

Стандарт ACI

Нормативные требования и комментарии к проектированию и строительству бетонных конструкций для хранения охлажденных сжиженных газов

Представлен комитетом ACI 376

ACI 376-11



American Concrete Institute

Documents *Always advancing*
AVA Document Sharing Hub

Нормативные требования и комментарии к проектированию и строительству бетонных конструкций для хранения охлажденных сжиженных газов

© Американский институт бетона, Фармингтон-Хиллс, штат Мичиган. Все права защищены. Полное или частичное воспроизведение, или копирование данных материалов на любых печатных, механических, электронных, пленочных и иных формах и носителях без письменного разрешения ACI воспрещается.

Технические комитеты, отвечающие за отчеты и стандарты ACI, прилагают все усилия, чтобы избежать неоднозначностей, упущений и ошибок в этих документах. Несмотря на эти усилия, пользователи документов ACI периодически обнаруживают информацию или требования, которые могут интерпретироваться неоднозначно, или могут быть неполными или неверными. Просим пользователей, у которых есть предложения по улучшению документов ACI, сообщить об этом ACI с использованием корректировочного вебсайта www.concrete.org/committees/errata.asp. Надлежащее пользование настоящим документом предусматривает периодические проверки на наличие поправок или новой редакции документа.

Документы, выпускаемые комитетом ACI, предназначены для использования лицами, знания и компетенция которых позволяют оценить степень значимости и ограниченности их содержания и рекомендаций, а также с должной ответственностью использовать содержащиеся в них материалы. Лица, в любом виде пользующиеся настоящей публикацией, принимают на себя весь риск и всю ответственность за такое использование или за принятие любых решений на основе содержащейся в ней информации.

Вся информация, содержащаяся в настоящей публикации, предоставляется «как есть» без каких-либо явных или подразумеваемых гарантий, в том числе, помимо прочих, подразумеваемых гарантий коммерческой пригодности, пригодности для определенных целей и гарантий патентной чистоты.

ACI и его члены не принимают на себя ответственность ни за какие виды ущерба, в том числе за фактические убытки, определяемые особыми обстоятельствами, косвенные, сопутствующие и последующие убытки, в том числе, помимо прочего, за потерю выручки или прибылей, которые могут произойти вследствие использования настоящей публикации.

В обязанности пользователя настоящего документа входит установление мер и правил охраны труда и обеспечения безопасности, соответствующих конкретным обстоятельствам применения документа. ACI не дает никаких гарантий в отношении охраны труда и обеспечения безопасности работ, выполняемых на основании с учетом информации, приведенной в настоящем документе. Пользователь должен определить применимость всех нормативных ограничений перед принятием решений на основании информации, приведенной в настоящем документе, и должен соблюдать все законодательные и нормативные акты, в том числе, среди прочих, стандарты охраны труда и обеспечения безопасности, установленные Управлением США по охране труда и промышленной гигиене (OSHA).

Участие представителей органов государственной власти в работе Американского института бетона и в разработке стандартов Института не является государственным подтверждением ACI или разрабатываемых им стандартов.

Информация для заказа: документы ACI можно получить в печатном виде, путем загрузки файла или на CD-ROM, по подписке на электронные обновления, путем перепечатки или заказа, обратившись в ACI.

Большинство стандартов и отчетов ACI объединяются в ежегодно пересматриваемом Руководстве ACI по методикам выполнения бетонных работ (MCP).

American Concrete Institute (Американский институт бетона)
38800 Country Club Drive
Farmington Hills, MI 48331
U.S.A.
Тел.: 248-848-3700
Факс: 248-848-3701

www.concrete.org

ISBN-13: 978-0-87031-814-6
ISBN: 0-87031-814-4

Американский институт бетона (ACI) и члены этой организации не принимают на себя ответственность ни за какие виды ущерба, в том числе ни за какие особые, косвенные, случайные или сопутствующие убытки, среди прочего связанные с упущенной выручкой или прибылью, которые могут возникнуть вследствие использования настоящей публикации.

Информация, представленная в данном переводе, не может и не должна заменять индивидуальное обучение пользователя, освобождать его от ответственности или от необходимости руководствоваться здравым смыслом. Лица, любым образом использующие настоящую публикацию, принимают на себя все виды риска и полную ответственность за использование содержащейся в ней информации и принятие решений на ее основании. Вся информация в данной публикации представляется «как есть» и не содержит никаких явно выраженных или подразумеваемых гарантий, в том числе касающихся товарного состояния, пригодности для использования по назначению или отсутствия нарушения чьих-либо прав.

Нормативные требования и комментарии к проектированию и строительству бетонных конструкций для хранения охлажденных сжиженных газов (ACI 376-11)

Стандарт ACI

Представлен комитетом ACI 376

Нивен Крстулович-Опара (Neven Krstulovic-Opara),
председатель

Петр Д. Монсарж (Piotr D. Moncarz), секретарь

Джуниус Аллен
(Junius Allen)
Дейл Бернер (Dale Berner)

Джордж С. Хофф
(George C. Hoff)
Ричард А. Хоффманн
(Richard A. Hoffmann)

Правин К. Малхотра
(Praveen K. Malhotra)
Киф А. Мэш (Keith A.
Mash)

Эрик С. Томпсон
(Eric S. Thompson)
Шен-Чи Ву (Sheng-Chi Wu)

Майк С. Брэннан
(Mike S. Brannan)
Хамиш Дуглас
(Hamish Douglas)
Чарльз С. Хэнскат
(Charles S. Hanskat)
Хумайун Хашми
(Humayun Hashmi)

Джон Холлейок
(John Holleyoak)
Джозеф Хоптей
(Joseph Hoptay)
Томас Р. Хоув
(Thomas R. Howe)
Дайджу Жанг (Dajiu Jiang)

Стивен Мейер
(Stephen Meier)
Роберт У Нуссмейер
(Robert W. Nussmeier)

Консультирующие члены

Роберт Арвидлунд
(Robert Arvedlund)
Джеймс П. Льюис
(James P. Lewis)
Терри Турпин (Terry Turpin)

Алан Д. Хэтфилд
(Alan D. Hatfield)
Каре Хьортесет
(Kare Hjortaset)

Джамил У. Халифа
(Jameel U. Khalifa)
Николас А. Легатос
(Nicholas A. Legatos)

Рольф П. Павски
(Rolf P. Pawski)
Рамануджам С. Раджан
(Ramanujam S. Rajan)
Уильям Э. Рашинг мл.
(William E. Rushing Jr.)
Роберт У. Свард
(Robert W. Sward)

Примечание. Мы выражаем особую благодарность Джеффри Гаррисону (Jeffrey Garrison) за его вклад в подготовку этого документа.

Ключевые слова: обвалование; ввод в эксплуатацию; криогенный; остойчивость в поврежденном состоянии; вывод из эксплуатации; расчетные уровни землетрясения; усталость; спуск со стапеля на плаву; плавучая система хранения; обогрев основания; основание гравитационного типа; ударные нагрузки; футеровка; сжиженный природный газ; стратификация жидкости; постоянный балласт; продувка; охлажденный сжиженный газ; арматура (криогенная); резервуары; термическая защита угловой зоны.

Документ ACI 376-11 принят 11 ноября 2011 года и опубликован в мае 2013 года.

© 2013, Американский институт бетона.

Все права защищены, в том числе права на воспроизведение и использование в любой форме и любыми средствами, включая изготовление копий с применением фотографического процесса, электронными или механическими устройствами, в печатной, письменной или устной форме, или же записи для звукового или визуального воспроизведения, или для использования в какой-либо системе или устройстве хранения или получения информации, без получения письменного разрешения от владельцев авторских прав.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1 – ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	4
1.1 – Область применения	4
1.2 – Обеспечение качества	5
ГЛАВА 2 – УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	6
2.1 – Условные обозначения	6
2.2 – Термины и их определения	8
ГЛАВА 3 – БАЗОВЫЕ СТАНДАРТЫ	13
ГЛАВА 4 – МАТЕРИАЛЫ	17
4.1 – Испытания материалов	17
4.2 – Цементирующие материалы	17
4.3 – Заполнители	17
4.4 – Вода	18
4.5 – Добавки	18
4.6 – Волокна	18
4.7 – Арматура периодического профиля	18
4.8 – Листовая сталь в сочетании с бетоном	19
4.9 – Предварительно напряженная арматура	20
4.10 – Анкеровка для предварительного напряжения	21

Отчеты инструкции и комментарии комитета ACI носят рекомендательный характер и предназначены для использования при планировании, проектировании, осуществления строительных работ и контроля за их ходом. Данный документ предназначен для использования лицами, знания и компетенция которых позволяют оценить степень значимости и ограниченности его содержания и рекомендаций, а также с должной ответственностью использовать содержащиеся в нем материалы. Американский институт бетона не принимает на себя никакую ответственность за изложенные здесь принципы, а также ни за какие убытки или ущерб, возникающие в связи с применением настоящего документа.

Не допускается включать ссылки на настоящий документ в документы контрактов. Если архитектор или инженер намерены включить позиции, изложенные в настоящем документе, в состав контрактных документов, такие позиции должны быть перефразированы архитектором или инженером в виде обязательных формулировок для включения в документы.

Официальный перевод ACI этого документа был бы невозможен без участия следующих рецензентов: Доктор Вячеслав Фаликман (Dr. Vyatcheslav Falikman), Кирилл Извеков (Kirill Izvekov) и Доктор Нивен Крстулович-Опара (Neven Krstulovic-Opara).

4.11 – Каналы для пост-напряжения бетона	21
4.12 – Цементный раствор	21
4.13 – Металлическая футеровка и неконструкционные металлические компоненты	21
4.14 – Теплоизоляция	22
4.15 – Требования к покрытию	22

ГЛАВА 5 – РАСЧЕТНЫЕ НАГРУЗКИ.....23

5.1 – Расчетные нагрузки.....	23
5.2 – Режимы нагружения	27

ГЛАВА 6 – МИНИМАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ..30

6.1 – Общие положения	30
6.2 – Внутренняя бетонная емкость.....	30
6.3 – Наружная бетонная емкость.....	33
6.4 – Критерии функциональной эффективности крыши	35
6.5 – Прочие критерии функциональной эффективности	35
6.6 – Качество бетона	35
6.7 – Торкрет-бетон.....	40
6.8 – Расчет покрытий	40
6.9 – Металлические компоненты	40

ГЛАВА 7. КОЭФФИЦИЕНТЫ ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ.....41

7.1 – Общие положения	41
7.2 – Коэффициенты запаса прочности для предельного состояния внутренней емкости по несущей способности	41
7.3 – Коэффициенты запаса прочности для предельного состояния по несущей способности наружной емкости.....	44

ГЛАВА 8. АНАЛИЗ И РАСЧЕТЫ.....49

8.1 – Методы анализа.....	49
8.2 – Исходные данные проектирования.....	54
8.3 – Проектирование оснований.....	54
8.4 – Расчет стенок.....	56
8.5 – Конструкция крыш.....	59

ГЛАВА 9 – ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ.....61

9.1 – Общие положения	61
9.2 – Детали арматуры.....	61
9.3 – Внутренние системы преднапряжения.....	62
9.4 – Внешние системы предварительного напряжения.....	65
9.5 – Стенка бетонной емкости.....	65
9.6 – Металлические компоненты	67
9.7 – Анкеровка к бетону.....	68
9.8 – Футеровки и покрытия	69

ГЛАВА 10 – ОСНОВАНИЯ.....71

10.1 – Общие положения	71
10.2 – Инженерно-геологические изыскания.....	71
10.3 – Требования к проектированию оснований мелкого заложения	74
10.4 – Требования к проектированию оснований глубокого заложения	78
10.5 – Улучшение свойств грунта.....	82
10.6 – Особенности фундаментов.....	83
10.7 – Особенности эксплуатационного контроля фундаментов.....	85
10.8 – Периодичность мониторинга	86
10.9 – Осмотр и испытания	87

ГЛАВА 11 – ТРЕБОВАНИЯ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ.....90

11.1 – План строительства	90
11.2 – Допуски.....	90
11.3 – Торкрет-бетон для систем с наружным предварительным напряжением	93
11.4 – Пост-напряжение	94
11.5 – Навивка преднапрягаемой арматуры из проволок или прядей.....	98
11.6 – Возведение опалубки.....	99
11.7 – Рабочие швы.....	101
11.8 – Закладные детали в железобетонных конструкциях	101
11.9 – Покрытия	101
11.10 – Сварка	101

ГЛАВА 12 – ВВОД В ЭКСПЛУАТАЦИЮ И ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....102

12.1 – Область применения	102
12.2 – Испытания	102
12.3 – Испытание под давлением и вакуумом.....	107
12.4 – Продувка перед вводом в эксплуатацию	108
12.5 – Захолаживание	109
12.6 – Мониторинг осадки и перемещения.....	111
12.7 – Методы заполнения резервуаров для хранения сжиженного природного газа.....	112
12.8 – Вывод из эксплуатации: продувка перед выводом из эксплуатации и отогрев	113
12.9 – Ведение отчетной документации.....	114
12.10 – Паспортная табличка	115

ПРИЛОЖЕНИЕ А. КОНФИГУРАЦИИ, УЗЛЫ И ПРИМЕРЫ РЕЗЕРВУАРОВ.....116

RA.1 – Конфигурации резервуаров	116
RA.2 – Двухбололочные резервуары (с полной герметизацией): типовые узлы	116
RA.3 – Примеры узлов соединения с основанием	116

ПРИЛОЖЕНИЕ В – МОРСКИЕ БЕТОННЫЕ ТЕРМИНАЛЫ.....127

V.1 – Обзорная информация	127
V.2 – Общие положения	127
V.3 – Нагрузки и их сочетания	128
V.4 – Материалы бетона и арматуры	131
V.5 – Общий и местный расчет конструкции	132
V.6 – Критерии и методология расчета сечений железобетонных конструкций	134
V.7 – Усталостные критерии функциональной эффективности	135
V.8 – Критерии проектирования для этапов строительства, транспортировки и установки.....	135
V.9 – Вывод из эксплуатации.....	139
V.10 – Проектирование с учетом чрезвычайных ситуаций	139

ПРИЛОЖЕНИЕ С – УСТАЛОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....142

C.1 – Область применения	142
C.2 – Общие положения	142
C.3 – Усталостные критерии функциональной эффективности	143

СПРАВОЧНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ.....145

ВВЕДЕНИЕ

Комитет ACI 376, который впоследствии подготовил проект стандарта ACI 376-11, был образован в ответ на запрос Технического комитета 59A по сжиженному природному газу (СПГ) **Национальной ассоциации пожарной безопасности (NFPA)**. Этот комитет отвечает за публикацию **NFPA 59A**, которая является международно-признанным стандартом, регулирующим производство, хранение и транспортировку СПГ при рабочей температуре -270°F .

