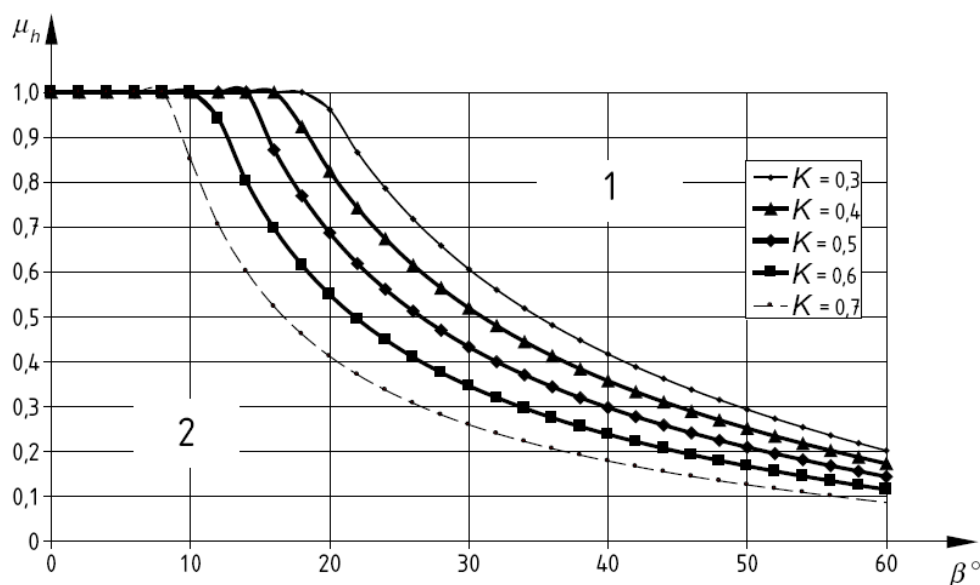
Раздел 6 Нагрузки на воронку и дно силоса (бункера)

6.1 Общие положения

6.1.1 Физические характеристики

(1)Р Для следующих видов образования дна бункера в этом разделе указываются подлежащие применению характеристические значения нагрузок заполнения и разгрузки:

- ровные днища;
- крутые воронки;
- плоские наклонные воронки.



- 1 — плоская воронка; 2 — крутая воронка;
 μ_h — нижнее характеристическое значение коэффициента трения о стенки;
 β — половинный максимальный угол воронки; K — нижнее характеристическое значение коэффициента горизонтальной нагрузки на вертикальные стены

Рисунок 6.1 — Граница между крутой и плоской воронкой

(2)Р Нагрузки на стены воронок бункера должны определяться с учетом наклона стенок воронки в соответствии со следующей классификацией:

— начиная от ровного дна, если угол наклона дна по отношению к горизонтальной плоскости α составляет менее 5° ;

— начиная от плоской наклонной воронки, если не подходят оба других приведенных случая;

— крутая воронка существует, если выполнен следующий критерий (см. рисунки 6.1 и 6.2):

$$\tan\beta < \frac{1-K}{2\mu_h}, \quad (6.1)$$

где K — нижнее характеристическое значение коэффициента горизонтальной нагрузки на вертикальные стены;

β — угол наклона воронки, измеренный относительно вертикальной оси (половина максимального угла);

μ_h — нижнее характеристическое значение коэффициента трения о стенки в воронке.

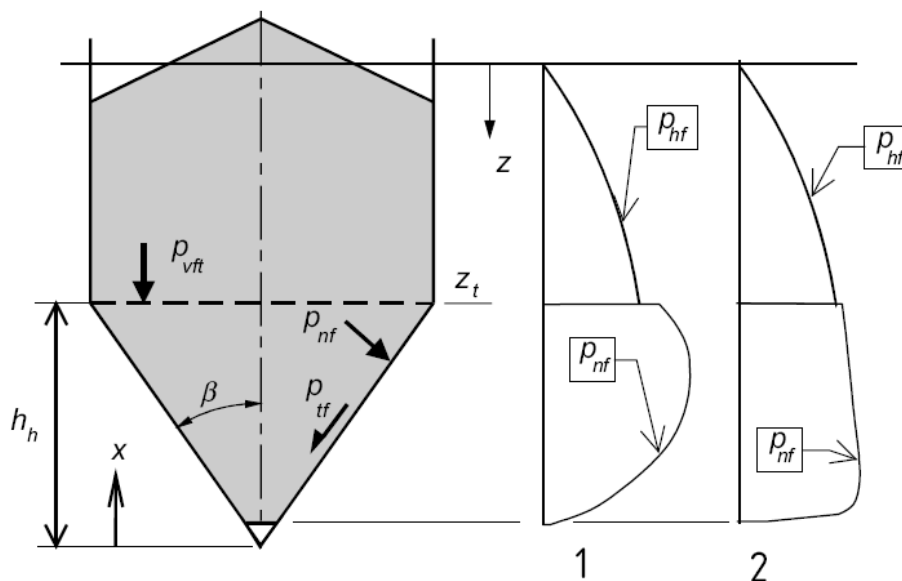
Примечание — Крутая воронка существует, если сыпучий материал скользит вдоль при условии наклонных стен, чтобы заполнить бункер и сыпучий материал вследствие хранимого в бункере сыпучего материала находится в уплотненном (упрочненном) состоянии. Сопротивление трению на стенке воронки тогда определено нормальными давлениями на стенку воронки и коэффициентами трения о стенки. В этом случае говорят и о «полностью мобилизованном трении о стенки». Плоская наклонная воронка существует, если сыпучий материал в уплотненном состоянии бункера не течет вдоль наклонной стенки воронки (угол наклона

воронки по отношению к горизонтальной плоскости слишком мал или трение о стенки слишком высокое).

Сопротивление трению о стенки тогда не находится в непосредственной связи с нормальными давлениями, действующими на стенку воронки, и коэффициентами трения о стенки, а немного меньше и зависит от угла наклона воронки и от состояния напряжения в воронке (трение о стенки мобилизовано не полностью).

В связи с этим играет роль и уплотняемость сыпучего материала, но ею можно пренебречь. При переходе от крутой к плоской воронке установки давления для обоих типов воронки дают одинаковое распределение давления и значения давления. Следовательно, переход от крутой воронки в плоскую воронку осуществляется равномерно (угол наклона, при котором трение о стенки полностью моби-

лизировано).



1 — крутая воронка; 2 — плоская воронка

Рисунок 6.2 — Распределение давления заполнения в крутой и плоской воронке

6.1.2 Общие положения

(1) Для расчета распределения давления на стенках воронки существуют два метода. Эталонный метод указан в 6.1.2, в то время как альтернативный метод описывается в приложении G.

(2) Средние вертикальные нагрузки на переход воронки и на горизонтальное дно должны рассчитываться по формуле

$$p_{vft} = C_b p_{vf}, \quad (6.2)$$

где p_{vf} — вертикальная нагрузка заполнения по формулам (5.3) или (5.79) в зависимости от гибкости бункера. При этом в качестве координаты z устанавливаются высота вертикальной стены h_c (т. е. на переходе воронки по рисунку 1.1 а) и параметры сыпучего материала, которые ведут к максимальным нагрузкам воронки по таблице 3.1;

C_b — коэффициент увеличения нагрузки на дно для учета возможности того, что вследствие пересыпания воронки сыпучим материалом в вертикальном стволе бункера могут передаваться большие вертикальные нагрузки на воронку и дно бункера.

(3) У бункеров классов требований 2 и 3 коэффициент увеличения нагрузки на дно, за исключением условий, описанных в абзаце (5), должен устанавливаться по следующей формуле:

$$C_b = 1,0. \quad (6.3)$$

(4) Если для бункеров класса требований 1 средние значения параметров мате-

риала K и μ используются при определении нагрузки, за исключением условий, описанных в абзаце (5), то коэффициент увеличения нагрузки на дно должен устанавливаться по следующей формуле:

$$C_b = 1,3. \quad (6.4)$$

(5) Если сыпучий материал склонен к образованию динамических нагрузок, то вводятся повышенные нагрузки на воронку или дно бункера. Необходимо исходить из соответствующих соотношений, особенно при наличии следующих случаев:

— в бункере с гибким вертикальным стволом для хранения сыпучих материалов, которые не могут соответствовать классу сыпучего материала с незначительным сцеплением (см. 1.5.23),

— если хранимый сыпучий материал склонен к механическому зацеплению частиц сыпучего материала друг с другом и к образованию мостиков (например, цементный клинкер).

Примечание — Определение сцепления с сыпучего материала описано в С.9. Сцепление с классифицируется как незначительное, если после уплотнения сыпучего материала при уровне напряжения σ_r оно не превышает значение $c/\sigma_r = 0,04$ (см. 1.5.23).

(6) Если хранимый сыпучий материал при разгрузке бункера имеет явную склонность к динамическим нагрузкам (см. абзац (5)), то должны устанавливаться большие нагрузки на воронку и дно бункера. Коэффициент повышения нагрузки на дно должен устанавливаться:

— для классов требований 2 и 3:

$$C_b = 1,2; \quad (6.5)$$

— для класса требований 1:

$$C_b = 1,6. \quad (6.6)$$

(7) Для каждой ситуации нагрузки средняя вертикальная нагрузка в воронке на высоте x над (теоретическим) максимумом воронки (см. рисунок 6.2) должна определяться как:

$$p_v = \left(\frac{\gamma h_h}{n-1} \right) \cdot \left\{ \left(\frac{x}{h_h} \right) - \left(\frac{x}{h_h} \right)^n \right\} + p_{vft} \cdot \left(\frac{x}{h_h} \right)^n, \quad (6.7)$$

$$\text{где} \quad n = S \cdot (F \mu_{\text{heff}} \cot \beta + F) - 2, \quad (6.8)$$

здесь S — коэффициент для учета формы воронки:

$$S = 2 \quad \text{— для конических и квадратных пирамидальных воронок;} \quad (6.9)$$

$$S = 1 \quad \text{— для} \quad \text{клинообразных} \quad \text{воронок;} \quad (6.10)$$

$$S = (1 + b/a) \quad \text{— для воронок с} \quad \text{прямоугольной горизонтальной проекцией;} \quad (6.11)$$

- a — длина длинной стороны прямоугольного поперечного сечения воронки (см. рисунок 1.1 d);
- b — длина короткой стороны прямоугольного поперечного сечения воронки (см. рисунок 1.1 d);
- F — характеристическое значение отношения нагрузки в воронке (в зависимости от случая формулы (6.17), (6.21) или (6.27));
- μ_{heff} — эффективный или мобилизованный характеристический коэффициент трения о стенки воронки (в зависимости от случая формулы (6.16) или (6.26));
- β — угол наклона воронки относительно вертикали ($= 90^\circ - \alpha$) или наибольший угол относительно вертикали в случае квадратной или прямоугольной воронки в форме пирамиды;
- γ — верхнее характеристическое значение удельного веса сыпучего материала;
- h_h — вертикальное расстояние (высота) между пиком воронки и переходом в вертикальный ствол (см. рисунок 6.2);
- x — вертикальная координата, считая от пика воронки (см. рисунок 6.2);
- ρ_{vft} — средняя вертикальная нагрузка в сыпучем материале на переходе воронки для случая нагрузки – заполнение (формула (6.2)).

(8) Для определения коэффициента нагрузки F в воронке нужно различать, классифицирована ли воронка как крутая или как плоская. Соответствующие значения F должны определяться по 6.3 и 6.4.

(9) Определение соответствующего значения эффективных или мобилизованных коэффициентов трения о стенки в воронке μ_{heff} должно учитывать, классифицирована ли воронка как крутая или как плоская или рассматривается ли случай заполнения или разгрузки. Соответствующие значения должны определяться по 6.3 и 6.4.

6.2 Горизонтальные днища бункера

6.2.1 Вертикальные нагрузки на горизонтальные днища бункера в гибких бункерах

(1) Вертикальные нагрузки на горизонтальные днища бункера (наклон $\alpha \leq 5^\circ$) приближенно могут считаться постоянными, если бункер классифицирован как низкий или со средней гибкостью. В этих случаях должны применяться определения по 6.2.2.

(2) Вертикальные нагрузки на горизонтальные днища должны рассчитываться по:

$$\rho_v = \rho_{vft}, \quad (6.12)$$

где ρ_{vft} должно рассчитываться по формуле (6.2).

(3) Вертикальные нагрузки на горизонтальные днища бункера для случая нагрузки – разгрузка должны уравниваться с нагрузками случая нагрузки – заполнение.

6.2.2 Вертикальные нагрузки на ровные днища бункера в низких бункерах и бун-

керах средней гибкости

(1) Для низких бункеров и бункеров со средней гибкостью нужно считаться с возможностью того, что на горизонтальных днищах бункера могут появляться местные нагрузки на дно больше нагрузок по 6.1 (формула (6.2)).

(2) Вертикальные нагрузки p_{vsq} на горизонтальные днища низкого бункера и бункера со средней гибкостью могут определяться по формуле

$$p_{vsq} = p_{vb} + \Delta p_{sq} \left(\frac{2,0 - h_c / d_c}{2,0 - h_{tp} / d_c} \right) \quad (6.13)$$

с:

$$\Delta p_{sq} = p_{vtp} - p_{vho}; \quad (6.14)$$

$$p_{vtp} = \gamma h_{tp}, \quad (6.15)$$

где p_{vb} — постоянная вертикальная составляющая нагрузки по формуле (6.2) с $z = h_c$ и с использованием характеристических параметров сыпучего материала, которые ведут к максимальным нагрузкам воронки по таблице 3.1;

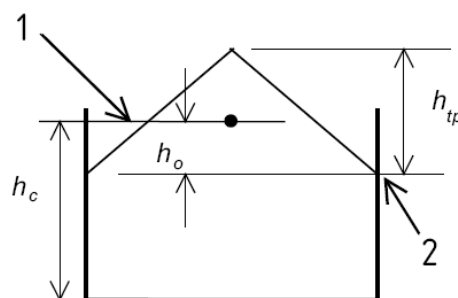
p_{vho} — вертикальная составляющая нагрузки по Янсену на нижнем краю верхнего насыпного конуса по формуле (5.79) с $z = h_o$;

h_o — вертикальное расстояние между эквивалентной поверхностью сыпучего материала и самым низким местом стены, которое не контактирует с сыпучим материалом (см. рисунок 6.3);

h_{tp} — вертикальное расстояние между пиком насыпного конуса и самым низким местом стены, которое не контактирует с сыпучим материалом (см. рисунок 6.3);

h_c — вертикальное расстояние эквивалентной поверхности сыпучего материала от дна бункера;

Примечание — Приведенное выше правило гарантирует линейный переход от давления на дно по уравнению Янсена для бункера, классифицированного как прямой или гибкий ($h_c/d_c = 2,0$) к уровню вертикального давления, определенного с помощью геостатики γz ($z = h_o$) при условии, что сыпучий материал в бункере состоит только из насыпного конуса ($h_c = h_o$), а следовательно, не существует зон с контактом со стеной бункера. Названное последним выражение геостатики дает большие нагрузки, чем максимально устанавливающиеся под насыпным конусом. Следовательно, оно представляет простую консервативную оценку соотношений.



1 — эквивалентная поверхность сыпучего материала;

2 — самая нижняя точка стены без контакта с сыпучим материалом

Рисунок 6.3 — Нагрузки на дно в низком бункере или в бункере со средней гибкостью

(3) Нагрузки на дно p_{vsq} по формуле (6.13) могут устанавливаться как для случая нагрузки – заполнение, так и случая нагрузки – разгрузка.

(4) Значение p_{vsq} по формуле (6.13) воспроизводит вертикальную нагрузку вблизи средней точки дна бункера. Если не обеспечивается равномерная опора плиты дна, то должно устанавливаться целесообразное распределение нагрузок на дно.

6.3 Крутые воронки

6.3.1 Мобилизованное трение

(1) Как для случая нагрузки – заполнение, так и случая нагрузки – разгрузка для эффективных или мобилизованных коэффициентов трения в формуле (6.8) должно устанавливаться следующее значение μ_{heff} :

$$\mu_{heff} = \mu_h, \quad (6.16)$$

где μ_{heff} — нижнее характеристическое значение угла трения о стенки в воронке.

6.3.2 Нагрузки заполнения

(1) В случае нагрузки – заполнение среднее вертикальное напряжение в произвольном месте x крутой воронки должно рассчитываться по формулам (6.7) и (6.8), а параметр F_f по следующей формуле:

$$F_f = 1 - \frac{b}{\left(1 + \frac{\tan \beta}{\mu_h}\right)}. \quad (6.17)$$

Параметр n в формуле (6.8) рассчитывается по формуле

$$n = S \cdot (1 - b) \cdot \mu_h \cot \beta, \quad (6.18)$$

где b — эмпирический коэффициент, который должен приниматься как $b = 0,2$.

Другие параметры определены в 6.1.2 (6).

(2) Нагрузки, перпендикулярные стенкам воронки p_{nf} , и нагрузки за счет трения о стенки p_{tf} в произвольном месте x стены крутой воронки для случая нагрузки – заполнение должны рассчитываться по следующим формулам:

$$p_{nf} = F_f p_v, \quad (6.19)$$

$$p_{tf} = \mu_h F_f p_v, \quad (6.20)$$

где F_f рассчитывается по формуле (6.17).