NFPA 59A содержит положения по двум основным видам применения обычного и предварительно напряженного железобетона: 1) удержание (локализация) — в качестве вторичного средства локализации возможных утечек из первичной (внутренней) металлической емкости, также называемой первичным средством локализации, и 2) хранение — в качестве первичного средства локализации (во внутренней емкости). Область применения стандарта NFPA 59A в некоторой степени ограничена; этот документ не содержит указаний, специально сформулированных для применения бетона при криогенных температурах. Это ограничение было основным побудительным мотивом для запроса Комитета 59A. Несмотря на то, что запрос относился именно к хранению СПГ, в настоящем стандарте также рассматривается применение бетона для хранения других охлажденных сжиженных газов (ОСГ) при рабочих температурах от $+40$ до -325°F , что делает этот документ и комментарии к нему аналогичным стандарту **Американского нефтяного института API 620**, в котором установлены нормы проектирования и строительства стальных и алюминиевых резервуаров хранения ОСГ, рассчитанных на температуры до -270°F .

Чаще всего железобетон и предварительно напряженный железобетон применяются в качестве вторичного средства локализации (наружной емкости), окружающего так называемую «первичную» (внутреннюю) металлическую емкость для низкотемпературного (криогенного) хранения. Внутренние резервуары из предварительно напряженного железобетона строились в Северной Америке и Европе с 1960-х по 1980-е годы. Возобновление интереса к использованию бетона в качестве первичного средства локализации и необходимость в стандарте, регулирующем вторичные средства локализации из бетона привело к необходимости разработки настоящего стандарта, в который включены релевантные выдержки из нормативов **ACI 318-11** и **ACI 350-06**. Комментарии содержат соображения комитета по разработке стандарта.

В комментариях не преследовалась цель полностью изложить историю разработки стандарта, равно как и представить подробное изложение проведенных исследований и их данных, рассматриваемых комитетом в ходе формулирования нормативных требований. Ссылки на конкретные данные исследований предоставлены главным образом для углубленного изучения имеющихся материалов.

Норматив ACI 376 может применяться как часть официально утвержденных нормативов и, в силу этого, должен отличаться по форме и содержанию от документов, которые содержат подробные технические условия, рекомендованные методы, полные расчетные методики или средства для расчета.

При расчете уникальных сооружений желательно применять требования, более жесткие, чем положения стандарта. Настоящий норматив и комментарии к нему не могут заменить обоснованные технические знания, опыт и суждения. Норматив по расчету и строительству определяет минимальные требования, необходимые для обеспечения охраны здоровья населения и безопасности. Норматив ACI 376 основан на этом принципе. При строительстве любого сооружения заказчик и инженер могут потребовать, чтобы качество материалов и строительства превосходило минимальные требования, необходимые для обеспечения пригодности к эксплуатации и защиты населения, как указано в стандарте, при этом менее строгие стандарты не допускаются.

Норматив ACI 376 не может иметь статуса законодательного акта, если он не утвержден в качестве такового надзорными органами. Без такого утверждения норматив может применяться как справочный руководящий документ по передовым методам. Норматив служит механизмом установления минимально приемлемых стандартов проектирования и строительства законно уполномоченными должностными лицами или назначенным представителем. Норматив и комментарии к нему не могут служить основанием для урегулирования споров между заказчиком, инженером, подрядчиком или их представителями, субподрядчиками, поставщиками материалов или агентствами, проводящими испытания. В силу этого, норматив не может устанавливать обязательства каждой из сторон по контракту в ходе типового строительства. Следует избегать общих ссылок на стандарт ACI 376 в качестве обоснования необходимости выполнения его требований в техническом задании, поскольку подрядчик редко в состоянии взять на себя ответственность за детали проекта или требования к строительству, для которых необходимо доскональное знакомство с проектом. В принципе, контрактная документация должна содержать все необходимые требования, чтобы обеспечить соблюдение положений стандарта. Частично это может достигаться путем ссылки на отдельные пункты стандарта в техническом задании. Другие публикации ACI, такие как **ACI 301**, специально составлены для использования в качестве контрактной документации для строительства.

ГЛАВА 1 – ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 – Область применения

Настоящий норматив определяет минимальные требования к проектированию и строительству сооружений из железобетона и преднапряженного железобетона, предназначенных для хранения и локализации охлажденных сжиженных газов (ОСГ) при рабочих температурах от +40 до –325 °F. Кроме того, изложенные здесь принципы применимы к бетонным фундаментным основаниям двухоболочечных стальных резервуаров [с полной герметизацией] при условии согласования с заказчиком.

В объем работ по проектированию емкости должны входить расчет стенки емкости, ее основания (фундамента и фундаментной плиты), бетонных элементов ее крыши, а также, если применимо, обвалования.

R1.1 – Область применения

Как правило, конструкции из железобетона и преднапряженного железобетона, применяемые для хранения ОСГ, делятся на две основные функциональные категории:

- а) вторичное средство локализации – наиболее распространенное применение таких конструкций;
- б) первичное средство локализации.

Везде по тексту данного документа под термином «бетон» подразумевается как обычный железобетон, так и предварительно напряженный железобетон. Настоящие нормативные требования не распространяются на расчет резервуаров мембранного типа, поскольку требования к строительству и рабочему проектированию не входят в состав документа. Резервуар мембранного типа представляет собой безопорную внутреннюю емкость с тонкими (мембранными) стенками, закрепленную через слой теплоизоляции в наружном резервуаре. При условии выполнения надлежащего дополнительного инженерного анализа и обоснования, части настоящих нормативных требований, в том числе критерии проектирования внутренних и наружных емкостей, могут применяться к расчету наружной бетонной оболочки мембранного резервуара. В данных нормативных требованиях не рассматриваются материалы, проектирование и строительство внутренних и наружных резервуаров из стали. Эта информация представлена в стандарте **API 620**.

Настоящие нормативные требования разработаны для минимальной рабочей температуры –325 °F. Более низкие температуры продукта также могут применяться, однако при условии выполнения надлежащего инженерного расчета и обоснования для каждой предлагаемой области использования. В настоящих нормативных требованиях рассматриваются концепции одинарной и двойной оболочек, а также двухоболочечных резервуаров с полной герметизацией.

Бетонное обвалование представляет собой цилиндрическую стену с открытым верхом, которая служит внешней границей зоны локализации разливов, окружающей одностенный резервуар хранения ОСГ.

В системах резервуаров с двумя оболочками, внутренняя емкость как правило представляет собой резервуар хранения ОСГ с одинарной оболочкой, паронепроницаемой обечайкой и крышей, рассчитанными на удержание охлажденной жидкости и сопутствующих паров при нормальных условиях эксплуатации. В таких системах наружная емкость часто представляет собой бетонную стенку с открытым верхом, которая выполняет две основные функции:

- а) обеспечивает защиту внутренней емкости от внешних нагрузок при нормальных условиях эксплуатации;
- б) локализует разливы из внутренней емкости (но не пары, образующиеся при таких разливах) в ситуации аварийного разлива.

В двухоболочечных резервуарах внутренняя емкость рассчитана на удержание охлажденной жидкости при нормальных условиях эксплуатации, а наружная емкость имеет паронепроницаемую стенку и крышу, охватывая внутреннюю. Крыша может быть металлическая, бетонная, или композитная, из этих двух материалов.

В нормальных условиях эксплуатации наружная емкость защищает внутреннюю от внешних нагрузок. В ситуации аварийного разлива наружная емкость также вмещает разливы из внутренней емкости и локализует или снижает утечку паров, образующихся при таких разливах.

В настоящих нормативных требованиях рассматриваются только критерии выбора материалов для термической защиты угловой зоны вторичного резервуара. Исходные данные проектирования, методы расчета, критерии приемки (предельные напряжения или деформации) и проработка требований к устройству системы термической защиты угловой зоны резервуара не включены в настоящий документ.

1.2 – Обеспечение качества

1.2.1 План обеспечения качества: в состав технических условий проекта должны входить положения по разработке плана обеспечения качества для подтверждения того, что материалы, изготовление и строительство соответствуют требованиям проекта. В плане должны быть отражены:

1. порядок контроля изготовления и строительства;
2. требуемые проверки, осмотры и испытания;
3. порядок проведения проверок и испытаний.

1.2.2 Отслеживаемость: местонахождение всех материалов долговременного использования, применяемых в конструкции, должно отслеживаться вплоть до исходных документов, демонстрирующих соответствие техническим условиям, стандартам, требованиям к испытаниям, обеспечению качества и контролю качества. В документах системы обеспечения качества и контроля качества должно указываться, какой компонент или материал, применяемый в конструкции, прошел испытания или сертифицирован.

1.2.3 Документация

1.2.3.1 Документация на материалы, испытания, параметры и результаты эксплуатации должны быть представлены в рамках программы обеспечения и контроля качества, указанной в технических условиях проекта.

1.2.3.2 Документы программы обеспечения и контроля качества должны быть достаточно подробными, чтобы по ним можно было определить, какой компонент или материал конструкции проходил испытания. Документация по всем результатам испытаний сохраняется, а утилизация не прошедших испытания материалов оформляется документально.

1.2.3.3 Документы по всем материалам, испытаниям, а также параметрам и результатам эксплуатации, должны постоянно иметься в наличии во время строительства.

R1.2 – Обеспечение качества

R1.2.1 При подходе «проектирование и строительство», который, как правило, применяется при строительстве резервуаров хранения ОСГ, в состав технических условий проекта входит только общее изложение требований по обеспечению качества. В обязанности подрядчика по проектированию и строительству обычно входит проработка деталей плана обеспечения и контроля качества.

R1.2.2 В состав исходных документов должны входить:

1. заводские сертификаты, подтверждающие соответствие стандартам Американского общества испытания материалов (**ASTM**) или иным действующим стандартам на металлические материалы для бетона и компоненты цементного раствора;
2. сертификаты соответствия стандартам и техническим условиям, представленные поставщиками материалов;
3. формуляры партий бетона, доставляемых автобетономешалками, в случае использования готовой бетонной смеси, и результаты объектовых и лабораторных испытаний бетона и цементного раствора, заливаемых на рабочей площадке;
4. технические условия на сварку арматуры, листов и металлоконструкций; и
5. аттестаты сварщиков, рабочих, выполняющих набрызг смеси при торкретировании, инспекторов и прочего персонала, выполняющего испытания и проверки.

R1.2.3.1 Все сертификаты, свидетельства обеспечения и контроля качества, чертежи конструкций, технические условия и строительная документация любого рода собирается заказчиком логическим образом, для упрощения поиска и рассмотрения в дальнейшем. Вся документация предоставляется в печатном и электронном виде. Владелец обеспечивает хранение этих документов в течение всего срока эксплуатации резервуара.

ГЛАВА 2 – УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

2.1 – Условные обозначения

B	= взрыв (Главы 5, 7)
c	= удельная теплоемкость (Глава 6)
c	= экспериментально определенный коэффициент усталости (Приложение С)
c	= коэффициент проницаемости (Глава 8)
D	= диаметр резервуара (Глава 10)
D	= статические нагрузки, или связанные с ними внутренние моменты и силы (Главы 5, 7)
D_p	= диаметр летящего предмета (Глава 8)
E	= нагрузка от воздействия окружающей среды (Глава 7)
E_c	= модуль упругости бетона (Главы 2, 6)
E_o	= расчетное землетрясение (Главы 2-8, 10, Приложение В)
E_S	= землетрясение безопасного останова (Глава 5)
f_c'	= нормативная прочность бетона на сжатие (Главы 6, 8, Приложение С)
f_{ci}'	= нормативная прочность бетона на сжатие при начальном предварительном напряжении (Главы 2, 5-8, 10, Приложение В)
F	= нагрузки, возникающие под действием веса и давления флюидов с хорошо определенными плотностями и регулируемой максимальной высотой, или связанные с ними внутренние моменты и силы (Главы 5, 7)
F_s	= осадка основания (Глава 5)
F_t	= максимальная гидростатическая нагрузка при опрессовке (Глава 5)
F_v	= вертикальное давление земли (Глава 5)
g	= ускорение свободного падения
h_d	= минимальная толщина купола для противодействия смятию (Глава 6, 8)
H	= тепловое излучение от происходящего поблизости пожара
k	= различные магнитуды напряжений в спектре, S_i ($1 < i < k$) (Приложение С)
k	= коэффициент собственной проницаемости (Глава 5-7)
k	= коэффициент гидропроводности (Глава 6)
L	= временная нагрузка (главным образом снеговая; а также: нагрузка от временного оборудования, временная нагрузка на крышу) (Главы 5, 7)
L_{cm}	= временные нагрузки, возникающие в результате работ по вводу в эксплуатацию (Глава 7)
L_{cn}	= временные нагрузки, возникающие в результате строительных работ (Глава 7)
m_p	= масса летящего предмета, фн. (Глава 8)
M_i	= удар летящего тела (Главы 5, 7)
$n(S_i)$	= учитываемые циклы напряжения
$N_i(S_i)$	= число циклов постоянных знакопеременных напряжений до разрушения, S_i (Приложение С)
P_d	= внутреннее давление (среды) (Глава 5)
P_e	= случайное внутреннее избыточное давление (относится к наружной стенке и куполообразной крыше двухоболочечной системы с полной герметизацией) (Глава 5)
P_f	= окончательное предварительное напряжение (при рабочей нагрузке) (Главы 5, 7)
P_i	= начальное предварительное напряжение (при передаче) (Главы 5, 7)
P_t	= внутреннее давление (испытания) (Глава 5)
P_u	= расчетная (с учетом запаса прочности) осевая нагрузка; принимается положительной при сжатии и отрицательной при растяжении (Глава 8)
P_v	= случайное давление вакуума (относится только к наружным стенкам двухоболочечных систем с полной герметизацией) (Глава 5)
r	= радиус резервуара (Глава 11)
r_d	= номинальный радиус кривизны купола (Глава 11)

r_{imp}	=	средний радиус кривизны купола в зоне дефекта (Глава 5, 8)
r	=	нагрузки на крышу (от внутренней оснастки и подвесного перекрытия) (Глава 5)
r	=	коэффициент уменьшения силы (Глава 8)
r	=	компонент сейсмической реакции (Приложение В)
S_i	=	смена знака постоянного напряжения (Приложение С)
T	=	суммарный эффект температуры, ползучести, усадки, и неравномерной осадки (Главы 5, 7)
T_c	=	нагрузки, связанные с ползучестью бетона (Глава 7)
T_{ds}	=	нагрузки, связанные с неравномерной осадкой (Глава 7)
T_e	=	температура и перепад температуры в результате резкого охлаждения (Главы 5, 7)
T_o	=	температура и перепад температуры при рабочих нагрузках (Глава 5)
T_o	=	внутренние моменты и силы, возникающие под воздействием распределения температуры и влаги внутри бетонной конструкции, обусловленного вводом в эксплуатацию, нормальной эксплуатацией или выводом из эксплуатации (Глава 7)
T_s	=	нагрузки, связанные с усадкой бетона (Глава 7)
v	=	скорость летящего предмета (Глава 8)
w	=	плотность бетона (Глава 8)
w	=	ветровая нагрузка (Главы 5, 7)
q_u	=	предельная несущая способность (Глава 10)
Q_a	=	безопасная расчетная нагрузка на сваю (Главы 2, 10)
Q_r	=	предельная несущая способность одиночных свай (Глава 10)
β_c	=	коэффициент снижения прочности на смятие за счет воздействия ползучести, нелинейных свойств материала и растрескивания бетона (Глава 8)
β_{imp}	=	коэффициент снижения прочности на устойчивость к продольному изгибу вследствие дефектов (Глава 8)
ϕ	=	коэффициент снижения прочности (Главы 7, 8)
μ	=	коэффициент Пуассона или динамическая вязкость жидкости (Глава 6)
ρ	=	плотность жидкости (Глава 6)

2.2 – Термины и их определения

Для единообразного применения настоящих нормативных требований необходимо определить термины, которые здесь будут иметь конкретные значения. Определения используемых в данном документе терминов приведены только в контексте настоящих нормативных требований, и могут не соответствовать общепринятым. Глоссарий наиболее употребимых терминов, относящихся к производству бетона, проектированию и строительству бетонных конструкций, и исследованиям в области бетона приведен в разделе «[Терминология по бетону](#)» на вебсайте ACI.

анкер[овка] – (1) устройство, применяемое для сохранения натяженного состояния преднапряженной пряди или стержня арматуры путем передачи сжимающей нагрузки на бетон; или (2) устройство, закладываемое в бетон для соединения с другим элементом или конструкцией.

аномальная нагрузка – нагрузка, возникающая в результате неконтролируемой или неплановой ситуации, способная привести к нежелательным последствиям в сфере безопасности или защиты окружающей среды.

арматура периодического профиля – металлические стержни, проволока, или сетка, выполненные с рифленой поверхностью, которая обеспечивает анкеровку в окружающем бетоне.

ввод в эксплуатацию – пуско-наладочные операции, такие как продувка и захолаживание.

верхнее строение – все оборудование, системы и прочие технические средства на плавучем сооружении или на основании гравитационного типа, которые используются для реализации технологического процесса подготовки охлажденного сжиженного газа и эксплуатации объекта.

взаимодействие сооружения с грунтом – процесс, при котором реакция грунта влияет на перемещение сооружения, а перемещение сооружения влияет на реакцию грунта.

вывод из эксплуатации – процесс продувки и прогрева резервуара для его подготовки к выводу из эксплуатации.

выпаривание – процесс испарения охлажденной жидкости за счет тепла, передающегося через теплоизоляцию, установленную вокруг резервуара хранения.

длина заделки – длина закладной арматуры, выступающая за ответственное сечение.

длина зоны анкеровки – длина зоны сцепления или анкеровки, требуемая для передачи расчетной прочности арматуры в ответственном сечении.

долгосрочная осадка – начинается после точки перегиба логарифмической кривой зависимости объема пустот от времени, когда кривая превращается в прямую линию.

дополнительная нагрузка обратной засыпки или грунта – вертикальная нагрузка, действующая на плановую отметку над фундаментным основанием или у подпорной стенки.

допустимая рабочая нагрузка на сваю – безопасная расчетная нагрузка на сваю Q_a ; нагрузка, при которой запас прочности на погружение или забивку одной сваи соответствует принятым требованиям безопасности.

допустимое напряжение – максимальное допустимое напряжение, применяемое при расчете элементов конструкции и основанное на запасе прочности на разрыв или пластическую деформацию.

емкость – сосуд для хранения ОСГ.

захолаживание – плановое и контролируемое охлаждение резервуара.

землетрясение безопасного останова – максимальный расчетный уровень землетрясения, при котором сооружение получает необратимые повреждения, но без потери общей целостности и герметичности (т.е. требуется останов объекта в целях безопасности).

зона анкеровки (зона, анкеровка) – (1) зона пост-натяженного элемента, прилегающая к анкеру и

подвергающаяся вторичным напряжениям, возникающим вследствие распределения силы предварительного напряжения; или (2) зона, где напряжения сцепления передают нагрузку предварительного натяжения на бетонный элемент.

избыточное давление – давление, превышающее уровень уставки на входе предохранительного клапана, через который происходит сброс давления.

кольцевая балка – непрерывный изогнутый элемент, воспринимающий осевую нагрузку и составляющий одно целое с верхним периметром цилиндрической конструкции; или непрерывный изогнутый элемент под нижним периметром цилиндрической конструкции.

криогенная арматура – материал для армирования бетона, сохраняющий способность к пластичной деформации при заданных криогенных температурах и рабочих режимах.

криогенный – находящийся при очень низких температурах до -325°F , или относящийся к таким температурам в ходе производства, хранения и транспортировки охлажденного сжиженного газа.

ледовая нагрузка – от воздействия окружающей среды, возникающая в результате нарастания на сооружение или ударов о него однолетнего ровного льда, многолетних плавающих льдин, однолетних и многолетних ледовых торосов, айсбергов, или всего вышеперечисленного.

макет – часть сооружения, построенная для демонстрации методов строительства, окончательного выбора материалов и внешнего вида, и являющаяся прототипом окончательной конструкции.

максимальное расчетное землетрясение (МРЗ) – землетрясение максимальной силы, которое сооружение должно выдержать без полного разрушения, с периодом повторяемости, определяемым заказчиком. Этот термин применяется в отрасли строительства морских сооружений.

модуль сдвига (грунта) – сопротивляемость грунта деформации сдвига, меньшей предела упругой деформации материала.

модуль упругости – отношение нормального напряжения к соответствующей деформации при напряжениях растяжения или сжатия ниже предела упругой деформации материала; также именуется модулем Юнга и обозначается символом E_c .

нагрузка от трубопроводов – статическая нагрузка, временная (динамическая) нагрузка или сочетание этих нагрузок, создаваемых трубопроводами и передаваемых на конструкции через опоры трубопроводов.

нелинейный анализ – метод анализа, при котором напряжения определяются на основании нелинейных свойств материала и эффектов растрескивания.

нормативная прочность бетона на сжатие – нормативное сопротивление образца бетона осевому сжатию, применяемое в инженерных расчетах и в качестве критерия для определения состава и приемки материала.

обвалование – стена по периметру участка хранения, предотвращающая аварийный выброс жидкости на нежелательные участки.

общий [статический] расчет – расчет всей системы хранения, с основным сооружением и опорными конструкциями.

ослабление напряжения – зависящее от времени снижение напряжения в материале, выдерживаемом при постоянной деформации.

оснастка (внутренняя) – оборудование или элементы конструкции, прикрепленные к оболочке.

основание гравитационного типа – сооружение, опирающееся на дно моря и обеспечивающее устойчивость к сдвигающим и опрокидывающим нагрузкам исключительно за счет веса конструкции, оборудования и хранящегося продукта.

стойчивость в поврежденном

Объект интеллектуальной собственности Американского института бетона – www.concrete.org

состоянии – способность плавучего сооружения, основания гравитационного типа или корпуса плавучего сооружения сохранять устойчивость после пробоя наружной поверхности.

отрицательное трение – вертикальная нагрузка на сваи, кулесты свай, опоры или иные элементы фундаментных оснований, создаваемая силой трения, возникающей за счет продолжающегося уплотнения вмещающего грунта.

охлажденный сжиженный газ – вещество, находящееся в газообразном состоянии в нормальных условиях (при стандартном давлении и температуре) и переходящее в жидкое состояние при охлаждении.

падающие предметы – вид случайной нагрузки от ударной энергии крупных предметов, падающих или упавших на бетонные поверхности конструкции. Помимо прочих, такими предметами могут быть загрузочные и разгрузочные стендеры, краны, компрессоры, бурильные трубы и стояки.

паронепроницаемый барьер – барьер, который пассивно ограничивает поток паров охлажденного сжиженного газа, водяных паров или иных атмосферных газов.

плавучие системы хранения и регазификации – плавучие сооружения на стационарной системе швартовки для хранения и регазификации охлажденного сжиженного газа.

плавучие системы хранения – плавучие сооружения на стационарной системе швартовки для хранения охлажденного сжиженного газа.

постоянный балласт – как правило, твердый балласт, постоянно уложенный в нижней части конструкции для придания устойчивости на плаву или для увеличения действующего на дно веса основания гравитационного типа для сопротивления сдвигу и опрокидыванию.

предельная несущая способность грунта – способность грунта или горной породы выдерживать внешние нагрузки, измеряющиеся максимальным средним давлением в плоскости контакта фундаментного основания с грунтом или горной породой, которое не приводит к разрушению или недопустимой деформации.

предельная несущая способность одиночных свай – нагрузка, при которой осадка свай непрерывно увеличивается без дальнейшего увеличения нагрузки, или при которой осадка начинает увеличиваться со скоростью, не пропорциональной скорости увеличения нагрузки.

продувка – контролируемое и безопасное вытеснение одного газа другим.

продукт – хранящийся охлажденный сжиженный газ.

проектное землетрясение – максимальный уровень землетрясения, который сооружение должно выдержать с ограниченным разрушением под действием события с периодом повторяемости, определяемым заказчиком.

прочность на сдвиг (грунта) – (1) максимальное удельное напряжение, выдерживаемое материалом при нагрузке на сдвиг; или (2) максимальная поперечная сила, действующая на сечение, при которой элемент остается в равновесном состоянии при совместном воздействии осевых, сдвиговых и изгибающих сил.

радиус кривизны – радиус уникального круга, формируемого тремя точками на плоскости, не находящимися на одной линии. Центр круга является пересечением двух перпендикуляров к отрезкам, соединяющим две любые заданные точки.

расчет по рабочим напряжениям – метод определения расчета строительной конструкций на устойчивость к заданным рабочим нагрузкам при заданных уровнях упругих напряжений.

расчетная прочность – номинальная прочность элемента, умноженная на коэффициент снижения прочности ϕ .

расчетная ширина трещины – ширина раскрытия трещины, рассчитанная на основании структурной модели бетона.

расчетное давление – давление, применяемое при расчете оборудования, емкости или сосуда, с целью определения минимальной допустимой толщины или физических характеристик их частей; в соответствующих случаях для определения толщины каких-либо конкретных частей при расчете давления учитывается гидростатический напор.

расчетное землетрясение, безопасное для эксплуатации – максимальный уровень землетрясения, при котором сооружение должно устоять без повреждений и остаться в пригодном для эксплуатации состоянии.

резервуар – стационарное емкостное сооружение с безопорными непроницаемыми для жидкости стенками, изготовленными из негрунтового материала.

репер – определенная и поддающаяся восстановлению опорная точка изысканий, географическое положение которой по горизонтали и по вертикали точно известно.

свободная высота стенки резервуара – вертикальное расстояние от заданного максимального уровня продукта до верха стенки резервуара для хранения жидкости.

сжиженный газ – вещество, находящееся в газообразном состоянии при нормальных условиях (температура 60 °F и давление 14,7 фн./кв. дюйм [абс.]) и переходящее в жидкое состояние в процессе охлаждения.

сжиженный природный газ – сжиженный газ, состоящий главным образом из метана и содержащий незначительные доли этана, пропана, азота или иных компонентов, обычно присутствующих в природном газе.

сжимаемость (грунта) – мера изменения объема грунта под воздействием давления или изменения среднего напряжения.

случайная нагрузка – нагрузка которая возникает при аварийной ситуации, такой как, например, падение предметов, пожар, взрыв, удар плавсредства или судна о причал, термический удар, неудачная швартовка, а также падение давления или потеря плавучести в состоянии на плаву.

собственная проницаемость – компонент гидропроводности, определяемый исключительно свойствами пористой среды.

сопротивление скольжению – сила сопротивления грунта поперечному сдвигу низа основания.

спуск со стапеля на плаву – этап строительства, когда корпус выходит на плаву из сухого дока для транспортировки на место назначения.

средства локализации двухоболочечной системы с полной герметизацией – система хранения, состоящая из первичной (внутренней) емкости, непосредственно содержащей жидкий продукт, окруженной вторичной (наружной) емкостью, которая при нормальной эксплуатации содержит парообразный продукт, а в случае утечки из внутренней емкости удерживает вытекший жидкий продукт и обеспечивает контролируруемую локализацию или сброс паров.

средство локализации – [система для] контролируемого удержания жидкости или паров в определенном пространстве.

средство локализации, вторичное – наружная емкость двухоболочечного резервуара с полной герметизацией, которая удерживает жидкость в случае ее утечки через первичное средство локализации. В двухоболочечных резервуарах с полной герметизацией наружная емкость также содержит пары при нормальных условиях эксплуатации и обеспечивает регулируемый сброс паров в случае утечки из внутренней емкости.

средство локализации, одинарное – система хранения, состоящая из одностенной емкости, рассчитанной на хранение ОСГ и паров продукции, или же двустенной емкости, где только внутренняя рассчитана на хранение ОСГ.

средство локализации, первичное – часть одинарной, двойной или двухоболочечной системы с полной герметизацией, в которой содержится жидкость при нормальных условиях эксплуатации.

стратификация – плотностное расслоение жидкости.

термическая защита угловой зоны – теплоизолированная и непроницаемая для жидкости система, защищающая наружные угловые зоны резервуара от термического удара.

термическая нагрузка – нагрузка, действующая на элемент конструкции вследствие вынужденных изменений объема, обусловленных изменениями температуры или ее перепадов внутри элемента.

термический удар – быстрое изменение температуры, которое может ухудшить эксплуатационно-прочностные характеристики материала или конструкции.

толчки после землетрясения безопасного останова – толчки, которые происходят после основного землетрясения безопасного останова, магнитуда которых составляет 50 процентов от магнитуды землетрясения безопасного останова.

удар плавсредства или судна – относится к нагрузке, создаваемой судном снабжения, буксиром или танкером для охлажденного сжиженного газа (ОСГ) при швартовке к причалу, отбойному брусу или платформе для швартовки танкера ОСГ.