6.3.3 Нагрузки при разгрузке

(1) В случае нагрузки – разгрузка должно рассчитываться среднее вертикальное напряжение в произвольном месте x крутой воронки по формулам (6.7) и (6.8), а также — параметр $F = F_a$.

(2) Значение F_e может рассчитываться с использованием эталонного метода по

формуле (6.21) или по альтернативному методу по G.10:

$$F_e = \frac{1 + \sin \phi_i \cos \varepsilon}{1 - \sin \phi_i \cos(2\beta + \varepsilon)} \quad (6.21)$$

с:

$$\varepsilon = \phi_{wh} + \arcsin \left\{ \frac{\sin \phi_{wh}}{\sin \phi_i} \right\}; \quad (6.22)$$

$$\phi_{wh} = \arctan \mu_h, \quad (6.23)$$

где μ_h — нижнее характеристическое значение коэффициента трения остенки воронки;

ϕ_i — верхнее характеристическое значение угла внутреннего трения сыпучего материала, хранимого в воронке.

Примечание 1 — Необходимо учитывать, что угол трения о стенки воронки всегда меньше или равен углу внутреннего трения сыпучего материала, хранимого в воронке (т. е. $\phi_{wh} \leq \phi_i$). Так как в противном случае внутри сыпучего материала образуется поверхность скольжения, если на контактную поверхность стены принимаются напряжения сдвига больше, чем внутреннее трение сыпучего материала.

Примечание 2 — Приведенная выше формула (6.21) для F_e основывается на простой теории Валькера для давлений разгрузки в воронках. Также можно использовать альтернативное выражение для F_e Энстада, приведенное в G.10.

(3) Давление, перпендикулярное к стенкам воронки p_{ne} , и нагрузки за счет трения о стенки p_{te} в каждом месте x стены крутой воронки для случая нагрузки – разгрузка (см. рисунок 6.4) рассчитываются по следующим формулам:

$$p_{ne} = F_e p_v; \quad (6.24)$$

$$p_{te} = \mu_h F_e p_v, \quad (6.25)$$

при этом F_e нужно взять из абзаца (2).

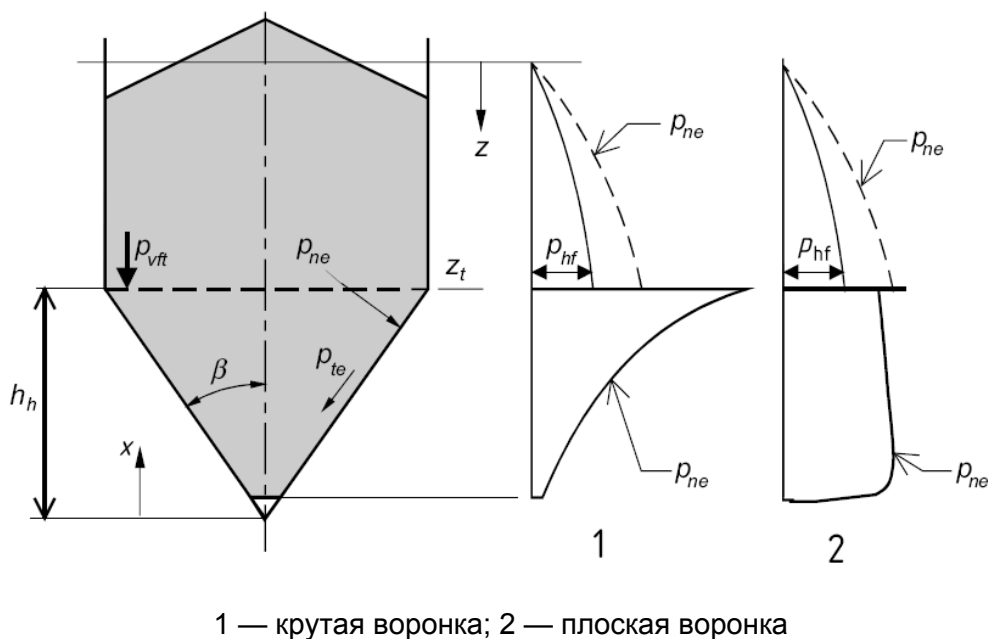


Рисунок 6.4 — Распределение давлений разгрузки в крутой и плоской наклонной воронке

6.4 Плоские воронки

6.4.1 Мобилизованное трение

(1) В плоской наклонной воронке трение о стенки мобилизовано не полностью. Мобилизованный или эффективный коэффициент трения о стенки устанавливается как:

$$\mu_{\text{heff}} = \frac{(1-K)}{2 \tan \beta}, \quad (6.26)$$

где K — нижнее характеристическое значение коэффициента горизонтальной нагрузки в вертикальном стволе бункера, которое приводит к максимальным нагрузкам воронки (см. таблицу 3.1);

β — угол наклона воронки относительно вертикальной оси (см. рисунок 6.2).

6.4.2 Нагрузки заполнения

(1) В случае нагрузки – заполнения среднее вертикальное напряжение должно рассчитываться на каждой глубине сыпучего материала крутой воронки по формулам (6.7) и (6.8), а также параметр F_f — по следующей формуле:

$$F_f = 1 - \{b / (1 + \tan \beta / \mu_{\text{heff}})\}. \quad (6.27)$$

Параметр n в формуле (6.8) рассчитывается по формуле

$$n = S \cdot (1 - b) \cdot \mu_{\text{heff}} \cot \beta, \quad (6.28)$$

где μ_{heff} — мобилизованный или эффективный коэффициент трения о стенки в плоской воронке по формуле (6.26);

b — эмпирический коэффициент, который должен приниматься как $b = 0,2$.

Другие параметры определены в 6.1.2 (6).

(2) Нагрузки, перпендикулярные стенкам воронки p_{nf} , и нагрузки за счет трения о стенки p_{tf} в произвольном месте x стены крутой воронки для случая нагрузки – заполнение (см. рисунок 6.2) должны рассчитываться, как показано ниже:

$$p_{nf} = F_f \rho_v; \quad (6.29)$$

$$p_{tf} = \mu_{heff} F_f \rho_v, \quad (6.30)$$

где F_f — рассчитывается по формуле (6.17).

6.4.3 Нагрузки при разгрузке

(1) В плоских воронках нагрузки при разгрузке, действующие перпендикулярно стенкам воронки, и нагрузки за счет трения о стенки (см. рисунок 6.4) должны рассчитываться, как в случае нагрузки – заполнение (см. 6.4.2).

6.5 Воронки в бункерах с вентилятором

(1)Р Для воронок, в которых вследствие применения вентиляторов нельзя исключить псевдооживление сыпучего материала в частичных зонах или во всей воронке, должны учитываться дополнительные нагрузки вследствие псевдооживления и давления воздуха.

(2) Эти нагрузки должны определяться, как описано в 5.5.2, без установки нагрузок за счет трения о стенки.

Раздел 7 Нагрузки на резервуары

7.1 Общие положения

(1)Р Для определения характеристических нагрузок вследствие хранящихся в резервуарах жидкостей должны применяться следующие правила.

Примечание 1 — Эти правила действуют при статических условиях для всех видов резервуаров. Резервуары, в которых происходят динамические процессы, не привлекаются.

Примечание 2 — Перечень существенных воздействий, коэффициентов частичной безопасности и сочетаний воздействий на резервуары можно взять из приложения В.

7.2 Нагрузки вследствие хранимых жидкостей

(1) Нагрузки из-за хранимых жидкостей должны рассчитываться с учетом следующих точек зрения:

— определенная ширина полосы жидкостей, которые должны храниться в резервуарах;

— геометрия резервуара для жидкостей;

— максимально возможная высота заполнения резервуара для жидкостей.

(2) Характеристическое значение нагрузки p должно рассчитываться по формуле

$$p(z) = \gamma z, \quad (7.1)$$

где z — глубина под поверхностью жидкости;

γ — удельный вес хранимой жидкости.

7.3 Характеристики жидкостей

(1) Должны использоваться значения удельного веса, указанные в EN 1991-1-1, приложение А.

7.4 Нагрузки струи вследствие недостаточной вентиляции

(1)Р Если вентиляционная система резервуара для жидкостей может отказать или подвержена неисправностям, то должен применяться подходящий метод расчета, чтобы определить пониженные давления, возникающие в процессе разгрузки при экстремальных условиях. Расчет должен учитывать возможные адиабатические свойства описываемого процесса.

Приложение А (справочное)

Основы проектирования – положения в дополнение к EN 1990 для силосов, бункеров и резервуаров

Редакционное примечание — Данное приложение является информационным и должно переноситься в EN 1990 «Основы строительного проектирования» после формального одобрения.

А.1 Общие положения

(1) Для методов расчета обязательно используется формат, заданный в EN 1990. Однако бункеры и резервуары имеют существенное отличие от многих других зданий, состоящее в том, что они большую часть своего срока службы подвергаются полным нагрузкам со стороны хранимых сыпучих материалов и жидкостей.

(2) Это приложение дает дополнительные положения для коэффициентов частичной безопасности воздействий (коэффициенты χ) и комбинаций с другими воздействиями, а также для существенных комбинационных коэффициентов (коэффициенты ψ) бункеров и резервуаров.

(3) Возможные температурные воздействия включают в себя климатические воздействия и воздействия горячего сыпучего материала. Должны учитываться следующие расчетные ситуации:

— горячие сыпучие материалы, заполняемые в частично заполненный бункер или резервуар. При этом должны учитываться влияния повышения температуры воздуха над сыпучим материалом;

— предотвращение деформации конструкции стен бункера за счет сыпучего материала при охлаждении.

(4) При определении влияния различных составов в силосных башнях или группировках элементов бункера или резервуаров нужно исходить из наиболее неблагоприятной комбинации заполненных и пустых элементов.

А.2 Предельное состояние допустимой нагрузки

А.2.1 Коэффициент частичной безопасности γ

(1) Для расчета бункеров и резервуаров должны устанавливаться значения по А.1 EN 1990.

(2) Если максимальная высота заполнения и наибольший устанавливаемый удельный вес жидкостей, предусмотренных для хранения, превышать не может, то коэффициент безопасности χ снижается с 1,50 до 1,35.

А.2.2 Комбинационные коэффициенты ψ

Комбинационные коэффициенты ψ для нагрузок бункеров и нагрузок в резервуарах и комбинационные коэффициенты с другими воздействиями указываются в А.4.

А.3 Комбинации воздействий

(1) Для подтверждения предельного состояния грузоподъемности бункера должны рассматриваться следующие воздействия:

— заполнение и хранение сыпучих материалов (см. нагрузки заполнения в EN

1991-4);

- разгрузка сыпучих материалов (см. нагрузки при разгрузке в EN 1991-4);
- собственные и полезные нагрузки (см. EN 1991-1-1);
- нагрузки за счет снега и льда (см. EN 1991-1-3);
- ветровые нагрузки, как для заполненного, так и для пустого бункера (см. EN 1991-1-4);
- температурные воздействия (см. EN 1991-1-5);
- вынужденные деформации: осадки в области основания (см. EN 1997);
- землетрясения (см. EN 1998);
- нагрузки из-за взрыва пыли.

А.4 Расчетные ситуации и комбинации воздействий для классов требований 2 и 3

(1) Главенствующие (доминирующие) и постоянные воздействия должны устанавливаться для каждого случая нагрузки со своими полными значениями, в то время как сопутствующие воздействия могут снижаться комбинационными коэффициентами ψ , чтобы учесть незначительную вероятность одновременного появления в соответствии с EN 1990. Комбинации должны выбираться в соответствии с положениями EN 1990.

(2) Во всех приведенных комбинациях нагрузок должны приниматься комбинационные коэффициенты $\psi = 1,0$, а $\xi_1 = 0,9$.

(3) Если при доминирующих воздействиях речь идет о влияниях землетрясения или чрезвычайных воздействиях нагрузок, то предполагая, что используется подходящий метод по 5.2, 5.3 и 6.1, сопутствующее воздействие нагрузок сыпучего материала должно рассчитываться со средними значениями коэффициентов трения о стенки μ_m , коэффициента горизонтальной нагрузки K_m и коэффициента нагрузки воронки F_m .

Примечание — Значения ψ должны определяться в национальном приложении. Значения и комбинации таблиц А.1 – А.5 являются рекомендациями, которые снижаются с сопутствующими воздействиями 2 и 3 за счет соответствующего им комбинационного коэффициента ψ .

Таблица А.1 — Рассматриваемые расчетные ситуации и комбинации воздействий

Краткое обозначение	Расчетная ситуация 1. Главенствующее воздействие 1	Постоянные нагрузки	Сопутствующее воздействие 2	$\psi_{0,2}$	Сопутствующее воздействие 3	$\psi_{0,3}$
D	Разгрузка сыпучего материала	Собственный вес	Осадка фундамента	1,0	Снег, или ветер, или температура	0,6
					Полезная нагрузка или деформации	0,7

I	Полезная нагрузка или деформации	Собственный вес	Заполнение сыпучего материала (бункер полный)	1,0	Снег, или ветер, или температура	0,6
S	Снег	Собственный вес	Заполнение сыпучего материала	1,0		
WF	Ветер при заполненном бункере	Собственный вес	Заполнение сыпучего материала	1,0		
WE	Ветер при пустом бункере	Собственный вес	Заполнение сыпучего материала отсутствует (бункер пуст)	0,0		
T	Температура	Собственный вес	Заполнение сыпучего материала	1,0		
F	Осадки фундамента	Собственный вес	Разгрузка сыпучего материала	1,0	Снег, или ветер, или температура	0,6
				$\psi_{2,2}$		$\psi_{2,3}$
E	Взрыв	Собственный вес	Заполнение сыпучего материала	0,9	Полезная нагрузка или деформации	0,3
V	Удар транспортного средства	Собственный вес	Заполнение сыпучего материала	0,8	Полезная нагрузка или деформации	0,3

Примечание 1 — Эта таблица относится к понятиям положений комбинационных нагрузок в EN 1990, раздел 6.

Примечание 2 — Индексы комбинационных коэффициентов нагрузки ψ имеют следующее значение: первый индекс стоит для типа расчетной ситуации: стандартные комбинации обозначены 0; наиболее частые значения — 1; квазипостоянные значения — 2. Второй индекс относится к номеру нагрузки в комбинации.

Таблица A.2 — «Общее» предельное состояние несущей способности («Ordinary» ULS) — рассматриваемые расчетные ситуации и комбинации воздействий

Краткое обозначение	Расчетная ситуация/главствующая	Постоянные воздействия	Определяющее изменяющееся воздействие	Независимое изменяющееся воздействие 1 (основное)	Независимое изменяющееся воздействие 2	Независимое изменяющееся воздействие 3, 4 и т. д.
---------------------	---------------------------------	------------------------	---------------------------------------	---	--	---

чение	щее воздействие	Описание	ξ_1	(см. следующий столбец «Основное»)	Описание	$\psi_{0,1}$	Описание	$\psi_{0,2}$	Описание	$\psi_{0,3}$ $\psi_{0,4}$ и т. д.
D	Разгрузка сыпучего материала	Собственный вес	0,9		Разгрузка сыпучего материала (полный бункер)	1,0	Осадки фундамента	0,7	Снег, ветер, температура	0,6
									Полезная нагрузка или деформации	0,7
I	Остаточные деформации	Собственный вес	0,9		Заполнение сыпучего материала (бункер полностью заполнен)	1,0	Остаточные деформации	0,7	Снег, ветер, температура	0,6
									Полезные нагрузки	0,7
S	Снег	Собственный вес	0,9		Заполнение сыпучего материала (бункер полный)	1,0	Снег	0,6	Полезные нагрузки	0,7
WF	Ветер и заполненный бункер	Собственный вес	0,9		Заполнение сыпучего материала, (бункер полностью заполнен)	1,0	Ветер	0,6	Полезные нагрузки	0,7
WE	Ветер и пустой бункер	Собственный вес	0,9		В бункере нет сыпучего мате-	0,0	Ветер	0,6	Полезные нагрузки	0,7

					риала					
T	Температура	Собственный вес	0,9		Заполнение сыпучего материала (бункер полный)	1,0	Температура	0,6	Полезные нагрузки	0,7
<p><i>Примечание</i> — Данная таблица должна применяться с использованием формул (6.10a) и (6.10b) 6.4.3.2 EN 1990.</p>										

Таблица А.3 — Предельное состояние несущей способности для чрезвычайных нагрузок («Accidental» ULS) — рассматриваемые расчетные ситуации и комбинации воздействий

Краткое обозначение	Расчетная ситуация/главное воздействие	Постоянные воздействия		Определяющее изменяющееся воздействие		Независимое изменяющееся воздействие 1 (основное)		Независимое изменяющееся воздействие 2		Независимое изменяющееся воздействие 3, 4 и т. д.	
		Описание		Описание		Описание	$\psi_{1,1}$ или $\psi_{2,1}$	Описание	$\psi_{2,2}$	Описание	$\psi_{2,3}$, $\psi_{2,4}$ и т. д.
E	Взрыв	Собственный вес		Ударная волна		Заполнение сыпучего материала, (бункер полностью заполнен)	0,9 или 0,8	Остаточные деформации	0,3	Полезные нагрузки	0,3
V	Удар транспортного средства	Собственный вес		Удар транспортного средства		Заполнение сыпучего материала, (бункер полностью заполнен)	0,9 или 0,8	Остаточные деформации	0,3	Полезные нагрузки	0,3
<p><i>Примечание</i> — Данная таблица должна применяться с использованием формулы (6.11b) 6.4.3.3 EN 1990.</p>											

Таблица А.4 — Предельное состояние несущей способности при сейсмических нагрузках («Seismic» ULS) — рассматриваемые расчетные ситуации и комбинации воздействий

Краткое обозначение	Расчетная ситуация/главствующее воздействие	Постоянные воздействия	Определяющее изменяющееся воздействие	Независимое изменяющееся воздействие 1 (основное)		Независимое изменяющееся воздействие 2		Независимое изменяющееся воздействие 3, 4 и т. д.	
		Описание	Описание	Описание	$\psi_{2,1}$	Описание	$\psi_{2,2}$	Описание	$\psi_{2,3}$ $\psi_{2,4}$ и т. д.
SF	Сейсмическое воздействие и заполненный бункер	Собственный вес	Сейсмическое воздействие (землетрясение)	Заполнение сыпучего материала, (бункер полностью заполнен)	0,8	Вынужденные деформации	0,3	Полезные нагрузки	0,3
SE	Сейсмическое воздействие и пустой бункер	Собственный вес	Сейсмическое воздействие (землетрясение)	В бункере нет сыпучего материала, (бункер пуст)	0,8	Вынужденные деформации	0,3	Полезные нагрузки	0,3

Примечание — Данная таблица должна применяться с использованием формулы (6.12b) 6.4.3.4 EN 1990 и соответствующих формул из EN 1998-1 и EN 1998-4.