уклономер – прибор для измерения углов наклона, крена или отклонения объекта относительно направления силы тяжести.

устойчивость к опрокидыванию – силы и моменты сопротивления грунта и основания, противодействующие силам и моментам опрокидывания конструкции.

устойчивость к поперечной нагрузке (сваи) – способность свай сопротивляться поперечной нагрузке.

футеровка – металлические или иные системы разобщающих покрытий на внутренней или наружной стороне первичного или вторичного средства локализации, непроницаемые для жидкостей, паров удерживаемого продукта и водяного пара.

швартовные нагрузки – силы натяжения, создаваемые швартовными тросами, закрепленными на основании гравитационного типа (во время его строительства и установки) или якорными оттяжками, закрепленными на корпусе плавучего сооружения для его удержания на месте (во время установки и эксплуатации).

шпур – отверстие, пробуренное в земле, обычно в вертикальном направлении, для отбора образцов грунта и изучения его свойств.

штормовой нагон – внешняя экологическая нагрузка в результате подтопления водами моря или озера в зонах мелководья, подверженных воздействию тропических штормов.

эффективная высота сечения – высота сечения балки или плиты, измеряемая от сжатой грани до центра масс напряженной арматуры.

ГЛАВА 3 – БАЗОВЫЕ СТАНДАРТЫ

Американский институт бетона

117-06 – Технические условия на допуски для бетонных строительных конструкций и материалов

301-05 – Технические условия на бетонные конструкции

318-11 – Требования строительных норм и правил к бетонным конструкциям, с комментариями

350-06 – Нормативные требования к экологическому проектированию бетонных сооружений

350.3-06 – Сейсмическое проектирование бетонных сооружений, содержащих жидкости

506.2-95 – Технические условия на материалы, подбор состава, и нанесение торкрет-бетона

Американский нефтяной институт

API 620-08 – Проектирование и строительство крупных сварных резервуаров-хранилищ низкого давления, 11-е издание, с поправками

Американское общество инженеров гражданского строительства

ASCE/SEI 7-05 – Минимальные расчетные нагрузки на здания и прочие сооружения

Американское общество инженеров-механиков

ASME B31.3 2006 – Технологические трубопроводы

Американское общество сварщиков

AWS D1.1/D1.1M-08 – Свод стандартов по сварке элементов строительных конструкций – сталь

Американское общество испытания материалов

A416/A416M-10 – Стандартные технические условия на стальную семипроволочную пряжу без покрытия для предварительно напряженного железобетона

A615/A615M-09 – Стандартные технические условия на стержни периодического профиля и гладкие стержни для армирования бетона

A706/A706M-09 – Стандартные технические условия на стержни периодического профиля и гладкие стержни из низколегированной углеродистой стали для армирования бетона

A955/A955M-11 – Стандартные технические условия на стержни периодического профиля и гладкие стержни из нержавеющей стали для армирования бетона

C39/C39M-11 – Стандартный метод испытаний цилиндрических образцов бетона на сопротивление сжатию

C109/C109M-11 – Стандартный метод испытаний гидротехнических бетонов на прочность на сжатие (с применением образцов в форме куба с размером грани 2 дюйма [50 мм])

C144-11 – Стандартные технические условия на заполнитель для раствора для кирпичной кладки

C150/C150M-11 – Стандартные технические условия на портланд-цемент

C260/C260M-10 – Стандартные технические условия на воздухововлекающие добавки для бетона

C469/C469M-10 – Стандартный метод испытаний бетона на статический модуль упругости и коэффициент Пуассона при сжатии

C494/C494M-11 – Стандартные технические условия на химические добавки для бетона

C496/C496M-11 – Стандартный метод испытаний цилиндрических образцов бетона на прочность на растяжение при раскалывании

C512/C512M-10 – Стандартный метод испытаний

Объект интеллектуальной собственности Американского института бетона – www.concrete.org

14 ТРЕБОВАНИЯ К ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМ СООРУЖЕНИЯМ, СОДЕРЖАЩИМ ОХЛАЖДЕННЫЕ СЖИЖЕННЫЕ ГАЗЫ (ACI 376-11)

бетона на ползучесть при сжатии

C618-08 – Стандартные технические условия на зольную пыль и необожженные и обожженные природные пуццоланы, используемые для приготовления бетона

C989/C989M-11 – Стандартные технические условия на шлаковый цемент, используемый для приготовления бетона и растворов

C1017/C1017M-07 – Стандартные технические условия на химические добавки, используемые в производстве разжиженной бетонной смеси

C1202-10 – Стандартный метод испытаний на электрические показатели способности бетона сопротивляться проникновению хлорид-иона

C1240-11 – Стандартные технические условия на кремнеземную пыль, используемую в цементирующих составах

C1679-09 – Стандартная практика измерения кинетики гидратации гидротехнических цементирующих составов с применением изотермической калориметрии

D1143/D1143M-07 – Стандартные методы испытания фундаментов глубокого заложения, находящихся под воздействием статической осевой сжимающей нагрузки

D3689-07 – Стандартные методы испытания фундаментов глубокого заложения, находящихся под воздействием статической осевой растягивающей нагрузки

D4945-08 – Стандартные методы испытания свай при высоких динамических напряжениях

E96/E96M-10 – Стандартные методы испытания материалов на проницаемость для паров воды.

Британский институт стандартов

BS 4449:2005/+A2:2009 – Сталь для арматуры железобетона

BS 4486:1980 – Технические условия на горячекатаные и горячекатаные и обработанные стальные стержни с высокой прочностью на разрыв для предварительного напряжения железобетона

BS 5896:1980 – Технические условия на стальную проволоку и прядь с высокой прочностью на разрыв для предварительного напряжения железобетона

BS 6744:2001 – Стержни из нержавеющей стали для армирования и иного использования в бетоне. Требования и методы испытаний

BS EN 1992-1-1 – Расчет бетонных конструкций – общие правила и правила для зданий.

Канадская ассоциация стандартов

CAN/CSA-G30.18-M92 – Заготовки и стальные стержни для армирования бетона.

Европейские стандарты

EN 14620-3:2006 – Проектирование и изготовление собираемых на площадке вертикальных цилиндрических стальных резервуаров с плоским днищем для хранения охлажденных сжиженных газов при рабочих температурах от 0 °C до -165 °C – Часть 3: Компоненты бетона

EN 1992-1-1 – Европейский кодекс 2: Расчет бетонных конструкций – Часть 1-1: Общие правила и правила для зданий.

Международная организация по стандартизации (ISO)

ISO 4624:2002 – Краски и лаки – Испытания на адгезию покрытия методом отрыва.

*Национальная ассоциация пожарной безопасности
США (NFPA)*

NFPA 59A-09 – Стандарт на производство, хранение и транспортировку сжиженного природного газа (СПГ).

*Институт сборных предварительно напряженных
железобетонных конструкций*

MNL-116-99 – Руководство по контролю качества на установках и производствах сборных изделий из предварительно напряженного железобетона.

Эти публикации можно получить в следующих организациях:

American Concrete Institute
(Американский институт бетона)
38800 Country Club Drive
Farmington Hills, MI, 48331
www.concrete.org

American National Standards Institute
(Американский национальный институт стандартов)
1819 L Street, NW
Washington, DC 20036
www.ansi.org

American Petroleum Institute
(Американский нефтяной институт)
1220 L Street, NW
Washington, DC 20005.
www.api.org

American Society of Civil Engineers
(Американское общество инженеров
гражданского строительства)
1801 Alexander Bell Drive
Reston, VA 20191
www.asce.org

American Society of Mechanical Engineers
(Американское общество инженеров-механиков)
Three Park Avenue
New York, NY 10016
www.asme.org

ASTM International
(Американское общество испытания материалов)
100 Barr Harbor Dr.
West Conshohocken, PA 19428-2959
www.astm.org

British Standards Institute
(Британский институт стандартов)
389 Chiswick High Road
London, W4 4AL, United Kingdom
www.bsi-global.com

Canadian Standards Association
(Канадская ассоциация стандартов)
5650 Spectrum Way
Mississauga, ON
L4W 5N6 Canada
www.csa.ca

International Organization for Standardization (ISO)
(Международная организация по стандартизации)
1, rue de Varembe
Case postale 56
CH-1211 Geneva 20

Объект интеллектуальной собственности Американского института бетона – www.concrete.org

16 ТРЕБОВАНИЯ К ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМ СООРУЖЕНИЯМ, СОДЕРЖАЩИМ ОХЛАЖДЕННЫЕ СЖИЖЕННЫЕ ГАЗЫ (ACI 376-11)

Switzerland

www.iso.org

National Fire Protection Association (Национальная ассоциация пожарной безопасности)

1 Batterymarch Park

Quincy, MA 02169

www.nfpa.org

Precast/Prestressed Concrete Institute (Институт сборных бетонных конструкций и предварительно напряженного железобетона)

209 W. Jackson Blvd. #500

Chicago, IL 60606

www.pci.org

ГЛАВА 4 – МАТЕРИАЛЫ

4.1 – Испытания материалов

4.1.1 Испытания материалов, применяемых в строительстве бетонных конструкций должны проводиться в соответствии с требованиями действующих строительных норм и предписаниями лицензированных профессионалов по проектированию.

4.1.2 Испытания материалов производятся в соответствии с действующими стандартами **ACI** и **ASTM** (или аналогичными), перечисленными или указанными в настоящих нормативных требованиях, за исключением случаев, когда указано иное.

4.1.3 Испытания должны выполняться при температуре окружающей среды, за исключением случаев, когда в настоящих нормативных требованиях указано, что они должны выполняться при надлежащей криогенной температуре для предполагаемой к хранению жидкости.

4.1.4 В ходе работ для их проверки требуется наличие всех документов, относящихся к испытаниям материалов согласно п. 4.13.2, и полный комплект этих документов должен храниться владельцем в течение всего срока эксплуатации резервуара.

4.1.5 Учетные документы всех рабочих испытаний должны храниться в течение всего срока эксплуатации сооружения.

4.2 – Цементирующие материалы

Портланд-цемент, зольная пыль, шлаковый цемент и кремнеземная пыль должны соответствовать требованиям стандартов **ASTM C150**, **ASTM C618**, **ASTM C989**, и **ASTM C1240** (в указанном порядке).

4.3 – Заполнители

Заполнители, в том числе легкие заполнители, используемые при изготовлении бетона, должны соответствовать требованиям стандарта **ACI 350**, при этом выбор заполнителя должен обеспечивать соответствие бетона требованиям по криогенным эксплуатационным характеристикам, указанным в настоящих нормативных требованиях в отношении растрескивания, теплопроводности и гидравлической проницаемости.

R4.1 – Испытания материалов

R4.1.1 Допустимые стандартные испытания материалов при температурах окружающей среды приведены в стандартах **ACI 350** и **ACI 318** для бетона и обычной стальной арматуры, а также в общих стандартах **ASTM** (или аналогичных) для материалов общего назначения. Прочие испытания перечислены в настоящих нормативных требованиях.

R4.1.3 На результаты низкотемпературных испытаний бетона может существенно влиять история предыдущего воздействия на образец (охлаждение – нагрев), скорость охлаждения или нагрева и диапазон температуры.

Физические свойства не подвергавшейся предварительному напряжению арматуры и предварительно напряженной стали практически не зависят от термической истории испытываемого образца; тем не менее, необходимо проявлять осторожность при испытаниях массивных образцов стали, чтобы убедиться в том, что внутренние температурные напряжения не влияют на результаты испытаний.

R4.2 – Цементирующие материалы

Непроницаемость и долговечность бетона могут быть увеличены путем добавления в состав цементирующих материалов зольной пыли, шлакового цемента или кремнеземной пыли. Использование зольной пыли или шлакового цемента может способствовать снижению выделения тепла в больших сечениях во время гидратации, и, таким образом, снижать риск термического растрескивания. Использование зольной пыли или кремнеземной пыли может также снижать реакционную способность щелочей с заполнителем, что также может быть проверено с помощью стандартов **ASTM C441** и **ASTM C311**.

R4.3 – Заполнители

Крупнозернистые заполнители могут оказывать значительное воздействие на коэффициент термического расширения бетона, теплопроводность, поведение при пожаре и непроницаемость для криогенных жидкостей. Коэффициент термического расширения заполнителей для бетона, использующегося для внутренних емкостей, должен быть низким, однако не настолько, чтобы несовместимость с матрицей цемента могла привести к растрескиванию на границе заполнителя и цементной массы с последующим увеличением проницаемости. Некоторые экспериментальные работы показали, что легкие крупнозернистые заполнители могут применяться для приготовления бетонных смесей с существенно более низкой собственной проницаемостью по криогенным жидкостям, по сравнению со смесями, приготовляемыми с использованием обычных заполнителей.

4.4 – Вода

Вода, применяемая для приготовления бетонной смеси, должна соответствовать требованиям стандарта **ACI 350**.

4.5 – Добавки

4.5.1 Добавки, применяемые для снижения содержания воды и изменения времени схватывания, должны соответствовать требованиям стандарта **ASTM C494**. Добавки для приготовления разжиженной бетонной смеси должны отвечать требованиям стандарта **ASTM C1017**.

4.5.2 Воздухововлекающие добавки должны соответствовать требованиям стандарта **ASTM C260**.

4.5.3 Добавки для бетона, не соответствующие требованиям п. 4.5.1 и п. 4.5.2, подлежат предварительному согласованию с лицензированным специалистом по проектированию.

4.5.4 В тех случаях, когда при приготовлении бетонной смеси применяются две или больше добавок, их совместимость должна проверяться и документироваться в соответствии с требованиями стандарта **ASTM C1679**.

4.5.5 Хлорид кальция или добавки, содержащие хлориды из источников, помимо примесей в составе добавки, не допускается применять в предварительно напряженном железобетоне, в бетоне с закладными элементами из алюминия и в бетоне, заливаемом в несъемную опалубку из оцинкованной стали.

4.6 – Волокна

4.6.1 Допускается использование фибробетона или фиброторкрет-бетона.

4.6.2 Полипропиленовое или иное синтетическое волокно, применяемое для повышения устойчивости бетона к выкрашиванию при пожаре, должно иметь документально оформленное подтверждение удовлетворительных эксплуатационных характеристик от производителя при использовании в диапазоне температур, воздействию которых бетон будет подвергаться при эксплуатации.

4.7 – Арматура периодического профиля

4.7.1 Арматура периодического профиля, применяемая при

нормальной плотности (**Hanaor 1982**). Это обусловлено, в первую очередь, лучшим сцеплением между крупнозернистым заполнителем и матрицей цемента за счет совместимости по упругой жесткости. Кроме того, зона контакта между заполнителем и матрицей цемента состоит из двух пористых сред, за счет чего происходит устранение ослабленных зон, возникающих вследствие скопления воды.