Таблица А.5 — Предельное состояние применяемости (SLS) — рассматриваемые расчетные ситуации и комбинации воздействий

Краткое обозначение	Расчетная ситуация/главствующее воздействие	Постоянные воздействия		Определяющее изменяющееся воздействие		Независимое изменяющееся воздействие 1 (основное)		Независимое изменяющееся воздействие 2		Независимое изменяющееся воздействие 3, 4 и т. д.	
		Описание		(см. следующий столбец «Основное»)		Описание	$\Psi_{1,1}$ или $\Psi_{2,1}$	Описание	$\Psi_{0,2}$ или $\Psi_{2,2}$	Описание	$\Psi_{0,3}$ или $\Psi_{0,4}$ или $\Psi_{2,3}$ или $\Psi_{2,4}$ и т. д.
D	Разгрузка сыпучего материала	Собственный вес				Разгрузка сыпучего материала	0,9 или 0,8	Осадки фундамента	0,7 или 0,3	Снег, ветер, температура	0,6 или 0,0
										Полезная нагрузка, остаточные деформации	0,7 или 0,3
I	Вынужденные деформации	Собственный вес				Заполнение сыпучего материала	0,9 или 0,8	Вынужденные деформации	0,7 или 0,3	Снег, ветер, температура	0,6 или 0,3
										Полезные нагрузки	0,7 или 0,3
S	Снег	Собственный вес				Заполнение сыпучего материала	0,9 или 0,8	Снег	0,6 или 0,0	Полезные нагрузки	0,7 или 0,3
WF	Ветер и полностью заполнен-	Собственный вес				Заполнение сыпучего материала	0,9 или 0,8	Ветер	0,6 или 0,0	Полезные нагрузки	0,7 или 0,3

	ный бункер				ла, (бункер полностью заполнен)					
WE	Ветер и пустой бункер	Собственный вес			В бункере нет сыпучего материала, бункер пуст	0,0	Ветер	0,6 или 0,0	Полезные нагрузки	0,7 или 0,3
T	Температура	Собственный вес			Заполнение сыпучего материала	0,9 или 0,8	Температура	0,6 или 0,0	Полезные нагрузки	0,7 или 0,3
<p><i>Примечание</i> — Данная таблица должна применяться с использованием формул (6.14b), (6.15b) и (6.16b) 6.5.3 EN 1990, как показано ниже:</p> <p>редкие (характеристические) комбинации, формула (6.14b): редкие (характеристические) комбинации обычно используются для необратимых (остающихся) предельных состояний;</p> <p>наиболее частые комбинации, формула (6.15b): наиболее частые комбинации обычно применяются для обратимых (не остающихся) предельных состояний;</p> <p>квазипостоянные комбинации, формула (6.16b): квазипостоянные комбинации обычно применяются для ситуаций с длительными воздействиями и явлениями на несущей конструкции.</p>										

А.5 Комбинации воздействий для класса требований 1

(1) Для бункеров класса требований 1 должны приниматься следующие упрощенные расчетные ситуации:

- заполнение;
- разгрузка;
- ветер при пустом бункере;
- ветер при полностью заполненном бункере;
- снег (для крыши);

(2) Для случая нагрузки – ветер разрешено применение упрощенных правил из EN 1991-1-4.

Приложение В (справочное)

Воздействия, частные коэффициенты и комбинации воздействий на резервуары

Редакционное примечание — Приложение В должно переноситься в EN 1990 «Основы планирования несущих конструкций и воздействия на конструкции» в качестве нормативного (обязательного) приложения.

В.1 Общие положения

(1)Р Расчет характеристических значений воздействий должен учитывать подбор В.2.1 – В.2.14.

(2) Для этих характеристических значений должны применяться частные коэффициенты воздействий по В.3 и правила комбинирования по В.4.

В.2 Воздействия

В.2.1 Нагрузки от хранимых жидкостей

(1)Р Во время работы в качестве нагрузок вследствие заполнения должны устанавливаться нагрузки собственного веса заполняемого продукта от максимального уровня заполнения вплоть до полностью разгруженного состояния.

(2)Р В процессе пробного заполнения в качестве нагрузок вследствие заполнения должны устанавливаться нагрузки собственного веса среды, заполняемой при пробном заполнении, от максимального уровня заполнения вплоть до полностью разгруженного состояния.

В.2.2 Нагрузки от внутренних давлений

(1)Р Во время работы под «нагрузками от внутренних давлений» следует понимать нагрузки, относящиеся к удельным максимальным и минимальным значениям внутренних давлений.

(2)Р Во время пробного заполнения под «нагрузками от внутренних давлений» следует понимать нагрузки, относящиеся к удельным максимальным и минимальным значениям внутренних давлений в процессе эксперимента.

В.2.3 Нагрузки от (изменения) температуры

(1) Напряжениями от заземлений вследствие теплового расширения можно пренебречь, если число циклов нагрузки за счет теплового расширения не приводит к риску возникновения усталости или к циклической пластической неисправности.

В.2.4 Нагрузки собственного веса

(1)Р В качестве нагрузки собственного веса резервуаров должна устанавливаться результирующая собственного веса всех отдельных деталей резервуара и закрепленных на нем компонентов.

(2) Расчетные значения см. в EN 1991-1-1, приложение А.

В.2.5 Нагрузки из-за изоляции

(1)Р В качестве нагрузок вследствие изоляции должны устанавливаться собственные веса изоляции.

(2) Расчетные значения см. в EN 1991-1-1, приложение А.

В.2.6 Распределенные полезные нагрузки

(1) Распределенные устанавливаемые нагрузки в результате применения должны браться из EN 1991-1-1, кроме того, они определяются заказчиком.

В.2.7 Концентрированные полезные нагрузки

(1) Концентрированные отдельные нагрузки в результате применения должны браться из EN 1991-1-1, кроме того, они определяются заказчиком.

В.2.8 Снег

(1) Снеговые нагрузки см. в EN 1991-1-3.

В.2.9 Ветер

(1) Ветровые нагрузки см. в EN 1991-1-4.

(2) Дополнительно должны приниматься следующие коэффициенты давления для круглых цилиндрических резервуаров (см. рисунок В.1):

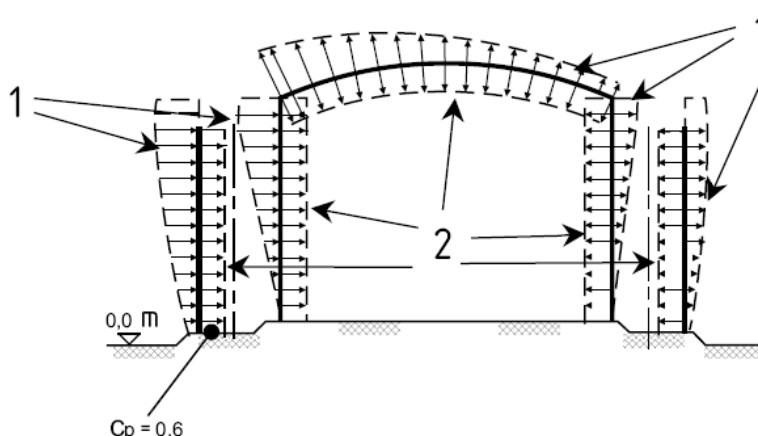
а) внутреннее давление для открытых сверху резервуаров и открытого сверху приемного резервуара: $c_p = -0,6$;

б) внутреннее давление для вентилируемых резервуаров с малыми отверстиями: $c_p = -0,4$;

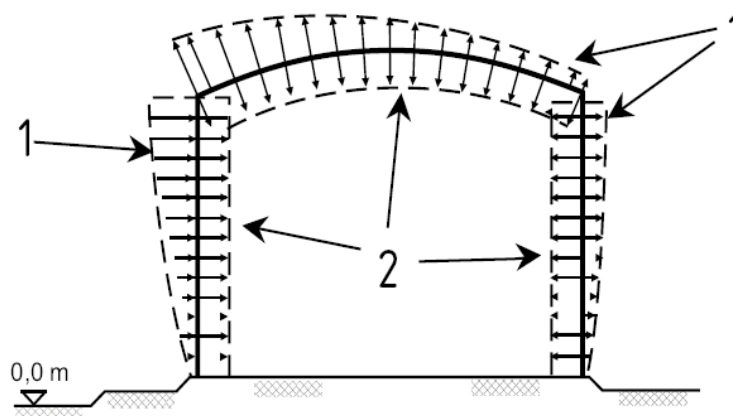
с) если имеется приемный резервуар, то действующее снаружи на резервуар давление для жидкостей устанавливается линейно спадающим сверху вниз с изменением высоты.

(3) В соответствии с временным характером нагрузки ветром, снижающиеся в процессе фазы сооружения, должны устанавливаться в соответствии с EN 1991-1-4 и EN 1991-1-6.

а)



б)



1 — C_p по EN 1991-1-4;
 2 — $C_p = 0,4$, за исключением случая с вентиляцией

Рисунок В.1 — Коэффициенты давления ветровых нагрузок на круглый цилиндрический резервуар для жидкостей:

a — резервуар с приемной ванной;
b — резервуар без приемной ванны

В.2.10 Пониженное давление за счет недостаточной вентиляции

(1) Нагрузки вследствие недостаточной вентиляции должны устанавливаться по разделу 7.

В.2.11 Сейсмические нагрузки

(1)Р Сейсмические нагрузки должны устанавливаться по EN 1998-4, который указывает и другие требования для адекватного определения размеров.

В.2.12 Нагрузки из-за соединительных сооружений

(1)Р Нагрузки из-за трубопроводов, крышек или других предметов и нагрузки, получающиеся из-за осадки, по отношению к основанию резервуара для жидкостей должны учитывать независимые основания зданий. Системы трубопроводов должны разрабатываться таким образом, чтобы на резервуар для жидкостей действовали минимально возможные нагрузки.

В.2.13 Нагрузки из-за осадки неодинаковой формы

(1)Р Нагрузки из-за осадки должны учитываться, если в промежутке времени предусмотренной нагрузки можно ожидать появления неравномерных осадок.

В.2.14 Катастрофические нагрузки

(1) Эти нагрузки должны учитывать следствия событий, таких как внешняя ударная волна, нагрузки за счет ударов, нагрузки за счет пожара, взрыв, негерметичность внутренних резервуаров для жидкости, переливания через край и переполнение внутреннего резервуара.

Примечание — Нагрузки должны определяться в национальном приложении, или указываться соответствующим заказчиком специального проекта.

В.3 Коэффициенты частичной безопасности воздействий

(1)Р Для воздействий В.2.2 – В.2.14 должны использоваться коэффициенты час-

тичной безопасности по EN 1990.

(2) Рекомендуется устанавливать коэффициент частичной безопасности для нагрузок со стороны жидкостей для режима (B.2.1 (1) $\gamma F = 1,20$.

(3) Рекомендуется устанавливать коэффициент частичной безопасности для нагрузок со стороны жидкостей в процессе заполнения (B.2.1 (2) $\gamma F = 1,00$.

(4) Для расчетных ситуаций чрезвычайных воздействий при переменных воздействиях рекомендуется устанавливать коэффициент частичной безопасности $\gamma F = 1,00$.

В.4 Комбинации воздействий

(1)P Нужно следовать общим требованиям EN 1990, раздел 6.

(2) Полезные нагрузки и снеговые нагрузки не должны устанавливаться действующими одновременно.

(3) Сейсмические нагрузки не должны рассматриваться во время пробного заполнения.

(4) Катастрофические воздействия не должны рассматриваться во время пробного заполнения, но нужно учитывать правила комбинирования чрезвычайных нагрузок по EN 1990.

Приложение С (обязательное)

Измерение характеристик сыпучего материала для определения нагрузок на силос (бункер)

С.1 Общие положения

(1) Это приложение описывает методы испытаний, которые вводятся в настоящем техническом кодексе исключительно для определения характеристик сыпучего материала при определении нагрузок в бункере. Эти методы не применимы для расчета бункера с точки зрения обеспечения надежного течения сыпучего материала. Уровень давления, положенный в основу определения характеристик сыпучего материала, должен устанавливаться при определении нагрузок сыпучего материала намного выше, чем при механическом рассмотрении для течения сыпучего материала, так как исследуемые образцы сыпучего материала должны удовлетворять определяющим условиям в зонах сыпучего материала с высокими давлениями. Из этого следует, что подготовка образцов по собственным принципиальным методам действий должна отличаться от обычных способов механики сыпучего материала.

При подготовке образцов для достижения представительной упаковки сыпучего материала нужно стремиться к высоким плотностям хранения, так как это условие высокой плотности хранения описывает эталонное состояние верхних характеристических значений воздействий на конструкцию бункера.

С.2 Применение

(1) Методы испытаний, описанные в этом приложении, указаны для применения при расчете бункеров класса требований 3 и для сыпучих материалов, которые отсутствуют в таблице Е.1. Но они могут привлекаться в качестве альтернативы и для определения характеристик сыпучего материала для значений, указанных в таблице Е.1. Эталонные напряжения при испытаниях действуют в вертикальном или в горизонтальном направлении. Они должны воспроизводить представительные напряжения, которые господствуют в хранимом сыпучем материале, например, в зоне перехода воронки в случае нагрузки – заполнение.

(2) Методы испытаний могут также применяться для измерения характеристик сыпучего материала общего действия для определения размеров бункеров, но только не для специальной геометрии бункера. Испытания, которые должны давать характеристики сыпучего материала общего действия для расчета разных бункеров, должны проводиться, взяв за основу следующие уровни опорного давления:

- а) для учета вертикальных давлений (С.6, С.8 и С.9): эталонное напряжение $\sigma_r = 100$ кПа;
- б) для учета горизонтальных давлений (С.7.2): эталонное напряжение $\sigma_r = 50$ кПа.

С.3 Символы

В данном приложении применяются следующие символы:

a — коэффициенты пересчета характеристик сыпучего материала для учета рассеяния;

c — сцепление (см. рисунок С.4);

D — внутренний диаметр проверяемого элемента;

F_r — остаточное сопротивление срезу (усилие) в конце испытания на определение трения о стенки;

K_{mo} — среднее значение коэффициента горизонтальной нагрузки для гладких стен;

Δ — смещение верхней части элемента среза во время испытаний на срез;

ϕ_i — угол внутреннего трения при нагрузке образца (угол общей устойчивости к срезу);

ϕ_c — угол внутреннего трения при разгрузке образца («эффективный угол внутреннего трения»);

μ — коэффициент трения между образцом сыпучего материала и образцом стены (коэффициент трения о стенки);

σ_r — эталонное напряжение;

τ_a — остаточное сопротивление срезу, измеренное при проверке среза, после повышения стандартного напряжения (см. рисунок С.4) (при первичной нагрузке);

τ_b — максимальная устойчивость к срезу, измеренная при проверке среза, после снижения стандартного напряжения (см. рисунок С.4) (при разгрузке);

τ — напряжение среза, измеренное при проверке среза.

С.4 Определения

На применение данного приложения распространяются следующие понятия.

С.4.1 вторичный параметр: Каждый параметр, который может оказать влияние на характеристику хранимого материала, но не вводится при основных факторах, влияющих на рассеяние характеристик. Вторичными параметрами, к примеру, являются состав, классификация зерна (распределение величины зерна), содержание влаги, температура, возраст, электрический заряд в процессе работы и методы производства. Рассеяния в эталонных напряжениях, определенных в С.2, должны рассматриваться как вторичные параметры.

С.4.2 отбор проб: Выбор типовых проб сыпучего материала, предусмотренного для хранения, или материала стены бункера с привлечением изменчивости его свойств со временем.

С.4.3 эталонное напряжение: Состояние напряжения, при котором проводятся измерения

характеристик сыпучего материала. Эталонное напряжение обычно выбирается таким образом, чтобы после заполнения бункера оно соответствовало господствующему в сыпучем материале уровню напряжения. Иногда может быть необходимо определение эталонного напряжения с помощью более одного основного напряжения.

С.5 Отбор проб и их подготовка

(1) Испытания должны проводиться с представительными образцами сыпучих материалов, предусмотренных для хранения в бункере.

(2) Выбор образца должен осуществляться при соответствующем рассмотрении изменений параметров сыпучего материала, возможных в течение срока использования бункера, кроме того, изменений вследствие изменяющихся условий окружающей среды, влияний метода работы бункера и влияний смешиваний сыпучего сырья в бункере.

(3) Среднее значение каждой характеристики сыпучего материала должно определяться с учетом соответствующего рассеяния существенных вторичных параметров.

(4) Эталонное напряжение σ_r должно определяться для каждого испытания по отношению к состоянию напряжения в хранимом сыпучем материале, но значение эталонного напряжения не должно определяться точно.

Примечание — Точное определение эталонного напряжения значило бы, что результат эксперимента должен был бы быть известен до проведения испытания. Учет точного значения эталонного напряжения не критичен для интерпретации результатов испытания. Но испытания должны проводиться с уровнем напряжения, который определен для цели применения, для которой должны проводиться испытания.

(5) Для испытаний по С.6, С.7.2, С.8.1 и С.9 должен проводиться метод подготовки образцов, описанный ниже.

(6) Образец должен заполняться в проверяемый элемент без вибраций или других мер, которые ведут к уплотнению образца, и нагружаться опорным напряжением σ_r . Для того чтобы консолидировать образец, крышка должна поворачиваться по часовой стрелке и против часовой стрелки несколько раз на угол около 10° вокруг своей вертикальной оси («Twisten»).

Примечание 1 — Относительно принципа действия нужно было бы сослаться на стандарт ASTM D6 128.

Примечание 2 — Количество требуемых вращений («Twists») зависит от проверяемого сыпучего материала.

(7) Средние значения из испытаний должны снабжаться коэффициентом пересчета, чтобы вывести экстремальные значения. Коэффициенты пересчета должны выбираться таким образом, чтобы они учитывали влияние вторичных параметров, изменчивости характеристик сыпучего материала с продолжительностью работы и неточностей при взятии образцов.

(8) Коэффициент пересчета a характеристики сыпучего материала должен согласовываться, если влияние вторичного параметра составляет более 75 % полосы рассеяния, которая перекрывается коэффициентом пересчета (коэффициент конверсии).

С.6 Определение удельного веса сыпучего материала γ

С.6.1 Краткое описание испытания

(1) Удельный вес сыпучего материала γ определяется на консолидированном

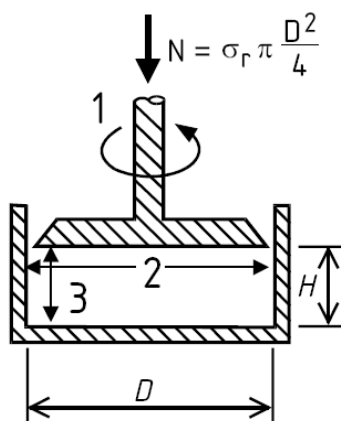
(«сверхкритически» уплотненном) образце сыпучего материала.

Примечание — С помощью этого испытания должна достигаться хорошая оценка максимальной плотности сыпучего материала, устанавливаемой в бункере. Цель достигается за счет того, что определяется плотность, которая максимально настроена после нагрузки образца сыпучего материала уровнем давления, господствующим после заполнения бункера. Для того чтобы добиться этого, требуется заполнять сыпучий материал в проверяемый элемент таким образом, чтобы получалась упаковка сыпучего материала соответствующей плотности, прежде чем к образцу будет приложено напряжение консолидации. Это может достигаться или за счет того, что сыпучий материал заполняется в элемент среза по «методу заполнения дождем», или за счет предварительной подготовки образца описанным методом («Twisten») крышки. Благодаря этому должна достигаться плотность сыпучего материала в измерительной ячейке, которая является представительной с точки зрения определения нагрузок бункера. Эта процедура существенно отличается от метода, который указан в ASTM D6683-01, т. к. там, главным образом, рассматриваются порошкообразные сыпучие материалы с целью достижения возможно незначительной плотности.

С.6.2 Испытательное устройство

(1) Для определения веса и объема образца сыпучего материала применяется элемент среза по рисунку С.1. Диаметр элемента D должен составлять не менее 5-кратного максимального диаметра зерна сыпучего материала и не должен быть меньше 10-кратного среднего размера зерна. Высота H сжатого образца должна находиться между $0,3D$ и $0,4D$.

Примечание — Эти ограничения с привлечением размера зерна сыпучего материала выбраны по следующим причинам: Ограниченная максимальная величина зерна сыпучего материала должна обеспечивать, чтобы отрицательные воздействия с точки зрения расположения и ориентации зерен сыпучего материала вследствие влияния ограничивающей стены не становились слишком большими. Кроме того, известно, что это влияние больше для случая, когда все частицы примерно одинаковой величины, чем в случае, когда малые частицы могут занимать промежутки между большими частицами. По этой причине при одинаковых размерах частиц определяющим является ограничение 10-кратным размером частиц, а при широком распределении размеров частиц ограничение 5-кратным максимальным диаметром частиц.



1 — нормированное вращение;
2 — гладкая поверхность; 3 — шероховатая поверхность

Рисунок С.1 — Устройство для определения γ

С.6.3 Проведение

(1) Эталонное напряжение σ_r должно соответствовать вертикальному уровню давления сыпучего материала, хранимого в бункере, p_v .

(2) Подготовка образцов должна осуществляться по методу в С.5. Удельный вес образца определяется по частному измеренного веса уплотненного образца и объема взятого сыпучего материала. Высота образца H определяется в виде среднего значения трех измерений, которые измеряются на одинаковом радиальном расстоянии от средней точки элемента внутри трех выбранных секторов размером 120° в направлении периметра.

Примечание — Плотности, определенные по методу ASTM D6683, могут несколько выпадать. Отклонение для порошкообразного сыпучего материала, в общем, незначительно, а для сыпучего материала с крупными зернами они могут иметь значительную величину.

С.7 Трение о стенки

С.7.1 Общие положения

(1) Различают следующие параметры:

— коэффициент трения о стенки μ_m для определения нагрузок (коэффициент трения о стенке);

— угол трения о стенки ϕ_{wh} для оценки характеристики текучести.

(2) Для сыпучих материалов с широким распределением величины зерна, которые в процессе заполнения склонны к смешиванию, должен осуществляться выбор образцов материала для определения коэффициентов трения о стенке μ_m с учетом возможных смешиваний материала.

(3) Эксперименты по определению трения о стенке должны проводиться с кусками образцов стены, которые являются представительными для материала поверхности стены конструкции бункера.

Примечание — Хотя испытательные лаборатории при определенных обстоятельствах оборудованы большой шириной полосы конструкционных и облицовочных ма-

териалов, индивидуальные куски образцов стены могут иметь обработку поверхности, которая отличается от качества поверхности в момент изготовления бункера. Куски образцов стены с номинально идентичным обозначением могут иметь углы трения о стенки, которые отличаются друг от друга на несколько градусов. Если это возможно, куски образцов стены должны создаваться предполагаемыми изготовителями конструкционных материалов (например, прокатный стан или изготовитель резервуара). Стальные поверхности с покрытием должны покрываться тем же самым производителем покрытия. Для крупных частиц рекомендуется хранение кусков образцов стены для последующего сравнения с фактически изготовленной поверхностью. В настоящее время невозможно характеризовать поверхности стены по виду, чтобы тем самым можно было надежно предсказать характеристику трения о стенки.

(4) Если стена бункера позже могла подвергаться коррозии или истиранию, то эксперименты по трению о стенки должны проводиться с кусками образца стены, которые соответствующим образом учитывают существующие фактически условия непосредственно после изготовления и после различных условий износа и использования.

Примечание — Поверхности стен в бункерах могут с течением времени изменяться. Коррозия может привести к шероховатости поверхности, нагрузка на истирание может сделать поверхность как шероховатой, так и гладкой. Поверхности из материалов, таких как полиэтилен, могут выдалбливаться, поверхности с покрытием могут царапаться. Стены бункера могут так же сглаживаться, накапливая мелкие составные частицы сыпучих материалов, как например, жиры или мелкие зерна в небольших порах поверхности стены. Эти изменения могут привести к изменению характеристики текучести, даже в такой степени, что, к примеру,

в первоначально рассчитанном на массовый поток бункере возникает центральный поток или наоборот. Нагрузки заполнения могут увеличиваться в бункерах с полированными поверхностями стен, нагрузки за счет трения о стенки — при шероховатых стенах.

С.7.2 Коэффициент трения о стенки μ_m для определения нагрузок

С.7.2.1 Краткое описание

(1) Образец сыпучего материала срезается вдоль поверхности, являющейся представительной для поверхности стены, в случае бункера из гофрированных листов — вдоль гофрированного образца. При этом измеряется сила сдвига вдоль срезанной поверхности.

Примечание — При интерпретации данных из испытаний на срез нужно проявлять тщательность, особенно с той точки зрения, проводятся ли расчеты нагрузки или рассмотрения характеристики текучести.

С.7.2.2 Испытательное устройство

(1) Испытательное устройство представлено на рисунке С.2. Диаметр элемента должен составлять не менее 20-кратного значения диаметра максимального зерна сыпучего материала и не должен быть меньше 40-кратного значения среднего раз-

мера частиц. Высота сжатого образца H должна находиться между $0,15D$ и $0,2 D$. В случае образцов стен с нерегулярностями, как например, для гофрированной стены, размер элемента должен согласовываться соответствующим образом.

Примечание — Эти ограничения относительно размера зерна сыпучего материала выбраны по следующим причинам: Ограниченный максимальный размер зерна сыпучего материала должен гарантировать, что отрицательные влияния с точки зрения расположения и ориентации зерен сыпучего материала вследствие влияния ограничивающей стены не слишком велики. Кроме того, известно, что это влияние больше для случая, когда все частицы имеют примерно одинаковый размер, чем в случае, когда мелкие частицы могут заполнять промежутки между крупными частицами. По этой причине при одинаковых размерах частиц определяющим является ограничение 10-кратным размером частиц, а при широком распределении размеров частиц ограничение 20-кратным максимальным диаметром частиц.

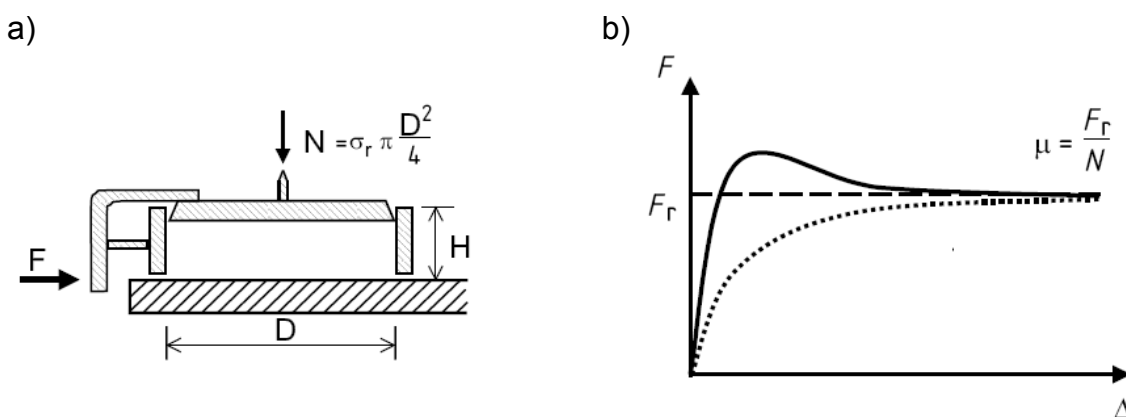


Рисунок С.2 — Метод испытаний для определения коэффициентов трения о стенки:

- а — элемент среза для измерения трения о стенки;**
б — типичные соотношения силы сдвига и деформации

С.7.2.3 Принцип действия

(1) В качестве эталонного напряжения σ_r за основу берется наибольшая горизонтальная нагрузка p_h , появляющаяся в бункере.

(2) Подготовка образцов должна осуществляться в соответствии с действиями по С.5.

(3) После заполнения элемента среза и перед срезанием элемент должен поворачиваться и осторожно подниматься с проверяемой поверхностью, так чтобы измерялось трение только между частицами и поверхностью.

(4) Срезание образца проводится таким образом, чтобы обеспечивалась постоянная скорость сдвига около $0,04$ мм/с.

(5) При определении коэффициентов трения о стенки при больших деформациях должно использоваться остаточное значение силы трения F_r (см. рисунок С.2).

(6) Коэффициент трения о стенки для определения нагрузки, полученный при эксперименте, должен определяться по формуле

$$\mu = \frac{F_r}{N}, \quad (\text{C.1})$$

где F_r — конечное или остаточное значение силы среза (см. рисунок С.2 b);
 N — вертикальная нагрузка, приложенная к крышке элемента среза.

С.7.3 Угол трения о стенки ϕ_{wh} для исследований характеристики текучести

(1) Если требуется, то для исследований характеристики текучести должен определяться угол трения о стенки ϕ_{wh} , ссылаются на стандарт ASTM D6128.

(2) Угол трения о стенки для исследований характеристики текучести должен определяться при низких коэффициентах давления.

(3) Нужно тщательно следить за тем, нужны ли данные исследований угла трения о стенки для исследований характеристики текучести сыпучего материала или для определения воздействий.

С.8 Коэффициент горизонтальной нагрузки K

С.8.1 Непосредственное измерение

С.8.1.1 Краткое описание

(1) При противодействии горизонтальных деформаций к образцу прилагается вертикальное напряжение σ_1 и измеряется горизонтальное напряжение σ_2 , вытекающее из этой нагрузки. По нему определяется величина секущей коэффициента горизонтальной нагрузки K_o .

Примечание 1 — Величина коэффициента K_o зависит от направления основных напряжений, образующихся в образце. При оценке испытания горизонтальные и вертикальные напряжения должны приближенно рассматриваться как основные напряжения. В бункере, как правило, этого не происходит.

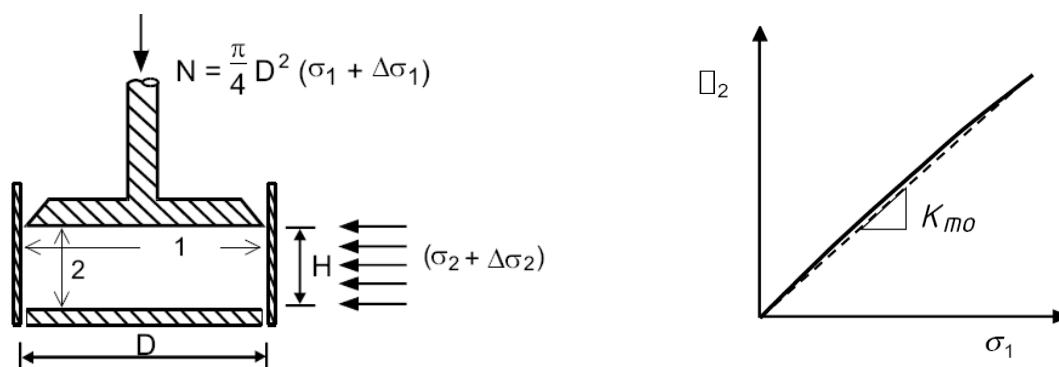
Примечание 2 — Под образцом, в котором исключены горизонтальные деформации, понимается, что горизонтальные удлинения в сыпучем материале сохраняются настолько малыми, что их влиянием на напряжения в образце сыпучего материала пренебрегают. Однако, эти удлинения достаточно велики, чтобы считать их измеримыми величинами в тонкой стене элемента среза или в специальных зонах стены, которые должны рассчитываться для концентрированных удлинений. В общем случае среднее удлинение периметра при порядке величины 1/10 промиля выполняет этот критерий ограниченных удлинений в образце сыпучего материала при одинаковой измеримости деформаций в стене аппаратуры.

С.8.1.2 Испытательное устройство

(1) Испытательное устройство представлено на рисунке С.3. Горизонтальные напряжения выводятся из удлинений, измеренных на наружной поверхности вертикального кольца. Для этого стенка измеряемого элемента должна быть достаточно тонкой и рассчитанной таким образом, чтобы напряженное состояние в стенке могло правильно интерпретироваться.

Примечание — В общем случае для этого требуются следующие свойства элемента среза:

- a) конструктивное разделение кольца стенки элемента и основной плиты;
- b) обеспечение измерения как горизонтальных, так и вертикальных удлинений без противоположного рассмотрения;
- c) расположение мест измерения удлинений на достаточном удалении от краев образца;
- d) обеспечение того, что измеренные удлинения связаны с внутренними горизонтальными напряжениями коэффициентом пересчета, причем изгибом стенок испытательной аппаратуры в этом соотношении можно пренебречь.