R4.4— Вода

Для определения требований к воде для приготовления смеси может применяться стандарт **ASTM C1602**.

R4.6— Волокна

R4.6.1 В бетоне допускается применять стальное волокно для улучшения определенных свойств (см. стандарты **ACI 544.3R** и **ACI 544.4R**), таких как:

- предел пластичности на сжатие;
- прочность на разрыв, пластичность и ударная вязкость;
- предел прочности на срез и пластичность;
- трещиностойкость;
- устойчивость к усталостному разрушению.

Фактические свойства будут зависеть от количества и типа применяемого волокна, как описано в стандарте **544.1R**.

R4.6.2 Полипропиленовое и прочее синтетическое волокно применялось на практике для сведения к минимуму эффекта выкрашивания бетона при пожаре и повышения общей пожаростойкости конструкции (**Bilodeau et al. 1997; Hoff 1998**). Документальное подтверждение можно получить путем лабораторных испытаний.

Не все типы полимерного волокна обеспечивают одинаковый уровень защиты от выкрашивания при пожаре. Дискретное волокно более эффективно, чем фибриллизованное (**ACI 544.1R**). Некоторые исследования показали, что доля волокна, требуемая для предотвращения выкрашивания, выше в предварительно напряженном железобетоне, чем в обычном железобетоне, и что эта доля увеличивается с повышением преднапряжения.

R4.7 – Арматура периодического профиля

R4.7.1 Арматура периодического профиля,

низких рабочих температурах до 0 °F: арматурные стержни периодического профиля, применяемые при расчетной температуре не менее 0 °F, должны быть без покрытия и соответствовать требованиям стандартов **ASTM A615** для марки 60; **ASTM A706**; или **BS 4449** для марки 460, с пределом прочности не менее 60 000 фн./кв. дюйм.

4.7.2 Арматура периодического профиля, применяемая при рабочих температурах ниже 0 °F: при расчете железобетонных компонентов, подвергающихся воздействию рабочих или аварийных криогенных условий, выбор не подвергавшейся предварительному напряжению стальной арматуры должен основываться на пластичности и ударной вязкости и должен соответствовать как минимум одному из следующих условий:

- а) Для арматуры из углеродистой стали, в том числе из стали, соответствующей требованиям п. 4.7.1, результирующие растягивающие напряжения не должны превышать следующих значений:

Диаметр стержня*	Максимальные допустимые напряжения, † фн./кв. дюйм
0,500 дюйма и менее (№№ 3 и 4)	12 000
0,625 дюйма – 0,875 дюйма (№№ 5, 6, и 7)	10 000
1,000 дюйма и более (№№ 8 и более)	8000

*Принятое в США обозначение толщины стержня приведено в скобках. Предельные значения, указанные в этой таблице, применимы к приблизительным переводам в метрическую систему единиц, указанным в стандарте **ASTM A706** и к номинальным метрическим размерам, указанным в стандарте **CAN/CSA G30.18-M92**.

†Для **ASTM A706** и марок 400W и 500W **CAN/CSA G30.18-M92**.

- б) Сталь, соответствующая требованиям **EN 14620-3:2006**, (дополнение А), и требованиям п. 4.7.1 и п. 4.7.2.
- с) Арматурные стержни периодического профиля из аустенитной нержавеющей стали с высоким пределом текучести, соответствующие требованиям стандартов **ASTM A955** для марки 60; или **BS 6744** для марки 500, с пределом прочности не менее, чем 60 000 фн./кв. дюйм.

4.8 – Листовая сталь в сочетании с бетоном

Листовую сталь, применяемую в качестве арматуры, работающей в сочетании с бетоном, следует выбирать согласно требованиям приложения Q или R стандарта **API**

соответствующая требованиям стандарта **ASTM A615** для марки 60, применяется в различных резервуарах хранения охлажденного сжиженного газа (ОСГ) для следующих условий:

- а) в компонентах бетона, на которые не ожидается воздействие рабочих температур ниже 0 °F;
- б) аварийные или случайные условия;
- с) под воздействием временных напряжений во время строительства;
- д) в компонентах бетона, подвергающихся воздействию рабочих или случайных криогенных условий, при условии, что результирующие растягивающие напряжения (за исключением напряжений, вызванных прямым воздействием температуры и усадки) не превышают допустимых значений напряжений, указанных в п. 4.7.2(а) – эти допустимые значения напряжений взяты из стандарта **NFPA 59A**.

R4.7.2 Общий эффект воздействия низких рабочих температур на арматуру, не подвергавшуюся предварительному напряжению, заключается в повышении предела текучести и прочности на разрыв, а также в снижении пластичности и устойчивости к растрескиванию. Таким образом, при выборе криогенной арматуры следует учитывать эти изменения основных свойств. К результирующим напряжениям относятся, помимо прочего, механические, а также напряжения, вызванные деформацией. Когда превышаются предельные напряжения, арматура, не подвергавшаяся предварительному напряжению, должна считаться неэффективной.

Типы арматурных стержней периодического профиля, допустимые к применению в криогенных условиях, зависят от расчетной температуры и типа локализирующей конструкции. Марка 60 по стандарту **ASTM A615** допускается к применению при температурах выше 0 °F. Марка 60 по стандарту **ASTM A706** допускается к применению при температурах выше –20 °F и имеет преимущества по пластичности, прочности и технологичности строительства по сравнению со сталью **ASTM A615**. При меньших температурах, в случаях, когда важно обеспечить ударную вязкость, следует применять следующие классы:

- а) Микролегированные углеродисто-марганцевые стали (**Krybar 1981**)
- б) Аустенитные стали, 25 Mn 5 Cr 1 Ni (**Nippon Steel Corporation 1980**)
- с) Аустенитно-ферритовые стали, сталь с содержанием никеля 9 % (**Nippon Kokan 1980**)

Требования к металлическим футеровкам, применяемым в качестве композитной арматуры бетона, см. в п. 4.8. Данные по испытаниям и критериям приемки, см. в стандарте **Fédération Internationale de la Précontrainte (FIP) (1988)**.

Коэффициент чувствительности к надрезу, описанный в стандарте **BS EN 14620-3:2006**, показывает эффект надрезов на стержне при минимальной рабочей температуре. При таком подходе следует учитывать процесс изготовления арматуры, который может оказывать существенное влияние на возможность применения этого подхода. В случае использования стержней с покрытиями или различных методов закалки и отжига в ходе производства для контроля микроструктуры стали, глубина надреза может привести к отличию микроструктуры образца материала в зависимости от диаметра стержня.

R4.8 – Листовая сталь в сочетании с бетоном

Выбор листового материала согласно требованиям приложения Q и R стандарта **API 620** зависит от расчетной температуры металла следующим образом:

620 в зависимости от расчетной температуры металла, соответствующей минимальной рабочей температуре на поверхности листа.

4.9 – Предварительно напряженная арматура

4.9.1 Положения п. 4.9 применимы к отдельным прядям и нитям проволоки, многопрядной пучковой арматуре и стержням.

- a) приложение Q применимо к температурам продукта до -270°F ;
- b) приложение R применимо к температурам продукта от $+40$ до -60°F .

R4.9 – Предварительно напряженная арматура

R4.9.1 Отдельные пряди, как правило, применяются для преднапряжения внешней кольцевой стенки и линейной (вертикальной) стенки. Отдельные нити проволоки применяются для преднапряжения внешней кольцевой стенки. Многопрядная пучковая арматура применяется для преднапряжения внутренней кольцевой стенки и линейных элементов. Стержни применяются для преднапряжения линейных элементов.

Обычные пряди и проволока для преднапряжения могут применяться при криогенных температурах благодаря процессу холодного волочения, и благодаря тому обстоятельству, что максимальная нагрузка на бетонную конструкцию возникает во время строительства, когда для преднапряжения стальной пучковой арматуры или стержней прилагается растягивающее усилие. Процесс холодного волочения улучшает показатели криогенной пластичности путем создания полей напряжения, предотвращающих распространение трещин в стали. Напряжение от усилия натяжения преднапрягаемой арматуры (или напряжение от вытягивания при намотке прядей или проволоки) как правило составляет от 65 до 75 процентов предельной прочности на разрыв.

Риск, связанный с разрывом каких-либо прядей или нитей проволоки, как правило, минимален, однако его следует учитывать. По завершении процесса начального преднапряжения, когда происходит разгрузка всех имеющихся внутри стали микротрещин, пластически деформированный материал вокруг зоны начальной пластической деформации создает напряжение сжатия в зоне начальной пластической деформации, после чего хрупкое разрушение возможно только если создавшееся напряжение превысит исходное предварительное напряжение.

Более того, за счет композитного характера преднапряженного железобетона, потенциальное растрескивание одной предварительно напряженной пряди, нити проволоки или стержня приведет к перераспределению нагрузки на соседние элементы без распространения разрушения на эти элементы. В полностью связанных системах прочность полностью восстанавливается на небольшом расстоянии от лопнувшей пряди, нити проволоки или стержня за счет сцепления между сталью и бетоном.

4.9.2 Прядь для преднапряжения кольцевых систем должна соответствовать положениям стандарта **ASTM A416** и глав 3 и 18 стандарта **ACI 350**. Пряди, которые не соответствуют этим положениям, должны отвечать требованиям других национальных или международных норм, при условии согласования с инженером.

R4.9.2 Эти положения распространяются на пряди, применяемые для изготовления многопрядной пучковой арматуры для внутреннего преднапряжения, и одиночные пряди для внешней обмотки кольцевой стенки. Для материалов прядей, которые не соответствуют положениям стандарта **ASTM A416**, могут применяться иные соответствующие ссылочные документы, такие как **FIP (1974)**. Снижение напряжения прядей не должно превышать 2,5 процента за 1000 часов при температуре окружающей среды от значения начального напряжения на уровне 70 процентов от нормативной минимальной прочности на разрыв. Оценка механических свойств производится в соответствии с **FIP (1988)**.

Дополнительные указания по применению многопрядной пучковой арматуры для напряжения внутреннего арматурного пучка или отдельных прядей для внешней обмотки приводятся соответственно в стандартах **ACI 373R** и **372R**. Конструкция арматурных пучков может также выполняться в соответствии с **FIP (1981)**.

4.9.3 Сталь для преднапряжения с применением витой

проволоки должна соответствовать положениям приложения G стандарта ACI 350 как для проволоки с волочением на месте, так и для иных систем из витой проволоки, или же положениям стандартов BS 4486:1980 или BS 5896:1980.

4.10 – Анкеровка для предварительного напряжения

4.10.1 Те части анкеровки для преднапряжения (пластина клина и головка анкера), которые передают нагрузку преднапряжения во время эксплуатации и подвергаются воздействию низких или криогенных температур, изготавливаются из легированной стали, соответствующей требованиям приложения Q или приложения R стандарта API 620 в части пластичности при рабочей температуре.

4.10.2 Иные материалы (например, чугун) могут применяться с целью изготовления элементов анкеровки для преднапряжения в тех случаях, когда проектировщику подтверждены удовлетворительные эксплуатационные характеристики путем проведения соответствующих испытаний, как предусмотрено в стандарте BS EN 14620-3:2006.

4.11 – Каналы для пост-напряжения бетона

Каналы для пост-напряжения бетона выполняются в соответствии с требованиями п. 11.4.3.

4.12 – Цементный раствор

Цементный раствор для сцепления напрягаемых арматурных пучков с бетоном должен соответствовать требованиям п. 11.4.5.

4.13 – Металлическая футеровка и неконструкционные металлические компоненты

4.13.1 Листовая сталь, применяемая исключительно для изготовления первичных или вторичных средств локализации для хранения охлажденного сжиженного газа (ОСГ), должна соответствовать требованиям приложения Q или приложения R стандарта API 620 в зависимости от диапазона температур.

4.13.2 Неконструкционные металлические барьеры, входящие в состав преднапряженного железобетона и работающие совместно с ним и подвергающиеся воздействию расчетных температур от -60 до -270 °F при нормальных условиях эксплуатации, должны изготавливаться из металла, класс которого соответствует «первичным компонентам» или «вторичным компонентам» в API 620, Приложение Q.

4.13.3 Все неконструкционные металлические барьеры, заложенные в бетонную стенку и плиту основания, выполняются из углеродистой стали, соответствующей требованиям таблицы стандарта R-4 API 620.

Листы паронепроницаемого барьера из углеродистой стали, крепящиеся к бетонной стенке, должны соответствовать требованиям к материалам для вторичных компонентов, как определено в приложении R стандарта API 620 при рабочих температурах.

R4.10 – Анкеровка для предварительного напряжения

Системы анкеровки, такие как клиновые анкеры для прядей арматуры, могут приводить к образованию вмятин, которые влияют на эксплуатационные характеристики системы.

Проектировщик должен выявлять те элементы анкеровки для преднапряжения, которые передают нагрузку преднапряжения во время эксплуатации. Следует отметить, что после заливки каналов для арматуры цементным раствором концевая анкеровка может стать излишней.

R4.13 – Металлическая футеровка и неконструкционные металлические компоненты

R4.13.1 Металлическая футеровка считается неконструкционным элементом, за исключением случаев, когда она также выполняет функцию арматуры в композитных элементах, как указано в п. 4.8.

4.13.4 Футеровочные плиты крыши и листы паронепроницаемого барьера днища изготавливаются из мелкозернистой углеродистой стали, соответствующей расчетным требованиям, указанным в таблице R-4 стандарта **API 620**.

4.13.5 Методики сварки должны соответствовать разделу R.6 стандарта **API 620** для первичных компонентов, как определено в приложении Q к стандарту **API 620**.

4.13.6 Все внутренние колонки насосов, отстойные колодцы, стояки, внутренние трубопроводы, фасонная арматура, внешние приспособления и направляющие должны соответствовать требованиям стандарта **API 620** для расчетной рабочей температуры компонента.

4.14 – Теплоизоляция

Материал теплоизоляции должен отвечать требованиям п. 7.3.5 стандарта **NFPA 59A**.

R4.14 – Теплоизоляция

Требования п. 7.3.5 стандарта **NFPA 59A** относятся к резервуарам сжиженного природного газа (СПГ). Если в проектной документации не указано иное, такие же требования могут применяться и к резервуарам охлажденного сжиженного газа (ОСГ).