1 — гладкая поверхность;
2 — шероховатая поверхность

Рисунок С.3 — Метод испытаний для определения K_o

С.8.1.3 Принцип действий

- (1) Эталонное напряжение σ_r должно соответствовать наибольшему вертикальному уровню давления хранимого в бункере сыпучего материала p_v .
- (2) Подготовка образцов должна осуществляться в соответствии с действиями по С.5.
- (3) Должно рассматриваться горизонтальное напряжение σ_2 , получающееся в образце из вертикальной нагрузки σ_1 , которая соответствует эталонному напряжению σ_r . Значение K_o рассчитывается из этих компонентов напряжения (см. рисунок С.3) по формуле

$$K_o = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}. \quad (\text{С.2})$$

- (4) Значение K принимается по формуле

$$K = 1,1K_o. \quad (\text{С.3})$$

Примечание — С помощью коэффициента 1,1 в формуле (С.3) должна учитываться разница между коэффициентом горизонтальной нагрузки, измеренным практически при отсутствии влияний трения о стенки ($=K_o$), и значением K при влиянии трения о стенки в бункере (см. также 4.2.2 (5)).

С.8.2 Косвенное измерение

- (1) Приближенное значение K может выводиться из угла внутреннего трения ϕ_i , который может определяться или по методу, описанному в С.9, или по испытанию по

трех осям. Если значение K выводится из ϕ_i , то должна использоваться оценка в формуле (4.7).

С.9 Параметры прочности: сцепление c и угол внутреннего трения ϕ_i

С.9.1 Непосредственное измерение

С.9.1.1 Краткое описание

(1) Прочность образца сыпучего материала должна определяться при испытании элемента среза. Для описания влияния прочности сыпучих материалов, хранимых в элементах бункера, на нагрузки бункера должны применяться оба параметра c и ϕ_i .

(2) Следовало бы сослаться на ASTM D6128. Однако нужно обратить внимание на то, чтобы параметры, которые определяются с помощью испытаний этого свода правил, не соответствуют тем, которые описываются в настоящем техническом кодексе.

С.9.1.2 Испытательное устройство

(1) В качестве испытательного устройства применяется цилиндрический элемент среза по рисунку С.4. Диаметр элемента D должен составлять не менее 20-кратного значения диаметра максимального зерна сыпучего материала и не должен быть менее 40-кратного значения среднего размера частиц. Высота сжатого образца H должна находиться между $0,3D$ и $0,4 D$.

Примечание — Эти ограничения относительно размера зерна сыпучего материала выбраны по следующим причинам: Ограниченный максимальный размер зерна сыпучего материала должен гарантировать, что отрицательные влияния с точки зрения расположения и ориентации зерен сыпучего материала вследствие влияния ограничивающей стены не слишком велики. Кроме того, известно, что это влияние больше для случая, когда все частицы имеют примерно одинаковый размер, чем в случае, когда мелкие частицы могут заполнять промежутки между крупными частицами. По этой причине при одинаковых размерах частиц определяющим является ограничение 10-кратным размером частиц, а при широком распределении размеров частиц ограничение 20-кратным максимальным диаметром частиц.

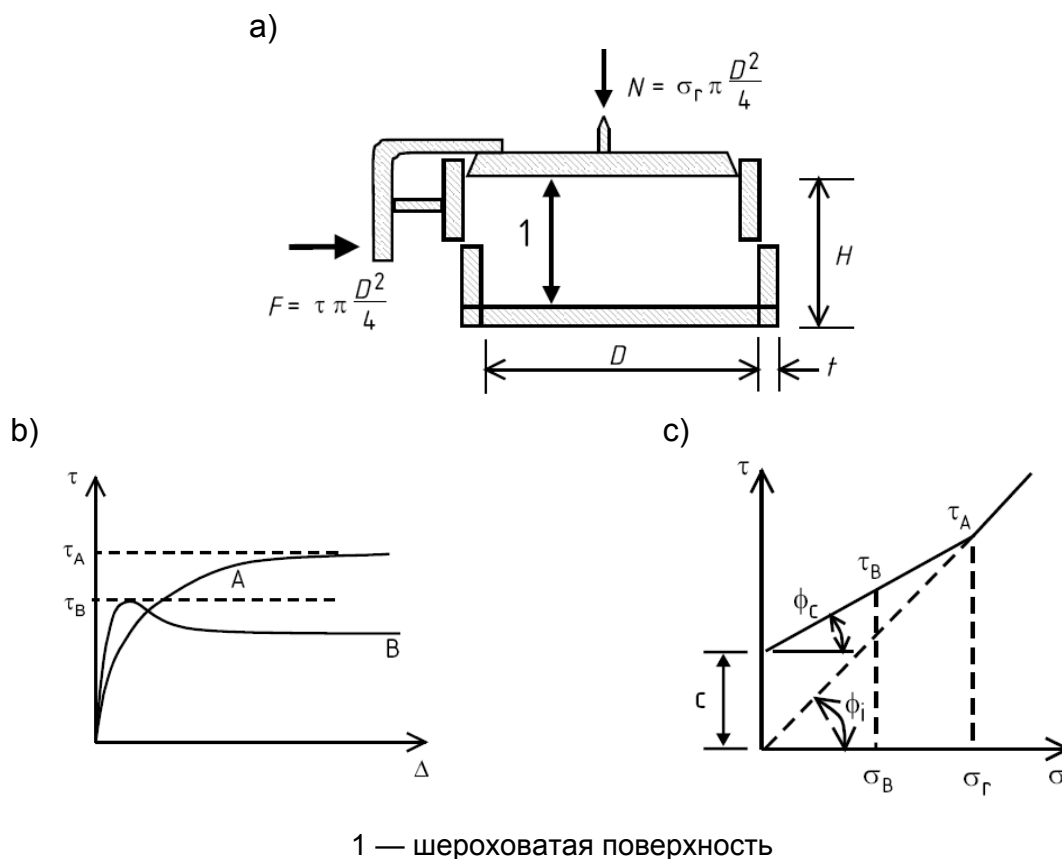


Рисунок С.4 — Методы испытаний для определения угла внутреннего трения ϕ_i и ϕ_c и сцепления c , основывающиеся на напряжении σ_r , устанавливаемом при предварительном уплотнении:
а — элемент среза;
б — типичная кривая зависимости напряжения среза от смещения;
с — типичное соотношение между напряжением среза и стандартным напряжением, определенное при испытании среза

С.9.1.3 Проведение

(1) Эталонное напряжение σ_r должно приблизительно соответствовать ожидаемому вертикальному уровню давления хранимого в бункере сыпучего материала p_v по С.2. Подготовка образцов должна осуществляться в соответствии с действиями по С.5.

(2) Срезание образца осуществляется с постоянной скоростью сдвига около 0,04 мм/с.

(3) За основу определения параметров прочности сыпучего материала должно браться напряжение среза τ , определенное при горизонтальном смещении или перед горизонтальным смещением $\Delta = 0,06D$, причем D представляет собой внутренний диаметр элемента (см. рисунок С.4).

(4) Должны проводиться не менее двух испытаний при условиях, определенных в (5) и (6) (см. таблицу С.1 и рисунок С.4).

Таблица С.1 — Параметры эксперимента

Эксперимент	Величина предварительной нагрузки	Стандартное напряжение в эксперименте	Измеренное максимальное напряжение сдвига
№ 1	σ_r	σ_r	τ_A
№ 2	σ_r	$\sigma_B \approx \sigma_r/2$	τ_B

(5) Для определения напряжения сдвига τ_A первый образец материала срезается при стандартной нагрузке в соответствии с эталонным напряжением σ_r .

(6) Второй образец, как и первый образец, подвергается сначала стандартной нагрузке, соответствующей эталонному напряжению σ_r , только прямо вплоть до среза. После этого стандартная нагрузка снижается примерно до половины значения эталонного напряжения ($\sigma_B \approx \sigma_r/2$). Затем образец продолжает срезаться при этом уровне напряжения, чтобы получить максимальное напряжение сдвига τ_B (см. рисунок С.4 б). Напряжения, определяемые в результате этих двух испытаний, приведены в таблице С.1.

С.9.1.4 Оценка

(1) Угол внутреннего трения при нагрузке ϕ_i хранимого сыпучего материала определяется по формуле

$$\phi_i = \arctan \cdot (\tau_A/\sigma_r). \quad (\text{C.4})$$

(2) Сцепление c , активизирующееся в сыпучем материале при эталонном напряжении, рассчитывается по формуле

$$c = \tau_A - \sigma_r \tan \phi_c, \quad (\text{C.5})$$

где ϕ_c — угол внутреннего трения при разгрузке образца с уплотнением выше критического, который определяется по формуле

$$\phi_c = \arctan \cdot \left(\frac{\tau_A - \tau_B}{\sigma_r - \sigma_B} \right). \quad (\text{C.6})$$

Примечание — Значение сцепления c сильно зависит от напряжения сжатия σ_r , а следовательно, не должно рассматриваться в качестве постоянной характеристики материала.

(3) Для сыпучего материала без сцепления (т. е. $c = 0$) прочность к срезу должна описываться только углом внутреннего трения ϕ_i , который тогда соответствует ϕ_c .

Примечание — В качестве альтернативы описанным выше испытаниям может использоваться стандартное испытание по трем осям.

С.9.2 Косвенное измерение

С.9.2.1 Краткое описание

(1) Сцепление сыпучего материала может также приближенно определяться по результатам испытаний на срез элемента среза Дженике (ASTM D6128).

(2) Сцепление должно определяться при коэффициентах давления, соответствующих максимальному вертикальному давлению σ_{vff} в бункере после заполнения (см. С.2).

(3) В качестве максимального напряжения уплотнения σ_c должно устанавливаться максимальное вертикальное давление в бункере после заполнения σ_{vff} .

(4) Самое простое напряжение течения σ_u , соответствующее этому напряжению уплотнения, определяется по функции текучести. Кроме того, определяется угол эффективного внутреннего трения δ при соответствующих условиях напряжения.

(5) Должно определяться следующее приближенное значение сцепления:

$$c = \sigma_c \cdot \left(\frac{\sin \delta - \sin \phi_c}{\cos \phi_c \cdot (1 + \sin \delta)} \right) \quad (\text{C.7})$$

с:

$$\phi_c = \arcsin \left(\frac{2 \sin \delta - k}{2 - k} \right), \quad (\text{C.8})$$

где ϕ_c — угол внутреннего трения при разгрузке (см. рисунок С.4 с);

$$k = \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_u} \right) \cdot (1 + \sin \delta), \quad (\text{C.9})$$

здесь σ_c — максимальное напряжение сжатия в испытании с элементом среза Дженике;

σ_u — наиболее простое напряжение течения по испытанию с элементом среза Дженике;

δ — эффективный угол внутреннего трения по испытанию с элементом среза Дженике.

Примечание 1 — Порядок величины сцепления сильно зависит от напряжения сцепления σ_c и, следовательно, не представляет независимую характеристику сыпучего материала.

Примечание 2 — Наибольшее значение напряжения сцепления σ_c обычно обозначается в литературе механики сыпучего материала σ_1 .

(6) Приближенное значение угла внутреннего трения при разгрузке ϕ_i может оцениваться по испытаниям с элементом среза Дженике по формуле

$$\phi_i = \arctan \left(\frac{\sin \delta \cos \phi_c}{1 - \sin \phi_c \sin \delta} \right). \quad (\text{C.10})$$

Примечание — Оба параметра c и ϕ_i используются в настоящем техническом кодексе только для оценки влияния прочности сыпучего материала к давлениям в бункере.

С.10 Эффективный модуль упругости E_s

С.10.1 Непосредственное измерение

С.10.1.1 Принципы испытания

(1) К удерживаемому сбоку образцу должна прикладываться вертикальная нагрузка σ_1 . Для каждого приращения нагрузки $\Delta\sigma_1$ (вертикальное) измеряется результирующее горизонтальное напряжение $\Delta\sigma_2$ и изменение вертикального смещения Δv_1 . По этим измерениям выводится эффективный модуль упругости при нагрузке E_{sL} (модуль нагрузки) с помощью инкрементального коэффициента горизонтальной нагрузки K . Вертикальная нагрузка затем снижается на величину $\Delta\sigma_1$, измеряется изменение горизонтального напряжения $\Delta\sigma_2$ и вертикального смещения Δv_1 . По этим измерениям выводится эффективный модуль упругости при разгрузке E_{sU} (модуль разгрузки).

Примечание 1 — Порядок величины K_o зависит от направления основных напряжений в образце. Горизонтальные и вертикальные напряжения приблизительно соответствуют основным напряжениям, причем, как правило, в бункере этого не происходит.

Примечание 2 — Под образцом, в котором исключены горизонтальные деформации, следует понимать, что горизонтальные удлинения в сыпучем материале сохраняются настолько малыми, что их влиянием на напряжения в образце сыпучего материала пренебрегают. Однако, эти удлинения достаточно велики, чтобы считать их измеримыми величинами в тонкой стене измерительной аппаратуры. В общем случае среднее удлинение периметра при порядке величины 1/10 промилля выполняет этот критерий.

С.10.1.2 Испытательное устройство

(1) Геометрия применяемой испытательной аппаратуры представлена на рисунке С.5. Она подобна аппаратуре для измерения коэффициента горизонтальной нагрузки K , описанной в С.8.

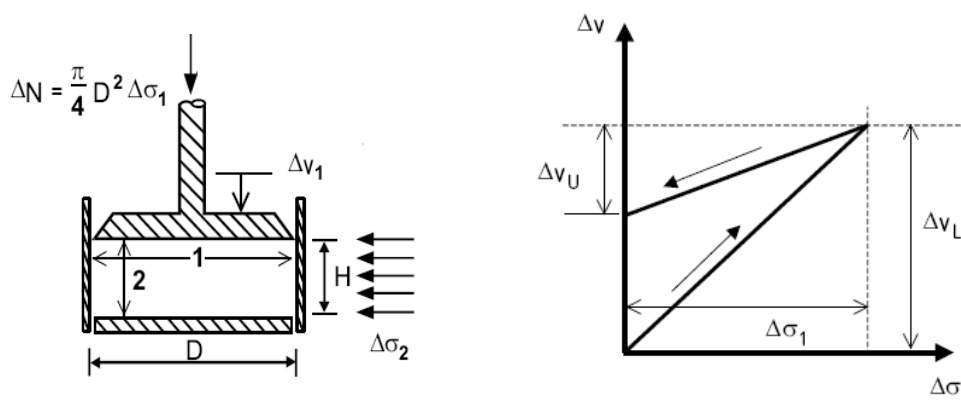
(2) Горизонтальные напряжения выводятся из удлинений, измеренных на наружной поверхности вертикального кольца. Для этого стенка измерительного элемента должна быть достаточно тонкой и должна быть рассчитана таким образом, чтобы можно было правильно интерпретировать состояние напряжений в стене.

Примечание — В общем случае для этого требуется основная плита, отделенная от стенок элемента среза, чтобы возможны были измерения как горизонтальных, так и вертикальных удлинений без взаимного отрицательного влияния. Кроме того, требуется, чтобы удлинения измерялись на достаточном удалении от краев образца. Должно обеспечиваться, что измеренные удлинения пропорциональны внутренним горизонтальным напряжениям, причем изгибом стенок испытательной аппаратуры в этом отношении можно пренебречь.

(3) Необходимо заботиться о том, чтобы настраивались соответственно малые инкрементальные величины вертикальных деформаций образца.

a)

b)



1 — гладкая поверхность;
2 — шероховатая поверхность

Рисунок С.5 — Методы испытаний для определения модуля упругости при нагрузке и разгрузке:
а — испытательное устройство;
б — типичное вертикальное смещение при вертикальных приращениях напряжения $\Delta\sigma_1$

С.10.1.3 Проведение

(1) В качестве эталонного напряжения σ_r принимается наибольший ожидаемый вертикальный уровень давления хранимого в бункере сыпучего материала p_v .

(2) Подготовка образцов должна осуществляться в соответствии с действиями по С.5.

(3) После установки вертикальной нагрузки σ_1 , соответствующей эталонному напряжению σ_r , считываются горизонтальные напряжения и вертикальные деформации. Высота H образца материала должна тщательно измеряться.

(4) Устанавливается малое приращение вертикального напряжения $\Delta\sigma_1$ и еще раз измеряются горизонтальные напряжения и вертикальные деформации. Приращение вертикальных напряжений должно приблизительно составлять около 10 % эталонного напряжения σ_1 .

(5) Определяется изменение горизонтального напряжения $\Delta\sigma_2$ вследствие вертикального приращения нагрузки $\Delta\sigma_1$ и изменение вертикальных смещений Δv (оба значения отрицательные). Значение K_L при нагрузке с приращением тогда определяется как K_L по формуле

$$K_L = \frac{\Delta\sigma_2}{\Delta\sigma_1}. \quad (\text{C.11})$$

(6) Тогда эффективный модуль упругости E_{sl} при нагрузке определяется по следующей формуле:

$$E_{sl} = H \cdot \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta v} \cdot \left(1 - \frac{2K_L^2}{1+K_L} \right). \quad (\text{C.12})$$

(7) В заключение осуществляется незначительное снижение вертикальной на-

грузки (должно рассматриваться как величина с отрицательным предварительным знаком) и измеряются результирующие изменения горизонтальных напряжений и вертикальных деформаций. Приращение вертикального напряжения $\Delta\sigma_1$ должно приблизительно составлять около 10 % эталонного напряжения σ_1 .

(8) Определяется изменение горизонтального напряжения $\Delta\sigma_2$ вследствие вертикального приращения нагрузки $\Delta\sigma_1$ и изменения вертикальных смещений Δv (оба значения отрицательные). Значение K при разгрузке с приращением тогда определяется как K_U по формуле

$$K_U = \frac{\Delta\sigma_2}{\Delta\sigma_1}. \quad (\text{C.13})$$

(9) Эффективный модуль упругости E_{sU} при разгрузке определяется по следующей формуле:

$$E_{sU} = H \cdot \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta v} \cdot \left(1 - \frac{2K_U^2}{1 + K_U} \right). \quad (\text{C.14})$$

Примечание — Эффективный модуль упругости при разгрузке обычно намного больше эффективного модуля упругости при нагрузке. В оценке, при которой большой модуль упругости вреден для несущей конструкции (например, при изменениях температуры) должен использоваться модуль упругости при разгрузке (модуль разгрузки). Если модуль упругости сыпучего материала наиболее благоприятен для конструкции (например, в тонкостенных прямоугольных бункерах), должен применяться модуль упругости при нагрузке (модуль нагрузки).

С.10.2 Косвенная оценка

(1) В качестве помощи для специальной проверки настройки эксперимента E_{sU} должен оцениваться как приближенное значение, как показано ниже:

$$E_{sU} = \chi p_{vft}, \quad (\text{C.15})$$

где p_{vft} — вертикальное напряжение на нижнем краю вертикального участка стены (формулы (5.3) или (5.79);

χ — коэффициент соприкосновения.

Примечание — Эффективный модуль упругости при разгрузке E_{sU} и вертикальное напряжение p_{vft} имеют в формуле (С.15) одинаковую единицу измерения.

(2) При отсутствии экспериментальных данных испытаний в соответствии с методом по С.10.1 может оцениваться коэффициент соприкосновения (Kontiguitat) χ по следующей формуле:

$$\chi = 7\gamma^{3/2}, \quad (\text{C.16})$$

где γ устанавливается как удельный вес хранимого сыпучего материала с размерностью кН/м³.

(3) Значение χ может альтернативно приниматься: для сухой сельскохозяйственной зерновой продукции равным 70, для мелкозернистых минеральных гранулятов — 100, а для крупнозернистых минеральных гранулятов — 150.

С.11 Определение верхнего и нижнего характеристических значений параметров сыпучего материала и определение коэффициента пересчета α

С.11.1 Краткое описание

(1) Р бункер должен рассчитываться с наименее благоприятными условиями нагрузки, которым бункер подвергается в течение своего срока использования. Этот раздел обсуждает оценку рассеяния характеристик сыпучего материала, которые могут появляться в образцах сыпучего материала в момент расчета.

Примечание — Вероятно, что характеристики хранимого сыпучего материала в процессе использования изменяются. Но эти временные изменения характеристик оценить непросто.

(2) Экстремальные значения расчетных нагрузок должны описываться их характеристическими значениями. Это значения, которые в процессе предусмотренного срока службы или длительности расчетного периода не превышаются с общепризнанной предписанной вероятностью — обычно 5 % и 95 % — количественные значения.

(3) Экстремальные значения характеристик, которые требуются для достижения этого экстремального уровня нагрузки, должны определяться как характеристические значения характеристик сыпучего материала.

(4) При определении определяющих соотношений нагрузки используются как верхние, так и нижние характеристические значения.

(5) Должен применяться описанный здесь упрощенный метод, в котором характеристическое значение рассматривается с взятым за основу 1,28-кратным стандартным отклонением от среднего значения.

Примечание 1 — Соответствующие характеристики материала для определенной вероятности превышения уровня нагрузки зависят от геометрии и абсолютных размеров резервуара, от рассматриваемого случая нагрузки и от того, должны ли нагрузки рассматриваться в вертикальном стволе бункера или в воронке. К тому же на эти значения влияют и содержание влаги, температура, склонность к смешиванию и возраст.

Примечание 2 — В EN 1990, приложение D рекомендуется значение, отличающееся от 1,28. Как представлено в разделе, приведенном выше, большинство независимых друг от друга свойств сыпучего материала вносят вклад в характеристические нагрузки. Поэтому 10 или 90-процентное значение каждой характеристики рассматривается в качестве подходящей и разумной оценки значения, которая представляет соразмерную вероятность появления расчетной нагрузки.

(6) Если в распоряжении имеются адекватные экспериментальные данные, то характеристические значения определяются с применением статистических методов.

Примечание 1 — Хотя экспериментальные данные представляют вспомогательную базу для определения характеристических значений, они также подвергаются ограничениям, как например, ограничение в размерах образцов, ограниченные методы подготовки образцов и т. д. Эти ограничения могут привести к тому,

что данные являются непредставительными для совокупности свойств, которые могут стать определяющими в процессе работы.

Примечание 2 — Значения из таблицы Е.1 сводятся к определениям, которые основаны на сочетании опыта и фактически определенных экспериментальных данных.

(7) Если заказчик или конструктор имеет в распоряжении материал с данными или опытные значения для специальной расчетной ситуации, то заказчик должен выводить характеристические параметры сыпучего материала из этого материала с данными, если они представляют полосу параметров сыпучих материалов, применяемых в течение срока использования.

С.11.2 Методы оценки

(1) Для создания характеристических значений каждого параметра должны применяться следующие методы. Далее переменная x представляет соответствующий рассматриваемый параметр.

(2) Среднее значение параметра \bar{x} определяется из экспериментальных данных.

(3) Там, где это возможно, по экспериментальным данным, имеющимся в распоряжении, определяется переменный коэффициент δ .

(4) Если данные испытаний не годятся для определения вариационных коэффициентов, то оценивается подходящее значение сыпучего материала. Таблица С.2 может служить руководством для этой цели.

(5) Верхнее характеристическое значение параметра ($x_u = x_{0,90}$) определяется по формуле

$$x_{0,90} = \bar{x} \cdot (1 + 1,28\delta). \quad (\text{C.17})$$

(6) Нижнее характеристическое значение параметра ($x_u = x_{0,10}$) определяется по формуле

$$x_{0,10} = \bar{x} \cdot (1 - 1,28\delta). \quad (\text{C.18})$$

(7) Коэффициент пересчета a_x параметра определяется по формуле

$$a_x = \sqrt{\frac{1 + 1,28\delta}{1 - 1,28\delta}} \approx 1 + 1,28\delta + \delta^2. \quad (\text{C.19})$$

Примечание — Формула (С.19) представляет простейший метод для определения отдельного значения a_x , который дает хорошую оценку как для значения $x_{0,90}$, так и для значения $x_{0,10}$. Однако нужно было бы указать на то, что всегда существует небольшое различие между значениями, определенными по формулам (С.17) и (С.18) с одной стороны, и значениями по простейшему методу по формуле (С.19) и формулам (4.1) — (4.6) с другой. Причина этого в том, что формулы (С.17) и (С.18) составляются из суммированных термов, в то время как a_x используется как сложная величина.

(8) Если должны оцениваться значения коэффициентов пересчета, то должны использоваться вариационные коэффициенты δ для удельного веса сыпучего материала с 0,10. Для других характеристик сыпучего материала значения должны оцениваться по данным сыпучих материалов, перечисленных в таблице С.2, с анало-

гичными свойствами.

Таблица С.2 — Типичные значения вариационных коэффициентов характеристик сыпучего материала

Сыпучий материал	Вариационный коэффициент δ				
	Коэффициент горизонтальной нагрузки K	Угол внутреннего трения ϕ_i , град.	Коэффициент трения о стенки μ		
			Класс шероховатости стены		
			D1	D2	D3
Бетонный гравий	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09
Алюминий	0,14	0,16	0,05	0,05	0,05
Смесь концентрированного комбикорма	0,08	0,06	0,19	0,19	0,19
Комки концентрированного комбикорма	0,05	0,05	0,14	0,14	0,14
Ячмень	0,08	0,10	0,11	0,11	0,11
Цемент	0,14	0,16	0,05	0,05	0,05
Цементный клинкер	0,21	0,14	0,05	0,05	0,05
Уголь	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09
Угольная пыль	0,14	0,18	0,05	0,05	0,05
Кокс	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09
Зола	0,14	0,12	0,05	0,05	0,05
Мука	0,08	0,05	0,11	0,11	0,11
Куски железной руды	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09
Гидроокись кальция	0,14	0,18	0,05	0,05	0,05
Известняковая мука	0,14	0,16	0,05	0,05	0,05
Кукуруза	0,10	0,10	0,17	0,17	0,17
Фосфаты	0,11	0,13	0,09	0,09	0,09
Картофель	0,08	0,09	0,11	0,11	0,11
Песок	0,08	0,07	0,11	0,11	0,11
Шлаковый клинкер	0,08	0,07	0,11	0,11	0,11
Соевые бобы	0,08	0,12	0,11	0,11	0,11
Сахар	0,14	0,14	0,05	0,05	0,05
Комки сахарной свеклы	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09

Пшеница	0,08	0,09	0,11	0,11	0,11
---------	------	------	------	------	------

Приложение D (обязательное)

Оценка параметров сыпучего материала для определения нагрузок на силос (бункер)

D.1 Цель

Это приложение описывает методы оценки характеристик сыпучего материала, которые требуются в настоящем техническом кодексе в целях расчета нагрузок бункера и не могут непосредственно определяться экспериментально на основании испытаний.

D.2 Оценка коэффициентов трения о стенки для волнистой стены

(1) Для типа стены (волнистая, или листы профиля, или листы с горизонтальными прорезями) эффективный коэффициент трения о стенки должен определяться по формуле

$$\mu_{\text{eff}} = (1 - a_w) \cdot \tan\phi_i + a_w\mu_w, \quad (\text{D.1})$$

где μ_{eff} — эффективный коэффициент трения о стенки;
 ϕ_i — угол внутреннего трения;
 μ_w — коэффициент трения о стенки (по отношению к ровной поверхности стены);
 a_w — коэффициент контакта со стеной.

Примечание — Для типа стены D4 эффективное трение о стенки зависит от угла внутреннего трения сыпучего материала, коэффициентов трения о стенки по отношению к ровной стене и от профиля поверхности стены.

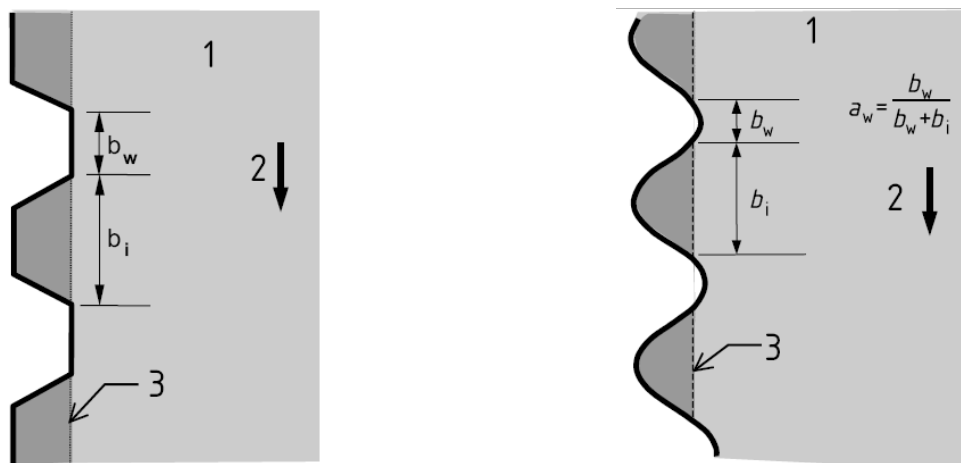
(2) Параметр a_w в формуле (D.1), который представляет часть поверхности скольжения относительно поверхности стены, должен определяться по геометрии профиля поверхности стены с учетом соответствующей оценки активных контактных зон между сыпучим материалом и поверхностью стены (см. рисунок D.1 а):

$$a_w = \frac{b_w}{b_w + b_i}, \quad (\text{D.2})$$

Примечание — Поверхность раздела между скользящими и неподвижными зонами частично находится в контакте со стеной, а частично является поверхностью разрыва внутри сыпучего материала. Часть, скользящая вдоль поверхности стены, выражается коэффициентом a_w . Эта часть не может просто определяться и должна оцениваться в зависимости от профиля поверхности стены.

a)

b)



1 — сыпучий материал;
2 — поток сыпучего материала; 3 — скользящая поверхность

**Рисунок D.1 — Габаритные размеры профилирования поверхности стены:
а — профиль с трапециевидными складками;
б — профиль с волнами синусоидальной формы**

(3) Если требуется, то должна осуществляться соответствующая оценка зоны контакта сыпучий материал/стена (см. рисунок D.1 б).

Примечание — Для профилирований поверхности стены, которая подобна профилю, представленному на рисунке D.1 б), коэффициент a_w может приближенно приниматься равным 0,20.

D.3 Внутреннее трение и трение о стенки сыпучего материала с крупными частицами без мелких составляющих

(1) Для крупнозернистого сыпучего материала без мелких составляющих (например, люпин, горох, бобы или картофель) коэффициент трения о стенки μ и угол внутреннего трения ϕ_i определяются не так просто. В этом случае для угла внутреннего трения должен приниматься угол скоса ϕ_r рыхлой кучи сыпучего материала, насыпанной на ровную плиту основания (конус сыпучего материала).

Приложение Е
(обязательное)

Параметры свойств сыпучего материала

Е.1 Общие положения

(1) Это приложение указывает характеристики некоторых сыпучих материалов, обычно хранящихся в бункере, для расчета.

Е.2 Указанные значения

(1) Для определения воздействий должны применяться характеристики сыпучего материала, указанные в таблице Е.1.

Таблица Е.1 — Характеристики сыпучего материала

Вид сыпучего материала ^{d), e)}	Удельный вес ^{b)} γ		Угол ско-са ϕ_r	Угол внутреннего тре-ния ϕ_i		Коэффициент горизонталь-ной нагрузки K		Коэффициент трения о стенки ^{c)} μ ($\mu = \tan\phi_w$)				Параметр частичной поверхно-стной нагрузки C_{op}
	γ_l	γ_u		ϕ_{im}	a_ϕ	K_m	a_K	Тип стены D1	Тип стены D2	Тип стены D3	a_μ	
	Ниж-нее значе-ние	Верх-нее значе-ние		Сред-нее значе-ние	Коэффи-циент пересчета	Сред-нее значе-ние	Коэф-фици-ент пере-счета	Сред-нее значе-ние	Сред-нее значе-ние	Сред-нее значе-ние	Коэф-фици-ент пере-счета	
	кН/м ³	кН/м ³		град.	град.							
Общий сыпу-чий материа-л ^{a)}	6,0	22,0	40	35	1,3	0,50	1,5	0,32	0,39	0,50	1,40	1,0
Бетонный гра-	17,0	18,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,39	0,49	0,59	1,12	0,4

вий												
Алюминий	10,0	12,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5
Смесь концентрированного комбикорма	5,0	6,0	39	36	1,08	0,45	1,10	0,22	0,30	0,43	1,28	1,0
Комки концентрированного комбикорма	6,5	8,0	37	35	1,06	0,47	1,07	0,23	0,29	0,37	1,20	0,7
Ячмень ★	7,0	8,0	31	28	1,14	0,59	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,5
Цемент	13,0	16,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5
Цементный клинкер #	15,0	18,0	47	40	1,20	0,38	1,31	0,46	0,56	0,62	1,07	0,7
Уголь ★	7,0	10,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,44	0,49	0,59	1,12	0,6
Угольная пыль ★	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5
Кокс	6,5	8,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,6
Зола	8,0	15,0	41	35	1,16	0,46	1,20	0,51	0,62	0,72	1,07	0,5
Мука ★	6,5	7,0	45	42	1,06	0,36	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,6
Куски железа	19,0	22,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,5
Гидроокись кальция	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,36	0,41	0,51	1,07	0,6
Известняковая мука	11,0	13,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5
Кукуруза ★	7,0	8,0	35	31	1,14	0,53	1,14	0,22	0,36	0,53	1,24	0,9
Фосфат	16,0	22,0	34	29	1,18	0,56	1,15	0,39	0,49	0,54	1,12	0,5

Картофель	6,0	8,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,33	0,38	0,48	1,16	0,5
Песок	14,0	16,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,38	0,48	0,57	1,16	0,4
Шлаковый клинкер	10,5	12,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,48	0,57	0,67	1,16	0,6
Соевые бобы	7,0	8,0	29	25	1,16	0,63	1,11	0,24	0,38	0,48	1,16	0,5
Сахар ★	8,0	9,5	38	32	1,19	0,50	1,20	0,46	0,51	0,56	1,07	0,4
Комки сахарной свеклы	6,5	7,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,35	0,44	0,54	1,12	0,5
Пшеница ★	7,5	9,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,24	0,38	0,57	1,16	0,5

Примечание — Если должен храниться сыпучий материал, который не перечислен в таблице, то должны проводиться испытания.

a) Если затраты на испытания не оправданы, особенно если оценка затрат показывает, что при использовании широкой полосы измеренных значений получаются лишь незначительные влияния на общие затраты, то могут использоваться значения так называемого «Общего сыпучего материала». Эти значения могут особенно подходить для небольших бункерных установок. Для больших бункерных систем в общем случае они приводят к неэкономичным расчетам. В этом случае, как правило, следует предпочесть испытание.

b) Для определения нагрузок бункера всегда должно использоваться верхнее характеристическое значение γ_u . Нижнее характеристическое значение γ_r в таблице E.1 предусмотрено для поддержки расчетов емкостей хранения, если, к примеру, в бункере должна обеспечиваться определенная заданная емкость склада.

c) Эффективный коэффициент трения о стенки для типа стены D4 (волнистая стена) может оцениваться по методам D.2.

d) Сыпучие материалы, которые склонны к взрыву пыли, обозначены символом ★.