Конструктивный бетон имеет низкую теплоизоляционную способность, чтобы сводить к минимуму утечки тепла в резервуар в условиях стационарного режима. Тем не менее, он эффективен для защиты внутренней емкости и ее содержимого от воздействий пожара за счет теплоемкости бетона, которая предотвращает быстрое изменение температуры в его толще.

Теплоизоляция обеспечивается материалами, которые захватывают большой объем неподвижного газа, и, как правило, более прочный и плотный материал менее эффективен в качестве теплоизоляции (искусственные композитные материалы могут исключать эту закономерность).

Теплоизоляция делится на несущую и не несущую.

К материалам, пригодным для использования в качестве несущей теплоизоляции, относятся (начиная с максимальной теплопроводности и далее в порядке уменьшения) следующие:

- a) легкий теплоизоляционный бетон, такой как перлитобетон, ячеистый бетон, или бетон на искусственных заполнителях из гранул полистирола;
- b) дерево;
- c) ячеистое стекло;
- d) вспененные пластмассы;
- e) полиуретан;
- f) композитные материалы.

К материалам, пригодным для использования в качестве не несущей теплоизоляции, относятся (начиная с максимальной теплопроводности и далее в порядке уменьшения) следующие:

- a) перлит;
- b) вспененные пластмассы;
- c) стеклопластик;
- d) минеральная вата;
- e) полиуретан;
- f) композитные материалы.

4.15 – Требования к покрытию

Покрытия должны соответствовать критериям, указанным в п. 6.8.

ГЛАВА 5 – РАСЧЕТНЫЕ НАГРУЗКИ

5.1 – Расчетные нагрузки

5.1.1 Статические нагрузки D: помимо прочих, к статическим нагрузкам относятся следующие:

- a) вес внутреннего резервуара;
- b) вес крыши;
 - i. футеровка крыши и несущий каркас;
 - ii. бетонная секция крыши;
- c) шахта насоса, насос и насосные эффекты;
- d) вес подвесного перекрытия;
- e) вес изоляции
 - i. боковая теплоизоляция;
 - ii. система теплоизоляции днища со всеми ее компонентами (выравнивающие слои, плита и материал теплоизоляции)
 - iii. теплоизоляция подвесного перекрытия;
- f) вес оснастки, оборудования и несъемных механизмов (например, платформа, внутренняя лестница, запорно-регулирующая арматура, насосы, металлоконструкции и трубопроводы)
- g) собственный вес фундаментного основания, включая вес грунта;
- h) вес бетонных стен;
- i) вес кессона (в соответствующих ситуациях);
- j) вес постоянного балласта (если применимо).

5.1.2 Силы предварительного напряжения P_t , P_r : следует учитывать вертикальную силу преднапряжения стенки и воздействие окружной силы преднапряжения на стенку, верхнюю и нижнюю кольцевые балки.

Следует учитывать усилие натяжения преднапрягаемой арматуры и прибавки на следующие причины потери преднапряжения:

- a) упругое обжатие бетона;
- b) усадка стальных преднапрягаемых элементов при передаче;
- c) ползучесть бетона;
- d) усадка бетона;
- e) ослабление преднапряжения в стали;
- f) потери на трение, возникающие в результате кривизны и колебания пост-напрягаемой пучковой арматуры.

5.1.3 Давление и вес продукта, F : к видам воздействия продукта относятся следующие:

- a) гидростатическое давление P_d ;
- b) гидродинамическое давление;
- c) давление газа, давление паров, или и то, и другое;
- d) вес продукта F .

Следует учитывать воздействия внутреннего как положительного, так и отрицательного давления.

5.1.4 Внешнее давление – к видам воздействия внешнего давления относятся следующие:

- a) нагрузка от грунта (засыпки): следует учитывать внешнее боковое давление грунта, возникающее в результате постоянной засыпки грунтом (F_v), и дополнительные воздействия динамических и иных нагрузок, действующих на грунт и передающихся на конструкцию;
- b) давление грунтовых вод;
- c) гидростатические и гидродинамические давления (например, волновые) нагрузки от жидкостей вне резервуара;

R5.1 – Расчетные нагрузки

R5.1.2 Следует учитывать воздействие сил преднапряжения на всех этапах строительства, эксплуатации и вывода из эксплуатации.

R5.1.4 Настоящие нормативные требования не распространяются на полностью заглубленные и полностью засыпанные резервуары хранения охлажденного сжиженного газа (ОСГ), где требуются системы обогрева для предотвращения распространения изотермы промерзания по стенке резервуара.

5.1.5 Термические нагрузки и нагрузки градиента

Объект интеллектуальной собственности Американского института бетона – www.concrete.org

R5.1.5 Расчетные температурные нагрузки включают

влажности (T_e , T_o): необходимо учитывать воздействия термической нагрузки и нагрузки градиента влажности по толщине элемента, вдоль и между элементов для расчета воздействий, возникающих во время охлаждения и заполнения резервуара, а также в результате воздействия обычных тепловых нагрузок и нагрузок градиента влажности при нормальных условиях эксплуатации.

5.1.6 Нагрузки, связанные со строительством: необходимо учитывать нагрузки, связанные со строительными работами, такие как нагрузки от строительного оборудования, временно хранящихся материалов, временных креплений и лесов.

5.1.7 Нагрузки при испытаниях, вводе в эксплуатацию и выводе из эксплуатации – Необходимо учитывать нагрузки, связанные с испытаниями, вводом в эксплуатацию и выводом из эксплуатации. В числе прочих, к таким нагрузкам относятся следующие:

- а) нагрузки при гидростатических и пневматических испытаниях резервуаров (P_i , P_v , F_i);
- б) нагрузки при установке (например, при буксировке);
- с) термические нагрузки, возникающие во время продувки, охлаждения и заполнения резервуара;
- д) тепловые нагрузки при прогреве резервуара.

5.1.8 Нагрузки от перемещения — Необходимо учитывать нагрузки, связанные с работами по монтажу резервуара.

5.1.9 Нагрузки от усадки и ползучести: необходимо учитывать нагрузки от усадки и ползучести с учетом свойств материала, указанных в Главе 4.

5.1.10 Общие динамические нагрузки L : к общим динамическим нагрузкам относятся следующие:

- а) равномерно распределенная нагрузка на крышу R ;
- б) сосредоточенная нагрузка на крышу – необходимо учитывать минимальное значение этой нагрузки в 1000 фунтов, действующей по площади в 1 кв. фут;
- с) динамические нагрузки на элементы кессона (если применимо).

нагрузки, возникающие в результате термических градиентов переходного и установившегося режимов из-за разной скорости охлаждения бетонной стенки, закладных деталей из стали, и футеровки стенки. Нагрузки от закрепленных приспособлений, возникающие внутри стенки вокруг термической защиты угловой зоны в результате термического градиента установившегося режима между закладными деталями стенки и вторичным днищем, также относятся к этой категории нагрузок.

Необходимые данные о нагрузках от градиента влажности должны указываться в технических условиях проекта.

Нормальные термические нагрузки и нагрузки градиента влажности, возникающие в нормальных условиях эксплуатации, имеют место при хранении охлажденного сжиженного газа (ОСГ) во внутреннем резервуаре при нормальных условиях эксплуатации. Термические профили как правило выводятся по термическим расчетам всего резервуара в условиях статического и переходного режимов.

R5.1.6 Нагрузки, связанные со строительством, в том числе установка бетонной крыши, являются временными, действующими на сооружение на различных этапах строительства или в ходе выполнения особых требований при строительстве. Нагрузки, возникающие в результате преднапряжения, должны учитываться согласно п. 5.1.2.

R5.1.7 Нагрузки при испытаниях и вводе в эксплуатацию возникают во время гидростатических испытаний, пневматических испытаний, гидропневматических испытаний и охлаждения внутренней емкости.

Обвалование и стенки наружной емкости, как правило, не подвергаются воздействию этих нагрузок. Тем не менее, стенки наружной емкости в двухоболочечных системах с полной герметизацией подвергаются пневматическим испытаниям.

R5.1.8 Нагрузки от перемещения возникают в связи с такими работами, как установка морских бетонных резервуаров. В качестве примера можно привести нагрузки во время вывода из дока на плаву и буксировки. Дополнительную информацию см. в Приложении В.

R5.1.10 Общие динамические нагрузки – это нагрузки которые могут изменяться в ходе рассматриваемого режима эксплуатации. В качестве примеров можно привести:

- а) вес временного оборудования, которое может быть демонтировано;
- б) вес экипажа и расходных материалов;
- с) вес жидкостей в трубопроводах и сосудах (помимо внутренней емкости) во время эксплуатации и испытаний;
- д) вес жидкостей в резервуарах хранения и балластных цистернах;
- е) силы, действующие на конструкцию в результате операций на термине;
- ф) силы, действующие на конструкцию во время работы кранов и транспортных средств.

5.1.11 Неравномерная осадка: кратковременные и долговременные нагрузки, вызываемые неравномерной осадкой (F_s) определяются расчетным путем и применяются к резервуару как нагрузки деформации.

5.1.12 Нагрузки от воздействий окружающей среды: к нагрузкам от воздействий окружающей среды относятся:

- а) нагрузка на крышу R – принимается как минимальная и равномерно распределенная в 25 фн./кв. фт.;
- б) снеговая нагрузка – принимается согласно **ASCE/SEI 7** или с применением вероятностного подхода, при котором следует принимать средний период повторяемости события 100 лет;
- в) ветровая нагрузка W – основывается на порыве ветра длительностью 3 секунды и определяется согласно **ASCE/SEI 7** или с применением вероятностного подхода, при котором следует принимать средний период повторяемости события 100 лет;
- г) ледовая нагрузка – включает как нагрузки от льда, образовавшегося на конструкции, так и нагрузки от плавучих льдов и айсбергов;
- д) нагрузки, создаваемые колебаниями температуры и влажности окружающей среды;
- е) волны (если применимо);
- ж) течения (если применимо);
- з) подтопление (если применимо).

Действующие на сооружение нагрузки от воздействий окружающей среды (внешние нагрузки) должны учитываться как для расчетных землетрясений, если по результатам изысканий на площадке невозможно обосновать применение менее строгих требований. Одним из критериев проектирования с учетом внешних нагрузок должна быть их направленность.

5.1.13 Сейсмические нагрузки: спектры реакций грунта в горизонтальном и вертикальном направлениях должны определяться как для расчетных землетрясений, безопасных для эксплуатации (БРЗ), так и для землетрясений безопасного останова (ЗБО). Спектр БРЗ должен иметь период повторяемости 475 лет (10-процентная вероятность превышения в течение 50 лет), а спектр ЗБО должен иметь период повторяемости 2475 лет (2-процентная вероятность превышения в течение 50 лет). В США спектры БРЗ и ЗБО могут разрабатываться на основе анализа Геологической службы США или на основе вероятностного анализа сейсмической опасности для конкретной площадки. Если выполняется анализ для конкретной площадки, спектры БРЗ и ЗБО должны быть не менее 80 процентов от спектров, рассчитанных Геологической службой США и адаптированных к условиям площадки.

Спектр реакций для максимальных толчков после ЗБО ($ZBO_{псл}$) должен соответствовать половине спектра реакций ЗБО. Если надлежащая информация для расчета спектров реакций по вертикальной оси отсутствует, ордината спектров реакций по вертикальной оси должна быть не менее 2/3 от спектров реакций по горизонтальной оси. При

динамическим нагрузкам, их выделяют в отдельную категорию. Данные о равномерно распределенных нагрузках на крышу см. в п. 5.1.12.

R5.1.12 Следует отметить, что стандарты **API 620** и **650** устанавливают минимальную динамическую нагрузку на крышу в 20 фн./кв. фт. Согласно части 1 стандарта **BS EN 14620**, минимальная принимаемая динамическая нагрузка на крышу должна составлять 25 фн./кв. фт.

Следует учитывать воздействия как максимальной, так и минимальной температуры окружающей среды. В расчет следует включить температуру, при которой напряжения бетона отсутствуют. В отсутствие детальных расчетов температура должна приниматься равной 68 °F. В качестве других примеров учета температуры окружающей среды можно привести следующие:

- а) максимальная средняя сезонная температура окружающей среды;
- б) температуры фундаментной плиты с соответствующими температурами внешней окружающей среды (например, приподнятая плита);
- в) принудительная и свободная конвекция, сопоставимая с параметрами ветра и штиля;
- г) воздействие солнечного излучения.

Воздействия волн, течений, подтопления, и связанных с ними нагрузок, относящихся к конструкциям морских бетонных резервуаров, учитываются в соответствии с **Приложением В** настоящих нормативных требований.

Следует учитывать перепад давления в полностью или частично изолированном межстенном пространстве.

Согласно стандарту **ASCE/SEI 7**, для оценки имеющихся данных о ветрах в районе площадки следует применять методики статистического анализа экстремальных значений.

При оценке всех расчетных нагрузок от воздействия окружающей среды проектной группой должны учитываться также национальные нормы и необходимые местные разрешения, в которых могут предусматриваться более жесткие требования по сравнению со стандартом **ASCE/SEI 7** и периодом повторяемости 100 лет.

Несмотря на то, что сейсмические нагрузки также относятся к нагрузкам от воздействий окружающей среды, они выделены в отдельную категорию.

R5.1.13 Требования к сейсмическим расчетам, определенные в настоящем документе, соответствуют положениям о сейсмических расчетах стандарта **NFPA 59A** для двух уровней сейсмических критериев. Колебания грунта при БРЗ и ЗБО представляют собой вероятностные явления, соответствующие с периодом повторяемости 475 лет и 2475 лет. Колебания грунта при ЗБО соответствуют вероятностным колебаниям грунта при максимальном рассматриваемом землетрясении (МСЕ), как определено в стандарте **ASCE/SEI 7**. В ходе анализа конкретной площадки, для ограничения спектра реакций площадки применяются только вероятностные колебания грунта при максимальном рассматриваемом землетрясении, а не наименьшее значение вероятностных и детерминистских предельных значений согласно стандарту **ASCE/SEI 7**. Этот более консервативный подход к расчету конкретной площадки применяется в силу следующих причин:

- а) колебания грунта при максимальном рассматриваемом землетрясении в стандарте **ASCE/SEI 7** разработаны в целях проектирования зданий и иных сооружений в США, основанные

наличии надлежащей информации, соответствующее отношение должно быть менее 1/2.

колебаний грунта при максимальном рассматриваемом землетрясении может быть несовместимо с обоснованием, применяемым за пределами США;

- б) в определенных регионах и при определенных условиях, сокращение вероятностных колебаний грунта при максимальном рассматриваемом землетрясении с применением детерминистского предела снижает период повторяемости колебаний грунта при максимальном рассматриваемом землетрясении до 700 лет.