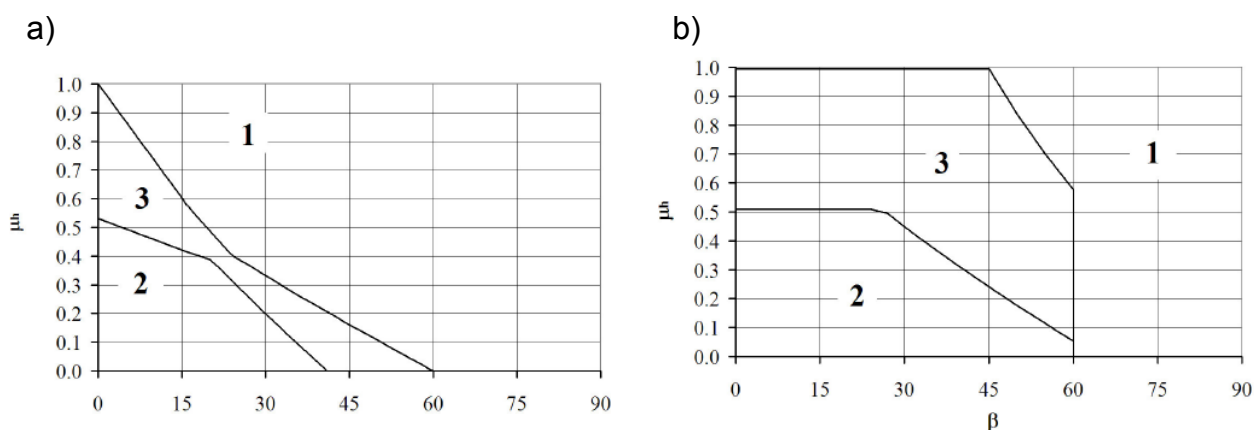
e) Сыпучие материалы, которые склонны к механическому зацеплению, а следовательно, к помехам при выходе, обозначаются символом #.

Приложение F (справочное)

Определение структуры потока

F.1 Массовый и центральный поток

(1) Функциональное методологическое определение размеров бункера с точки зрения структуры потока находится за пределами области применения настоящего технического кодекса. Следующая информация на рисунке F.1 предоставляется для того, чтобы дать возможность надежной оценки, существуют ли в рассчитываемом бункере специальные соотношения нагрузки для условий массового потока. Эта информация, кроме того, требуется, если для определения нагрузок воронки используется альтернативный метод по приложению G.



- 1 — центральный поток; 2 — массовый поток;
 3 — между двумя линиями может появляться массовый или центральный поток;
 β — половина пикового угла воронки;
 μ_h — коэффициент трения о стенки воронки

Примечание — В зоне между граничными линиями массового и центрального потока настроенный профиль текучести зависит от других параметров, которые не включены в настоящий технический кодекс.

**Рисунок F.1 — Ограничение условий массового и центрального потока для конических и клинообразных воронок:
 а — коническая воронка;
 б — клинообразная воронка**

Приложение G

(обязательное)

Альтернативные правила определения нагрузок на воронку

G.1 Общие положения

(1) Данное приложение дает два альтернативных метода оценки нагрузок сыпучего материала на воронку.

(2) G.3 – G.9 могут использоваться для описания нагрузок как в случае нагрузки – заполнение, так и в случае нагрузки – разгрузка. Однако нужно учитывать, что сумма этих нагрузок не соответствует весу сыпучего материала, хранимого в воронке.

(3) Формула по G.10 может применяться альтернативно для выражений, указанных в 6.3 — для крутых воронок в случае нагрузки – разгрузка.

G.2 Обозначения

l_h — расстояние между пиком воронки и переходом воронки вдоль наклонной поверхности

(см. рисунок G.1);

p_n — нагрузки, перпендикулярные наклонной стенке воронки;

p_{ni} — различные компоненты нагрузки, перпендикулярные наклонной стенке воронки ($i = 1, 2$ и 3);

p_s — пик нагрузки на переходе воронки.

G.3 Понятия

G.3.1 Пики нагрузки

Пики нагрузки, которые могут появляться в процессе разгрузки бункера при появлении массового потока на переходе воронки.

G.4 Расчетная ситуация

(1) Воронка должна рассчитываться для состояния после заполнения и для случая нагрузки – разгрузка.

(2) Ожидаемая характеристика текучести сыпучего материала в воронке должна определяться с помощью рисунка F.1.

(3) Если в бункере может появиться центральный или массовый поток, то при расчете должны учитываться влияния обоих профилей текучести.

G.5 Определение коэффициента увеличения нагрузки на дно C_b

(1) Для бункеров, которые не подпадают под бункерные сооружения, определенные в (2), должен устанавливаться коэффициент увеличения нагрузки на дно:

$$C_b = 1,3. \quad (G.1)$$

(2) Для бункеров, у которых с определенной вероятностью следует ожидать динамических нагрузок в процессе разгрузки (см. (3), действуют более высокие вертикальные нагрузки на воронку и на дно бункера. Там должен устанавливаться следующий коэффициент увеличения нагрузки на дно:

$$C_b = 1,6. \quad (G.2)$$

(3) Из склонности к динамическим нагрузкам (условия абзаца (2) нужно особенно исходить при существовании следующих случаев:

— в бункере с гибким вертикальным стволом бункера при хранении сыпучих материалов, которые не могут соответствовать классу сыпучих материалов с незначительным сцеплением (см. 1.5.23);

— если хранимый сыпучий материал склонен к механическому зацеплению частиц сыпучего материала друг с другом и к образованию мостиков (например, цементный клинкер);

— или по причинам, отличным от названных, склонен к ударным нагрузкам при разгрузке (например, пульсация, удары).

Примечание — Определение сцепления с сыпучего материала описано в С.9. Сцепление с классифицируется как незначительное, если оно не превышает значение $c/\sigma_r = 0,04$ после уплотнения сыпучего материала при уровне напряжения σ_r (см. 1.5.23).

G.6 Заполняющие нагрузки на горизонтальные и почти горизонтальные днища

(1) Вертикальные заполняющие нагрузки на горизонтальные или почти горизонтальные днища бункеров (наклон $\alpha \leq 20^\circ$) должны рассчитываться по формуле

$$p_{vfb} = C_b p_{vf}, \quad (G.3)$$

где p_{vf} — вертикальная заполняющая нагрузка по формуле (5.3) или (5.79) на определяющей глубине z под эквивалентной поверхностью сыпучего материала;

C_b — коэффициент увеличения нагрузки на дно.

G.7 Заполняющие нагрузки на стенки воронки

(1) При наклоне стенок воронки относительно горизонтальной плоскости α более 20° (см. рисунок 1.1 b) нагрузки, перпендикулярные наклонным стенкам воронки p_n , должны рассчитываться, как показано ниже:

$$p_n = p_{n3} + p_{n2} + (p_{n1} - p_{n2}) \cdot \frac{x}{l_h} \quad (G.4)$$

с:

$$p_{n1} = p_{vf} \cdot (C_b \sin^2 \beta + \cos^2 \beta); \quad (G.5)$$

$$p_{n2} = p_{vf} C_b \sin^2 \beta; \quad (G.6)$$

$$p_{n3} = 3,0 \cdot \frac{A}{U} \cdot \frac{\gamma K}{\sqrt{\mu_h}} \cdot \cos^2 \beta, \quad (G.7)$$

где β — наклон стенок воронки относительно вертикали (см. рисунок G.1);

x — расстояние между нижним концом воронки и рассматриваемой точкой (величина между 0 и l_h) по рисунку G.1;

p_{n1} , p_{n2} — составляющие для описания нагрузок воронки вследствие заполнения воронки;

p_{n3} — составляющая доли нагрузки вследствие сыпучего материала, находящегося

- в воронке;
- C_b — коэффициент увеличения нагрузки на дно;
- p_{vft} — вертикальная нагрузка на установленную точку воронки после заполнения по формуле (5.3) или (5.79);
- μ_h — нижнее характеристическое значение коэффициента трения о стенки в воронке;
- K — верхнее характеристическое значение коэффициента горизонтальной нагрузки хранимого сыпучего материала;
- A — площадь поперечного сечения вертикального ствола бункера;
- U — площадь периметра поперечного сечения вертикального ствола бункера.

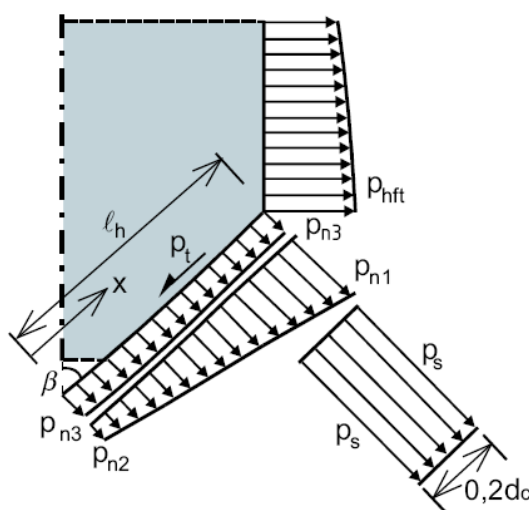


Рисунок G.1 — Альтернативное расположение нагрузок воронки

(2) Нагрузки за счет трения о стенки p_t определяются по формуле

$$p_t = p_n \mu_h, \quad (\text{G.8})$$

где p_n рассчитывается по формуле (G.4).

(3) Если давления определяются по формулам (G.5) – (G.7), то должны использоваться те же характеристические значения K . Должны рассматриваться как нижнее, так и верхнее характеристическое значение.

Примечание — Так как нижнее характеристическое значение K дает максимальное значение p_{vft} (см. формулу G.3), а верхнее характеристическое значение K — максимальное значение p_{n3} , то нельзя сделать вывод о том, какое характеристическое значение дает наиболее неблагоприятный случай нагрузки для воронки. Поэтому должны определяться оба характеристических значения.

G.8 Нагрузки при разгрузке на горизонтальные и почти горизонтальные днища

(1) В случае нагрузки – разгрузка вертикальные нагрузки на горизонтальные

или почти горизонтальные днища бункеров (наклон $\alpha \leq 20^\circ$) могут устанавливаться по правилам для случая нагрузки – заполнение (см. G.6).

G.9 Нагрузки при разгрузке на стенки воронки

(1) Нагрузки при разгрузке на воронки в бункере с центральным потоком могут рассчитываться по правилам для случая нагрузки – заполнение (см. G.7).

(2) Для бункеров с возможным массовым потоком учитывается дополнительная установка нагрузки p_s на переход воронки (см. рисунок G.1). Эта составляющая нагрузки измеряется от перехода воронки по длине $0,2d_c$ и устанавливается действующей по всему объему воронки.

$$p_s = 2K\rho_{vft}, \quad (G.9)$$

где ρ_{vft} — вертикальная составляющая нагрузки в сыпучем материале на установленную точку воронки в случае нагрузки – заполнение, определенная по формуле (5.3) или (5.79).

G.10 Альтернативные уравнения для коэффициента нагрузки на воронку F_e для случая нагрузки – разгрузка

(1) В воронке с крутыми стенками воронки в случае нагрузки – разгрузка в качестве альтернативы должно рассчитываться среднее вертикальное давление в произвольном месте в сыпучем материале по формулам (6.7) и (6.8) с применением следующего параметра F_e :

$$F_e = \left(\frac{1}{1 + \mu \cot \beta} \right) \cdot \left\{ 1 + 2 \left[1 + \left(\frac{\sin \phi_i}{1 + \sin \phi_i} \right) \cdot \left(\frac{\cos \varepsilon \sin(\varepsilon - \beta)}{\sin \beta} \right) \right] \right\}, \quad (G.10)$$

при этом:

$$\varepsilon = \beta + \frac{1}{2} \cdot \left(\phi_{wh} + \sin^{-1} \left\{ \frac{\sin \phi_{wh}}{\sin \phi_i} \right\} \right), \quad (G.11)$$

$$\phi_{wh} = \arctan \mu_h, \quad (G.12)$$

где μ_h — нижнее характеристическое значение коэффициента трения о стенки в воронке;

ϕ_i — угол внутреннего трения хранимого сыпучего материала.

Примечание — Формула (G.10) должна применяться взамен формулы (6.21). Формула (G.10) для F_e базируется на почти комплексной теории Энштада для давлений разгрузки.

Приложение Н (обязательное)

Воздействия вследствие взрывоопасной пыли

Н.1 Общие положения

(1) Данное приложение содержит указания для учета взрывоопасной пыли в бункерных установках.

Н.2 Область применения

(1) Это приложение распространяется на все бункерные установки и сравнимые с ними установки, при работе которых обрабатывается, или хранится, или выпадает в виде отходов в большом количестве пожароопасная, взрывоопасная, не токсичная пыль.

(2) Данное приложение не должно учитываться для частей установки, в которых взрывы исключаются за счет целенаправленных мер.

(3) Это приложение может осмысленно использоваться для дополнительного оснащения имеющихся установок. При этом должно учитываться фактическое, а не планируемое состояние установки. В случаях возникновения сомнений нужно обратиться за квалифицированной консультацией.

Н.3 Обозначения

p_{\max} — максимальное избыточное давление;

p_{red} — сниженное максимальное избыточное давление;

p_a — давление срабатывания системы компенсации.

Н.4 Взрывоопасная пыль и ее характеристики

(1) Пыль многих сыпучих материалов, которые обычно хранятся в бункерных установках, взрывоопасна. Взрывы могут появляться, если имеющаяся органическая или неорганическая пыль с достаточно малым размером частиц вступает в экзотермическую реакцию с кислородом, и тем самым вызывает быстро прогрессирующую реакцию.

(2) Во время взрыва пыли обычно хранящихся в бункерах сыпучих материалов в замкнутых пространствах без разгрузочных отверстий могут возникать избыточные давления вплоть до 8–10 бар.

(3) Параметрами характеристики взрыва пыли являются:

— параметр пыли K_{ST} ;

— максимальное избыточное давление взрыва p_{\max} .

(4) Параметр пыли K_{ST} соответствует максимальной скорости повышения давления dp/dt .

(5) Определение должно осуществляться по методам, приведенным в EN 26184-1.

(6) Важнейшими взрывоопасными видами пыли являются: целлюлоза, удобрения, гороховая мука, фураж, резина, зерновые, дерево, опилки, бурый уголь, смеси комбикорма, мука, смола, картофельная мука, солод, кукурузная мука, кукурузный крахмал (высушенный), молочный порошок, бумага, красители, шрот сои, со-

евая мука, каменный уголь, пшеничная мука, моющие средства и сахар.

Н.5 Источники воспламенения

(1) Для воспламенения этой пыли в общем случае достаточно малых количеств энергии. Типичными источниками воспламенения в элементах бункера или в соседних помещениях и в технических сооружениях являются:

- горячие поверхности, которые, к примеру, могут возникать в результате трения поврежденных частей установки;
- искры при сварке, шлифовании или резании, например, в процессе ремонтных работ;
- остатки резины, которые могут вноситься и снаружи с сыпучим материалом в элемент бункера;
- неподходящее или поврежденное электрическое оборудование (например, лампы накаливания);
- выделение тепла сушилки;
- самовоспламенение за счет электростатического разряда.

Н.6 Меры защиты

(1) Повреждения вследствие взрыва пыли могут минимизироваться за счет того, что максимально ограничивается появление взрыва в зоне, в которой появляется воспламенение. Переходы взрыва на другие сектора здания должны предотвращаться. Появляющиеся избыточные давления взрыва должны минимизироваться.

(2) Последствия взрыва могут предотвращаться за счет соответствующих профилактических мер в процессе планирования (например, за счет сооружения блокировок взрыва, подобных противопожарным стенам).

(3) Отдельные сектора зданий между барьерами от взрыва должны рассчитываться для двух следующих условий если:

- не предусмотрена компенсация давления — сектора должны рассчитываться на максимальное избыточное давление взрыва p_{max} ;
- предусмотрена соответствующая компенсация — сектора должны рассчитываться на максимальное пониженное избыточное давление взрыва p_{red} .

(4) Величины сниженных избыточных давлений взрыва p_{red} зависят от вида пыли, от размера компенсируемого сектора и от разгрузочных отверстий, от давления срабатывания p_a и инерции компенсирующей системы.

(5) Последствия остроконечного пламени, которые появляются при взрыве из разгрузочных отверстий, должны учитываться при планировании. Они не должны приводить ни к вредным влияниям на окружающую среду, ни к передаче взрыва на другие взрывоопасные сектора.

(6) Проект должен учитывать ограничение опасности для людей за счет предотвращения разлетающихся осколков стекла или других деталей конструкции. Поэтому отверстия для компенсации давления должны в максимальной степени быть направлены в свободную сторону. Для отдельных элементов бункера это может осуществляться за счет вентилируемых крыш. Для блоков силосных башен или групп бункеров для этого могут, к примеру, привлекаться лестничные клетки или расположенные высоко оконные поверхности.

(7) Компенсирующая система должна иметь минимальное давление срабатывания и низкую инерцию массы.

(8) При этом проект должен учитывать, что при раннем срабатывании компенсирующей системы значительно большее количество горючей смеси пыли с воздухом передается дальше, чем у инертных систем.