Показатель колебаний грунта БРЗ обособляется от колебаний грунта ЗБО, поскольку его не требуется указывать в виде дроби, такой как 1/2 или 2/3 от колебаний грунта ЗБО. Отношение периодов повторяемости колебаний грунта от 475 лет и 2475 лет изменяется в зависимости от региона, поэтому различные регионы мира характеризуются различными уровнями риска. Для получения единообразной оценки риска, колебания грунта БРЗ определяются как имеющие период повторяемости 475 лет во всем мире.

Толчки после землетрясения ЗБО (ЗБО_{псл}) не рассматриваются как БРЗ, а определяются как половинная интенсивность ЗБО. Это обусловлено тем, что отношение колебаний грунта БРЗ (475 лет) и ЗБО (2475 лет) различное в разных регионах, однако отношение силы последующих толчков и основных толчков должно быть примерно одинаковым во всех регионах мира. Таким образом, значение ЗБО_{псл} принимается равным половине ЗБО.

В целях предварительного расчета в США, колебания грунта при БРЗ и ЗБО могут быть получены с применением коэффициентов ускорения грунта согласно стандарту [ASCE/SEI 7](#) к колебаниям грунта к периодам повторяемости 475 и 2475 лет по данным Геологической службы США для класса площадки В (твердая горная порода, средняя скорость поперечных волн $V_s = 2500$ фт./с в верхнем слое грунта толщиной 100 футов). В целях окончательного расчета необходимо получить ускорения грунта по результатам динамического расчета конкретной площадки ([Schnabel et. al 1972](#)).

В целях предварительного расчета за пределами территории США, пиковые ускорения грунта, рассчитываемые в рамках программы расчета общей сейсмической опасности (Global Seismic Hazard Analysis Program – GSHAP) могут быть приняты как ускорения БРЗ для площадок со скальным грунтом. Принятые значения должны быть надлежащим образом скорректированы для условий других площадок (типов грунта) и преобразованы в ускорения спектров реакций с применением надлежащих методов специалистом по инженерной геологии. Для окончательного расчета, БРЗ и ЗБО определяются по данным вероятностного анализа сейсмических опасностей на площадке и по динамическим реакциям площадки.

5.1.14 Взрывные и ударные воздействия (V , M_i): должны учитываться как внешние, так и внутренние нагрузки, если это требуется техническими условиями проекта. В их число должны входить:

- а) взрывные и иные нагрузки волн давления;
- б) ударные нагрузки;
- в) нагрузки от транспортных средств (или иных не летающих объектов);
- г) ударные воздействия объектов, несомых ветром.

5.1.15 Термические нагрузки и нагрузки градиента влажности в условиях разлива: воздействие термической нагрузки и нагрузки градиента влажности при различных условиях разлива распространяется на всю толщину элемента с учетом воздействий по оси элемента и между

R5.1.14 В число локальных ударных воздействий могут входить проникновение, пробой, откалывание и срез при продавливании. См. [Приложение В](#), где приведена информация по нагрузкам при ударах судов.

R5.1.15 Определение нагрузки градиента влажности, необходимое для расчета конструкции, должно быть указано в технических условиях проекта.

элементами. Эти условия перечислены ниже:

- a) краткосрочные (то есть вся переходная стадия);
- b) долгосрочные (то есть вся установившаяся стадия).

5.1.16 Пожар Н: воздействия внешнего и внутреннего пожара должны учитываться согласно требованиям проекта и нормативным требованиям.

5.1.17 Прочие опасности: необходимо учитывать нагрузки, возникающие в результате прочих опасностей, определенных в ходе оценки факторов риска.

5.2 – Режимы нагружения

5.2.1 Типы

5.2.1.1 Нормальные режимы нагружения: указанные ниже нагрузки должны рассматриваться как нормальные режимы нагружения:

- a) статические нагрузки D
- b) нагрузки преднапряжения P_f, P_i
- c) давление продукта на внутренний резервуар, F
- d) наружное давление
- e) нормальные термическая нагрузка и нагрузка градиента влажности при эксплуатационных условиях, T_e, T_o
- f) нагрузки при строительстве, испытаниях, вводе в эксплуатацию и выводе из эксплуатации
- g) нагрузки в результате усадки T
- h) общие динамические нагрузки L
- i) нагрузки от неравномерной осадки T
- j) нагрузки от воздействий окружающей среды
- k) нагрузки на площадке, в том числе частичные снеговые нагрузки, ледовые нагрузки или те и другие.

5.2.1.2 Аномальные режимы нагружения: следующие режимы нагружения должны рассматриваться как аномальные:

- a) Сейсмические нагрузки E_o, E_s
- b) Вторичное средство локализации должно рассчитываться на предотвращение утечки продукта, вытекшего в наружную емкость. Высота наружной емкости должна быть достаточной, чтобы вместить весь объем жидкости внутренней. Должны учитываться все различные варианты разлива продукта в наружную емкость, в том числе:
 - i. постепенное вытекание продукта из внутреннего резервуара в межстенное кольцевое пространство;
 - ii. термические градиенты и термические нагрузки в установившемся и переходном режимах при разливе продукта в наружную емкость;
 - iii. переполнение внутреннего резервуара, P_e
- c) Внешние взрывные и ударные нагрузки, B, M_i
- d) Пожар H
- e) Аномальные нагрузки на площадке, выявленные в ходе оценки рисков проекта.

5.2.2 Сочетания нагрузок для бетонной конструкции: должны учитываться сочетания нагрузок, возникающие на

R5.1.16 Следует учитывать воздействия внешнего пожара, воздействия внутреннего пожара, и пожара в стояке сброса давления (выпускной трубе). Режимы пожара и результирующие тепловые потоки определяются путем количественного анализа рисков (QRA). Внешние пожары могут быть результатом пожара на соседнем резервуаре, пожара в пределах обвалования, или пожаров технологического оборудования.

R5.2 – Режимы нагружения

R5.2.1.2 Необходимо предусмотреть несколько независимых систем регулирования уровня жидкости с устройствами сигнализации и останова. Расположение устройств сигнализации и расстояние между ними определяются на основании оценки условий эксплуатации и требуемого интервала времени между срабатыванием устройств сигнализации. После сигнализации останова, должна быть обеспечена достаточная свободная высота над уровнем жидкости, чтобы уровень жидкости не превысил максимальный допустимый уровень.

Разливы продукта в наружную емкость могут изменяться от малых до значительных. К малым разливам относятся, как правило, разливы, при которых результирующие уровни жидкости не поднимаются выше верха термической защиты угловой зоны. Таким образом, бетонная стенка и основание, как правило, не подвергаются воздействию значительных термических градиентов в результате разлива. К значительным разливам относятся те разливы, при которых результирующие уровни жидкости находятся выше верха термической защиты угловой зоны. Таким образом, бетонная стенка подвергается воздействию значительных термических градиентов как в установившемся, так и в переходном режимах. Если применяется несколько независимых устройств регулирования уровня жидкости, возможность переполнения можно не рассматривать.

Данные для морского сооружения см. в **Приложении В**, где приведены указания относительно аномальных режимов нагружения.

R5.2.2 В табл. 5.2.2 приведены варианты сочетания нагрузок. В каждом столбце перечислены нагрузки,

всех этапах строительства и всего срока эксплуатации конструкции. К ним относятся:

возникающие на определенном этапе или при определенном событии в ходе эксплуатации конструкции, такие как:

Таблица 5.2.2. Сочетания нагрузок на бетонную конструкцию

Режимы нагружения		Нормальные режимы нагружения				Аномальные режимы нагружения					
Виды нагрузок		Строительство	Монтаж	Испытания и ввод в эксплуат.	Эксплуатация	Разлив	Землетрясение			Взрыв и удар	Пожар
							Разлив + ЗБО _{псл}	БРЗ	ЗБО		
Статические нагрузки		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Нагрузки предв. напр.	Общие	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	В местах анкеровки	X	X	X	X						
Давление продукта	Пары/газ/вакуум			X (наружная емкость)*	X (наружная емкость)*	X (наружная емкость)*	X (наружная емкость)	X (наружная емкость)	X (наружная емкость)	X (наружная емкость)	
	Жидкость			X (внутренняя емкость)	X (внутренняя емкость)	X (наружная емкость)	X (наружная емкость)	X (внутренняя емкость)	X (внутренняя емкость)	X (внутренняя емкость)	X (внутренняя емкость)
Термическая и (или) от влажности	Нормальные	X	X	X	X			X	X	X	
	Разлив					X	X				
	Пожар										X
При строительстве и вводе в эксплуатацию	При строительстве и эксплуатации	X									
	При монтаже		X								
	При строительстве и испытаниях резервуара			X							
	Термические, при охлаждении и заполнении резервуара				X						
Усадка		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ползучесть		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Общие динамические нагрузки		X	X	X	X			X	X	X	
Неравномерная осадка		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Внешняя ветровая		X	X	X	X						
Внешняя прочие		X	X	X	X						
Сейсмические	РЗБО							X			
	ЗБО					X			X		
Взрыв и удар										X	
Пожар											X

*Также относится к первичному средству локализации в системе резервуара с одной стенкой

- a) Нормальные режимы нагружения
 - i. режимы нагружения, связанные со строительством;
 - ii. режимы нагружения, связанные с монтажом, в том числе с порядком строительства и пост-напряжения бетона
 - iii. Режимы нагружения, связанные с испытаниями и вводом в эксплуатацию
 - iv. режимы нагружения, связанные с эксплуатацией;
 - v. нагрузки при выводе из эксплуатации
- b) Аномальные режимы нагружения
 - i. режимы нагружения, связанные с разливами;
 - ii. режимы нагружения, связанные с землетрясениями;
 - iii. режимы нагружения, связанные с взрывами и ударными воздействиями;
 - iv. режимы нагружения, связанные с пожарами.

Помимо нагрузок при выводе из эксплуатации, типы расчетных нагрузок, подлежащие рассмотрению в составе каждого сочетания нагрузок, приведены в табл. 5.2.2. Следует учитывать порядок строительства и порядок пост-напряжения бетона.

Эксплуатация

сочетание нагрузок = $D + P_f$ + давление (жидкость + пары) + нормальная термическая и от влажности + усадка + ползучесть + L + осадка + окружающая среда (ветер и снег)

Следует отметить, что нормальная термическая нагрузка представляет собой градиент температур между внутренней и внешней поверхностями бетонной стенки. При охлаждении резервуара, они заменяются переходными условиями температуры и влажности при охлаждении.

Аномальные

$D + P_f$ + давление (жидкость + пары) + усадка + ползучесть + L + осадка + нормальная термическая и от влажности + сейсмическая

или + термическая и от влажности при разливе

или + термическая и от влажности при пожаре

Коэффициенты надежности по нагрузке определены в п. 5.2.

ГЛАВА 6 – МИНИМАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

6.1 – Общие положения

Расчет внутренних и наружных бетонных емкостей должен выполняться в соответствии с действующими требованиями стандарта **ACI 350**, по минимальным критериям функциональной эффективности, определенным в п.п. **6.2 – 6.5**, и требованиям к материалам, определенным в п.п. **6.6 – 6.9** настоящих нормативных требований.

R6.1 – Общие положения

В данной главе приводятся обязательные требования к эксплуатационным характеристикам емкости при указанных режимах нагружения, определенных в п.п. **6.2 – 6.5**, и требования к материалам, которые планируется использовать для строительства резервуара, определенным в п.п. **6.6 – 6.9**. Также указываются требования к допустимым напряжениям и деформациям, максимальные допустимые повреждения, или минимальные требования к эксплуатационной пригодности.

В общем, эти требования разделены на требования к прочности и требования к эксплуатационной пригодности.

Следует учитывать следующие возможные механизмы разрушения:

- a) потеря общего равновесия;
- b) разрушение ответственных сечений;
- c) потеря устойчивости, приводящая к значительным деформациям;
- d) значительные пластические деформации или деформации ползучести.

В соответствии с требованиями к эксплуатационной пригодности могут рассматриваться следующие воздействия и их влияние на эксплуатационную пригодность конструкции:

- a) растрескивание и выкрашивание;
- b) деформации;
- c) коррозия арматуры или ухудшение свойств бетона;
- d) вибрации;
- e) утечки.

Минимальные требования к эксплуатационной пригодности включают следующие:

- a) максимальное допустимое напряжение сжатия во время преднапряжения;
- b) минимальное остаточное напряжение сжатия (в кольцевом и вертикальном направлениях) при рабочих нагрузках и нагрузках, связанных с экстремальными событиями;
- c) максимальная глубина трещин, возникающих в результате аварийных разливов;
- d) максимальные сейсмические напряжения, возникающие в результате расчетного землетрясения, безопасного для эксплуатации (БРЗ), или землетрясения безопасного останова (ЗБО) (см. стандарт **NFPA 59A**, раздел 7.2.2)
- e) минимальные требования к эксплуатационной пригодности во время эксплуатации и следующих событий БРЗ или ЗБО (см. стандарт **NFPA 59A**, раздел 7.2.2)

При расчете и монтаже резервуаров из преднапряженного железобетона необходимо соблюдать действующие рекомендации, указанные в стандартах **ACI 372R** и **ACI 373R**.

6.2 – Внутренняя бетонная емкость

6.2.1 При эксплуатации внутренней бетонной емкости должны соблюдаться минимальные критерии функциональной эффективности, указанные в п.п. **6.2.2 – 6.2.16**.

R6.2 – Внутренняя бетонная емкость

6.2.2 Внутренняя емкость должна оставаться непроницаемой для жидкости в условиях:

- Гидравлических испытаний
- Эксплуатационных нагрузок
- Эксплуатационных нагрузок в сочетании с нагрузками от расчетного землетрясения, безопасного для эксплуатации (БРЗ).

6.2.3 За исключением случаев, когда применяется непроницаемая мембрана или футеровка, минимальные требования к непроницаемости бетонной стенки и бетонного основания для жидкости определяются следующим образом:

- В порожнем состоянии и в условиях эксплуатации, чистая результирующая сила в сечении должна представлять собой сжатие.
- В порожнем состоянии, в условиях эксплуатации, а также в условиях эксплуатации в сочетании с БРЗ, должна поддерживаться зона сжатия толщиной 50 процентов от толщины сечения или 8 дюймов, в зависимости от того, какая из этих величин больше, как в вертикальном, так и в кольцевом направлениях.
- Если непроницаемость для жидкости при заданных условиях не подтверждена с применением иных методов, в зоне сжатия должно поддерживаться минимальное остаточное среднее напряжение сжатия величиной 145 фн./кв. дюйм в вертикальном и кольцевом направлениях.