H.7 Расчет деталей конструкции

(1) Расчет соответствующих конструктивных деталей должен проводиться по правилам для чрезвычайных нагрузок (случаи катастрофической нагрузки).

H.8 Расчет взрывного избыточного давления

(1) Все несущие и обрамляющие помещение детали конструкции сектора взрыва должны рассчитываться на сопротивление расчетному давлению при взрыве.

H.9 Расчет пониженного давления

(1) Силы инерции вследствие быстрого газового разряда, которые сопутствуют охлаждению горячей пыли, должны учитываться при проектировании. Эти феномены связаны с взрывом и могут привести к пониженному давлению, которое должно учитываться при расчете.

H.10 Предохранение запорных элементов компенсирующих отверстий

(1) Все важные запорные элементы должны предохраняться от выброса вследствие взрывной волны (например, крышки шарнирами, крышка улавливающими конструкциями, канаты и др. креплениями).

Примечание — Расчет должен осуществляться по методам, приведенным в специальном отчете Немецкого института стандартизации (DIN) 140 «Расчет бункерных установок по отношению к взрывам пыли», опубликованном в январе 2005 г. издательством «Beuth».

H.11 Сила отдачи при снятии давления

(1) При компенсации давления появляются силы отдачи, которые, при необходимости, должны учитываться при подтверждении устойчивости. Это должно проверяться, в особенности для легких конструкций с горизонтальными и распределенными несимметрично по поперечному сечению компенсирующими отверстиями.

Примечание — Силы отдачи могут определяться по данным в специальном отчете Немецкого института стандартизации (DIN) 140 «Проектирование бункеров по отношению к взрывам пыли», опубликованном в январе 2005 г. издательством «Beuth-Verlag».

НАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ

к ГОСТ Р EN 1991-4-2011

**Еврокод 1: Воздействия на сооружения –
Часть 4: Силосы и резервуары**

National Annex
to GOST R EN 1991-4-2011
Eurocode 1:
ACTIONS ON STRUCTURES –
Part 4: Silos and tanks

Предисловие

Настоящее национальное приложение следует применять совместно с Национальным стандартом ГОСТ Р EN 1991-1-1-2011.

Настоящее национальное приложение содержит следующие требования и национальные параметры, разрешенные на национальном уровне и установленные при проектировании зданий и сооружений на территории РФ: требования и национальные параметры для следующих пунктов EN 1991-4, национальный выбор которых разрешен:

Требования и национальные параметры, установленные при проектировании зданий и сооружений на территории Российской Федерации

Пункт EN 1991-1-1	Наименование раздела, пункта и (или) таблицы, содержание статьи	Пункт Национального приложения
2.5 (5)	Таблица 2.1 — Рекомендованная классификация бункеров для расчетных ситуаций	НП 2.5 (5)
3.6 (2)	3.6 Принципы расчета взрывов. Национальные требования к учету воздействий от взрыва пыли в бункерной установке на соседние здания или части зданий.	НП 3.6 (2)
5.2.4.3.1 (3)	5.2.4.3.1 Геометрия канала течения. Значения коэффициентов, характеризующих геометрию канала течения.	НП 5.2.4.3.1 (3)
5.4.1 (3)	5.4.1 Заполняющие нагрузки на вертикальные стенки. Национальные требования к назначению характеристических значений горизонтальных нагрузок на стенки силоса.	НП 5.4.1 (3)
5.4.1 (4)	5.4.1 Заполняющие нагрузки на вертикальные стенки. Национальные требования к назначению характеристических значений дополнительных вертикальных нагрузок на стенки силоса.	НП 5.4.1 (4)
A.4 (3)	A.4 Расчетные ситуации и комбинации воздействий для классов требований 2 и 3 Значения комбинационных коэффициентов ψ .	НП A.4 (3)
B.2.14 (1)	Национальные требования к учету аварийных нагрузок.	НП B.2.14 (1)

НП 2.5 (5) (5) Для каждого силоса (бункера) индивидуально должен определяться класс требований, даже если силосы (бункеры) объединены в блок.

Рекомендованная классификация приведена в таблице 2.1.

Классификация по классам требований должна осуществляться отдельно для каждого проекта.

Таблица 2.1 — Рекомендованная классификация бункеров для расчетных ситуаций

Класс требований	Описание
Класс требований 3	Силосы (бункеры) с емкостью более 10 000 т; Силосы (бункеры) с емкостью более 1000 т, у которых существует одна из следующих расчетных ситуаций: а) эксцентрическая разгрузка с $e_c/d_c > 0,25$ (см. рисунок 1.1 б); б) низкие бункеры с эксцентрическим заполнением более $e_i/d_c > 0,25$
Класс требований 2	Все силосы (бункеры), которые подпадают под настоящий технический кодекс и не включены в оба другие класса
Класс требований 1	Силосы (бункеры) с емкостью менее 100 т

НП 3.6 (2) Аварийные воздействия на соседние здания или части зданий, возникающие вследствие взрыва пыли в бункерной установке определяются в соответствии с Национальным приложением к EN 1991-1-7 «Основные воздействия – Аварийные воздействия».

НП 5.2.4.3.1 (3) Если геометрия канала течения не может быть определена непосредственно из расположения выпускных отверстий и геометрии силоса (бункера), то расчеты должны проводиться как минимум с тремя разными радиусами канала течения r_c , чтобы учесть случайное изменение величины канала течения во времени. При этом должны учитываться следующие три значения:

$$r_c = k_1 r, \quad (5.52)$$

$$r_c = k_2 r, \quad (5.53)$$

$$r_c = k_3 r, \quad (5.54)$$

где $r = d_c/2$ — радиус круглого силоса (бункера).

Значения k_1 , k_2 и k_3 рекомендуются соответственно 0,25, 0,4 или 0,6.

НП 5.4.1 (3) Нормативное горизонтальное давление сыпучего материала p_h^n на стены силоса следует принимать равномерно распределенным по периметру и определять по формуле

$$p_h^n = \frac{\gamma^n p}{f^n} \left(1 - e^{-\lambda f^n \frac{z}{p}} \right),$$

где γ^n , f^n - удельный вес и коэффициент трения сыпучего материала;

$p = \frac{A}{u}$ - гидравлический радиус сечения (A и u - площадь и периметр поперечного сечения силоса);

e - основание натуральных логарифмов;

$\lambda = tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi^n}{2} \right)$ - коэффициент бокового давления сыпучего материала;

φ^n - угол внутреннего трения сыпучего материала;
 z - расстояние от верха засыпки материала.

НП 5.4.1 (4) Нормативное вертикальное давление сыпучего материала P_f^n , передающееся на стены силоса силами трения, определяется по формуле

$$P_f^n = f P_h^n,$$

где P_h^n - нормативное горизонтальное давление сыпучего материала на стены силоса;
 f^n - коэффициент трения сыпучего материала.

НП А.4 (3) При учете влияния землетрясения, других аварийных (особых) нагрузок и воздействий при использовании метода по п.п. по 5.2, 5.3 и 6.1, сопутствующее воздействие нагрузок сыпучего материала должно рассчитываться со средними значениями коэффициентов трения о стенки μ_m , коэффициента горизонтальной нагрузки K_m и коэффициента нагрузки воронки F_m .

Значения и комбинации следует принимать по таблицам А.1 – А.5.

При этом значение комбинационного коэффициента ψ (*), учитывающего в т.ч. сопутствующие воздействия 2 и 3, определяются в соответствии с Национальным приложением к EN 1990:2002 «Основы проектирования сооружений».

Таблица А.1 — Рассматриваемые расчетные ситуации и комбинации воздействий

Краткое обозначение	Расчетная ситуация 1. Главенствующее воздействие 1	Постоянные нагрузки	Сопутствующее воздействие 2	$\psi_{0,2}$	Сопутствующее воздействие 3	$\psi_{0,3}$
D	Разгрузка сыпучего материала	Собственный вес	Осадка фундамента	1,0	Снег, или ветер, или температура	*
					Полезная нагрузка или деформации	*
I	Полезная нагрузка или деформации	Собственный вес	Заполнение сыпучего материала (бункер полный)	1,0	Снег, или ветер, или температура	*
S	Снег	Собственный вес	Заполнение сыпучего материала	1,0		
WF	Ветер при заполненном бункере	Собственный вес	Заполнение сыпучего материала	1,0		
WE	Ветер при пустом бункере	Собственный вес	Заполнение сыпучего материала отсутст-	0,0		

			вует (бункер пуст)			
T	Температура	Собственный вес	Заполнение сыпучего материала	1,0		
F	Осадки фундамента	Собственный вес	Разгрузка сыпучего материала	1,0	Снег, или ветер, или температура	*
				$\Psi_{2,2}$		$\Psi_{2,3}$
E	Взрыв	Собственный вес	Заполнение сыпучего материала	0,9	Полезная нагрузка или деформации	*
V	Удар транспортного средства	Собственный вес	Заполнение сыпучего материала	0,8	Полезная нагрузка или деформации	*
<p><i>Примечание 1</i> — Эта таблица относится к понятиям положений комбинационных нагрузок в EN 1990, раздел 6.</p> <p><i>Примечание 2</i> — Индексы комбинационных коэффициентов нагрузки ψ имеют следующее значение: первый индекс стоит для типа расчетной ситуации: стандартные комбинации обозначены 0; наиболее частые значения — 1; квазипостоянные значения — 2. Второй индекс относится к номеру нагрузки в комбинации.</p>						

Таблица А.2 — «Общее» предельное состояние несущей способности («Ordinary» ULS) — рассматриваемые расчетные ситуации и комбинации воздействий

Краткое обозначение	Расчетная ситуация/главствующее воздействие	Постоянные воздействия		Определяющее изменяющееся воздействие		Независимое изменяющееся воздействие 1 (основное)		Независимое изменяющееся воздействие 2		Независимое изменяющееся воздействие 3, 4 и т. д.	
		Описание	ξ_1	(см. следующий столбец «Основное»)	Описание	$\psi_{0,1}$	Описание	$\psi_{0,2}$	Описание	$\psi_{0,3}$ $\psi_{0,4}$ и т. д.	
D	Разгрузка сыпучего материала	Собственный вес	0,9		Разгрузка сыпучего материала (полный бункер)	1,0	Осадки фундамента	*	Снег, ветер, температура	*	
									Полезная нагрузка или деформации	*	

I	Остаточные деформации	Собственный вес	0,9		Заполнение сыпучего материала (бункер полностью заполнен)	1,0	Остаточные деформации	*	Снег, ветер, температура	*
									Полезные нагрузки	*
S	Снег	Собственный вес	0,9		Заполнение сыпучего материала (бункер полный)	1,0	Снег	*	Полезные нагрузки	*
WF	Ветер и заполненный бункер	Собственный вес	0,9		Заполнение сыпучего материала, (бункер полностью заполнен)	1,0	Ветер	*	Полезные нагрузки	*
WE	Ветер и пустой бункер	Собственный вес	0,9		В бункере нет сыпучего материала	0,0	Ветер	*	Полезные нагрузки	*
T	Температура	Собственный вес	0,9		Заполнение сыпучего материала (бункер полный)	1,0	Температура	*	Полезные нагрузки	*
<p><i>Примечание</i> — Данная таблица должна применяться с использованием формул (6.10a) и (6.10b) 6.4.3.2 EN 1990.</p>										

Таблица А.3 — Предельное состояние несущей способности для чрезвычайных нагрузок («Accidental» ULS) — рассматриваемые расчетные ситуации и комбинации воздействий

Краткое обозначение	Расчетная ситуация/главствующее воздействие	Постоянные воздействия		Определяющее изменяющееся воздействие		Независимое изменяющееся воздействие 1 (основное)		Независимое изменяющееся воздействие 2		Независимое изменяющееся воздействие 3, 4 и т. д.	
		Описание		Описание		Описание	$\psi_{1,1}$ или $\psi_{2,1}$	Описание	$\psi_{2,2}$	Описание	$\psi_{2,3}$, $\psi_{2,4}$ и т. д.
E	Взрыв	Собственный вес		Ударная волна		Заполнение сыпучего материала, (бункер полностью заполнен)	0,9 или 0,8	Остаточные деформации	*	Полезные нагрузки	*
V	Удар транспортного средства	Собственный вес		Удар транспортного средства		Заполнение сыпучего материала, (бункер полностью заполнен)	0,9 или 0,8	Остаточные деформации	*	Полезные нагрузки	*

Примечание — Данная таблица должна применяться с использованием формулы (6.11b) 6.4.3.3 EN 1990.

Таблица А.4 — Предельное состояние несущей способности при сейсмических нагрузках («Seismic» ULS) — рассматриваемые расчетные ситуации и комбинации воздействий

Краткое обозначение	Расчетная ситуация/главствующее воздействие	Постоянные воздействия	Определяющее изменяющееся воздействие	Независимое изменяющееся воздействие 1 (основное)	Независимое изменяющееся воздействие 2	Независимое изменяющееся воздействие 3, 4 и т. д.
---------------------	---	------------------------	---------------------------------------	---	--	---

че- ние	щее воздей- ствие	Описание	Описание	Описа- ние	$\psi_{2,1}$	Описа- ние	$\psi_{2,2}$	Описа- ние	$\psi_{2,3}$ $\psi_{2,4}$ и т. д.
SF	Сейс- миче- ское воздей- ствие и запол- ненный бункер	Собствен- ный вес	Сейсмиче- ское воздей- ствие (зем- летрясение)	Запол- нение сыпучего матери- ала, (бун- кер пол- ностью запол- нен)	0,8	Вынуж- денные дефор- мации	*	Полез- ные на- грузки	*
SE	Сейс- миче- ское воздей- ствие и пустой бункер	Собствен- ный вес	Сейсмиче- ское воздей- ствие (зем- летрясение)	В бунке- ре нет сыпучего матери- ала, (бун- кер пуст)	0,8	Вынуж- денные дефор- мации	*	Полез- ные на- грузки	*

Примечание — Данная таблица должна применяться с использованием формулы (6.12b) 6.4.3.4 EN 1990 и соответствующих формул из EN 1998-1 и EN 1998-4.

**Таблица А.5 — Предельное состояние применяемости (SLS) — рассматри-
ваемые расчетные ситуации и комбинации воздействий**

Крат- кое обо- заче- ние	Расчет- ная си- туация/ главен- ствующее воз- действие	Постоян- ные воздей- ствия		Опреде- ляющее из- меняющее- ся воздей- ствие		Независи- мое изме- няющее- ся воз- действие 1 (основное)		Независи- мое изме- няющее- ся воз- действие 2		Независи- мое изме- няющее- ся воз- действие 3, 4 и т. д.	
		Описа- ние		(см. сле- дующий столбец «Основ- ное»)		Описа- ние	$\psi_{1,1}$ и $\psi_{2,1}$	Описа- ние	$\psi_{0,2}$ и $\psi_{2,2}$	Описа- ние	$\psi_{0,3}$ $\psi_{0,4}$ и $\psi_{2,3}$ $\psi_{2,4}$ и т. д.

D	Разгрузка сыпучего материала	Собственный вес			Разгрузка сыпучего материала	0,9 или 0,8	Осадки фундамента	* или *	Снег, ветер, температура	* или *
									Полезная нагрузка, остаточные деформации	* или *
I	Вынужденные деформации	Собственный вес			Заполнение сыпучего материала	0,9 или 0,8	Вынужденные деформации	* или *	Снег, ветер, температура	* или *
									Полезные нагрузки	* или *
S	Снег	Собственный вес			Заполнение сыпучего материала	0,9 или 0,8	Снег	* или *	Полезные нагрузки	0,7 или 0,3
WF	Ветер и полностью заполненный бункер	Собственный вес			Заполнение сыпучего материала, (бункер полностью заполнен)	0,9 или 0,8	Ветер	* или *	Полезные нагрузки	* или *
WE	Ветер и пустой бункер	Собственный вес			В бункере нет сыпучего материала, бункер пуст	0,0	Ветер	* или *	Полезные нагрузки	* или *
T	Температура	Собственный вес			Заполнение сыпучего материала	0,9 или 0,8	Температура	* или *	Полезные нагрузки	* или *

Примечание — Данная таблица должна применяться с использованием формул (6.14b), (6.15b) и (6.16b) 6.5.3 EN 1990, как показано ниже:
редкие (характеристические) комбинации, формула (6.14b):
редкие (характеристические) комбинации обычно используются для необратимых (остающихся) предельных состояний;
наиболее частые комбинации, формула (6.15b):

наиболее частые комбинации обычно применяются для обратимых (не остающихся) предельных состояний;
квазипостоянные комбинации, формула (6.16b):
квазипостоянные комбинации обычно применяются для ситуаций с длительными воздействиями и явлениями на несущей конструкции.

НП В.2.14 (1) Аварийные нагрузки вследствие таких событий как внешняя ударная волна, нагрузки за счет ударов, нагрузки за счет пожара, взрыв, негерметичность внутренних резервуаров для жидкости, переливания через край и переполнение внутреннего резервуара определяются в соответствии с Национальным приложением к EN 1991-1-7 «Основные воздействия – Аварийные воздействия» или должны указываться заказчиком специального раздела проекта.

УДК 69+624.042.4(083.74)**МКС 91.010.30****КП 03****IDT**

Ключевые слова: силос, бункер, резервуар, воздействие, нагрузка, собственный вес, заполнение, постоянные нагрузки, временные нагрузки