6.2.4 Прочность бетона на растяжение не должна применяться при расчете размеров нерастрескавшей зоны, за исключением случаев, когда это обосновано.

R6.2.3 Требования к непроницаемости для жидкости распространяются на порожнее состояние, условия эксплуатации и БРЗ.

R6.2.4 Перед тем, как включить прочность бетона на растяжение в расчет размеров нерастрескавшей зоны в условиях воздействия нагрузки землетрясения безопасного останова (ЗБО), следует учесть различные сочетания нагрузок, чтобы определить произошло ли растрескивание сечения до возникновения нагрузки. Следует учитывать следующие предварительные нагрузки:

- предварительное напряжение;
- термические напряжения в переходном и установившемся режимах;
- охлаждение;
- гидравлические испытания;
- нормальная эксплуатация;
- ползучесть и усадка бетона;
- БРЗ.

6.2.5 Внутренняя емкость должна сохранять непроницаемость в случае событий ЗБО и ЗБО_{псл}

6.2.6 Чтобы обеспечить герметичность бетонной стенки или бетонного основания без непроницаемой мембраны или футеровки, часть бетона должна оставаться в сжатом состоянии во время и после событий ЗБО и ЗБО_{псл}. Толщина сжатой зоны бетона должна составлять не менее 25 процентов от толщины сечения или 4 дюйма, в зависимости от того, какая из этих величин больше.

6.2.7 При расчете бетонных компонентов для нормальных условий нагружения следует применять свойства материалов при температуре окружающей среды.

6.2.8 При расчетных нагрузках сжимающее напряжение в бетоне при передаче максимального преднапряжения не должно превышать $0,55f_{ci}$.

6.2.9 При нормальных условиях и исходя из свойств нерастрескавшегося сечения, максимальное напряжение в бетоне при рабочих нагрузках не должно превышать следующих величин:

- а) экстремальное напряжение сжатия волокон, возникающее в результате преднапряжения, плюс длительная нагрузка: $0,45f_c'$
- б) экстремальное напряжение сжатия волокон, возникающее в результате преднапряжения, плюс общая нагрузка: $0,6f_c'$
- с) экстремальное напряжение растяжения волокон в предварительно сжатой зоне растяжения: $6(f_c')^{1/2}$

6.2.10 При аномальных условиях БРЗ, максимальное напряжение бетона (исходя из свойств нерастрескавшегося сечения и с учетом прибавок на все потери преднапряжения), возникающее в результате преднапряжения, плюс общей нагрузки, не должна превышать линейную зону пластической деформации кривой напряжение-деформация, приведенной в п. 6.2.11.

- а) Экстремальное напряжение сжатия волокон, возникающее в результате преднапряжения, плюс общая нагрузка: $0,85f_c'$
- б) Экстремальное напряжение растяжения волокон в предварительно сжатой зоне растяжения: $7,5(f_c')^{1/2}$

6.2.11 За исключением случаев, когда предельное напряжение пластической деформации бетона определено с применением иных методов, в качестве предельного уровня линейной пластической деформации должен приниматься уровень напряжения бетона $0,85f_c'$.

6.2.12 Следует учитывать воздействия ограниченной деформации.

6.2.13 Следует применять коэффициенты термического расширения бетона и стали при криогенных температурах.

6.2.14 Коэффициент термического сжатия бетонной конструкции необходимо подтвердить путем испытания фактически используемой смеси в диапазоне рабочих температур, за исключением случаев, когда имеются данные о ранее проведенных испытаниях этого свойства.

6.2.15 Расчет внутренней емкости должен выполняться согласно следующим требованиям:

- а) непроницаемость для жидкости и критерии непроницаемости, приведенные в п. 6.2.1;
- б) достаточное сопротивление трения или анкеровка для предотвращения скольжения во время сейсмических событий, в соответствии с требованиями п. 10.3.4;
- с) должна быть обеспечена достаточная свободная высота стенки резервуара с учетом колебаний поверхности жидкости во время событий БРЗ и ЗБО;
- д) напряжения растяжения арматуры первичного компонента, не подвергавшегося преднапряжению, не должны превышать допустимые значения, указанные в п. 4.7.2.

R6.2.15 Сопротивление скольжению определяется сопротивлением трения между внутренней емкостью, теплоизоляцией днища, и плитой основания наружной емкости. Скольжение также может предотвращаться путем анкеровки внутренней емкости. Требование предотвращения скольжения емкости при сейсмических нагрузках косвенно подразумевает запас прочности выше 1,0 при любом заданном сейсмическом событии.

Если не предусмотрено требованиями проекта, для расчета свободной высоты стенки резервуара необходимо учитывать следующие указания:

- а) высота колебаний поверхности жидкости, возникающих при БРЗ, плюс 1 фут;
- б) высота колебаний поверхности жидкости, возникающих при ЗБО.

Для внутренней емкости следует использовать большее значение свободной высоты стенки резервуара.

6.2.16 Если определено заказчиком резервуара или иными нормативными требованиями, следует применять усталостные критерии функциональной эффективности, указанные в **Приложении С**.

R6.2.16 Усталость бетона внутренней бетонной емкости для охлажденного сжиженного газа (ОСГ) или сжиженного природного газа (СПГ) как правило не вызывает опасений, однако на нее могут влиять условия на площадке и режимы эксплуатации. Перед комплексной оценкой усталостных напряжений можно выполнить предварительную оценку или упрощенную проверку усталостных напряжений. Устойчивость к усталостному разрушению считается достаточной, если по результатам предварительной оценки напряжения и диапазоны напряжений в бетоне, арматуре и напрягаемых арматурных пучках соответствуют требуемым параметрам, указанным в **Приложении С**.

Усталость наружной бетонной емкости (см. п. **6.3**) как правило не вызывает опасений и не проверяется, если этого не требует проектировщик.

6.3 – Наружная бетонная емкость

6.3.1 В случае разлива бетон выше границы термической защиты угловой зоны должен оставаться непроницаемым для жидкости, с учетом минимальной глубины сжатия и предварительного сжатия, как определено в п. 6.3.2. Такие же требования к непроницаемости для жидкости при разливе также распространяются на следующие элементы резервуара:

- стенка над термической защитой угловой зоны, которая может соприкасаться с разлитой жидкостью, когда предусмотрена система термической защиты угловой зоны и вторичное днище;
- плита основания и стенка, которая может соприкасаться с разлитой жидкостью, в случае, когда система термической защиты угловой зоны и вторичное днище не предусмотрены.

6.3.2 Для обеспечения непроницаемости для жидкости при разливе продукта из наружной бетонной емкости, не оснащенной непроницаемой мембраной или футеровкой, минимальная часть бетона должна оставаться в состоянии сжатия в соответствии со следующими требованиями:

- наличие зоны сжатия толщиной 10 процентов от толщины сечения или 3,5 дюйма, в зависимости от того, какая из этих величин больше;
- поддержание в зоне сжатия минимального среднего напряжения сжатия величиной 145 фн./кв. дюйм

6.3.3 Расчетная ширина раскрытия трещины должна учитываться при закладке элементов термической защиты угловой зоны, когда растрескивание приводит к проникновению жидкого продукта за пределы термической защиты угловой зоны и ставит под угрозу ее эффективность. Глубина зоны закладки должна быть не менее двух толщин стенки, при этом она должна находиться над анкеровой термической защиты угловой зоны. Расчетная ширина раскрытия трещин в пределах зоны закладки термической защиты угловой зоны не должна превышать 0,008 дюйма. Рекомендации по расчету ширины раскрытия трещин приведены в п. **8.1.1.8**.

6.3.4 При любых условиях, в том числе при разливе, землетрясении безопасного останова (ЗБО) и ЗБО_{пл} в сочетании с разливом, конструкция стенки должна сохранять целостность.

6.3.5 Вторичные средства локализации из бетона рассчитываются на условия ЗБО_{пл} с полным объемом разлитого продукта.

6.3.6 Следует обеспечить достаточные силы преднапряжения и арматуру для предотвращения растрескивания бетона по всей толщине во время ЗБО_{пл}.

R6.3 – Наружная бетонная емкость

R6.3.3 При расчете зоны закладки необходимо использовать полные данные о динамике температуры во времени. Часто определяющая расчетная нагрузка может возникать в различных точках временного графика из-за разных термических свойств стали закладных элементов термической защиты угловой зоны и бетонной стенки.

R6.3.4 Считается, что конструкция сохраняет целостность, если не происходит разлива жидкости и разрушения конструкции.

6.3.7 Арматура, не подвергавшаяся предварительному напряжению, в том числе листовая сталь, применяемая в сочетании с бетоном, должна соответствовать требованиям п. 4.7.1.

6.3.8 Напряжения растяжения в арматуре, не подвергавшейся предварительному напряжению, при рабочих температурах ниже 0 °F должны соответствовать требованиям, определенным в п. 4.7.2.

6.3.9 Наружная емкость не должна разрушаться при расчетном землетрясении, безопасном для эксплуатации (БРЗ) и ЗБО в порожнем состоянии.

6.3.10 Напряжения в бетоне после передачи преднапряжения (до потерь преднапряжения со временем) не должны превышать $0,55f_{ci}$.

6.3.11 При нормальных условиях максимальное сжатие бетона не должно превышать:

- a) $0,45f_{ci}$, от преднапряжения, плюс длительная нагрузка;
- b) $0,6f_{ci}$, от преднапряжения, плюс полная нагрузка.

6.3.12 Напряжения растяжения в преднапряженной стали не должны превышать допустимые напряжения в ACI 350.

6.3.13 При нормальной расчетной нагрузке, за исключением ветровой, расчетная ширина раскрытия трещин в стенке и плите основания не должна превышать 0,012 дюйма.

6.3.14 Воздействие потерь тепла через днище, которые возникают при нормальных условиях эксплуатации и создают непосредственное натяжение в центральной части основания, должны учитываться при определении расчетной ширины раскрытия трещин.

6.3.15 В случае двухболочных резервуаров с полной герметизацией, проникновение паров и влаги сквозь внутреннюю емкость при нормальных условиях эксплуатации должно предотвращаться путем применения непроницаемого барьера.

6.3.15.1 Если в качестве непроницаемого барьера применяется металлическая футеровка, она считается непроницаемой, если соответствует требованиям, изложенным в п.п. 4.8 и 4.13.

6.3.15.2 Материал футеровки должен выдерживать условия эксплуатации без долгосрочных негативных воздействий.

6.3.16 Неметаллическая футеровка

6.3.16.1 Методы, выбранные для предотвращения проникновения паров и влаги сквозь наружную емкость, согласовываются с инженером.

6.3.16.2 Неметаллическая футеровка считается непроницаемой, если система барьера, в том числе стыки барьера, отвечают требованиям, изложенным в п. 6.8.2.

R6.3.7 Железобетон является неоднородным материалом, и элементы арматуры представляют собой отдельные изделия. Трещина в одном элементе приводит к перераспределению нагрузки на соседние элементы без распространения разрушения на эти элементы.

R6.3.10 Дополнительная информация приведена в стандартах ACI 372R и ACI 373R.

R6.3.15 При нормальных условиях эксплуатации паро- и влагонепроницаемый барьер обеспечивает защиту теплоизоляции, которая обычно укладывается в межстенное пространство между первичным и вторичным средством локализации. Паро- и влагонепроницаемый барьер может обеспечиваться путем применения металлической футеровки или полимерных покрытий.

R6.3.16.2 Изолирующая способность футеровки зависит от скорости деформации нагружения и температуры. Во время БРЗ паронепроницаемый барьер может испытывать деформации растяжения, интенсивность которых определяется интенсивностью раскрытия трещин. Паронепроницаемый барьер должен оставаться работоспособным после события БРЗ.

6.4 – Критерии функциональной эффективности крыши

При нормальных условиях эксплуатации расчетная ширина раскрытия трещин не должна превышать 0,012 дюйма. Для переходных условий, характерных для таких ситуаций как избыточное давление или сейсмические явления, расчет ведется по предельным нагрузкам.

6.5 – Прочие критерии функциональной эффективности

6.5.1 В некоторых случаях, в рамках оценки рисков и факторов опасностей необходимо указывать рабочие характеристики при нагрузках, возникающих в результате таких опасных факторов как взрыв или иные нагрузки ударных волн взрыва, физического удара или пожара.

R6.5 – Прочие критерии функциональной эффективности

R6.5.1 Эксплуатационные характеристики при воздействии взрыва или иной нагрузки ударных волн взрыва, физического удара или пожара должны определяться в рамках оценки риска. Известно, что бетон устойчив к воздействиям высоких температур, связанных с целлюлозными пожарами, однако следует принимать определенные меры предосторожности для предотвращения обширного выкрашивания или растрескивания бетона в случае возгорания углеводородов.

Должна быть предусмотрена защита анкеров преднапряжения. При повышенных температурах необходимо оценивать остаточную прочность бетонной стенки, чтобы убедиться в том, что не произойдет ее обрушение, если она должна сохранять целостность конструкции и удерживать содержащуюся жидкость. Для стенок резервуара из преднапряженного железобетона, подвергающихся воздействию пожара, наиболее критичным фактором обычно является интенсивность повышения температуры на охваченной пожаром поверхности. В тех случаях, когда возможно обширное выкрашивание, следует рассмотреть возможность использования вспучивающихся огнестойких покрытий или разрушаемого слоя арматурной сетки.

Следует проверить термические свойства скользящих соединений между стенкой и основанием. В тех случаях, когда применяется плита на опорах, должна быть также проверена несущая способность опор основания резервуара, подвергающегося воздействию теплового излучения. При расчете необходимо учитывать потери прочности всех материалов, подвергающихся воздействию высоких температур.

6.6. – Качество бетона

Бетон представляет собой смесь портландцемента или любого другого гидравлического цемента или дополнительного связующего, мелкозернистого и крупнозернистого заполнителя и воды с включением или без включения добавок.

6.6.1 Бетон для строительства сооружений, рассматриваемых в настоящих нормативных требованиях, должен иметь нормативную 28-суточную прочность на сжатие не менее 5000 фн./кв.дюйм для конструкций, содержащих жидкости, и 4000 фн./кв.дюйм для других железобетонных конструкций. Прочность на сжатие определяется путем испытаний цилиндрических образцов при температуре окружающей среды в соответствии со стандартом **ASTM C39** и п. **6.6.5.6**.

R6.6. – Качество бетона

R6.6.1 Бетонный раствор должен обладать пониженным водосодержанием для минимизации внутреннего промерзания и, следовательно, внутреннего растрескивания. Для противодействия циклам промерзания-оттаивания допускается использование водозащитных добавок.

Как минимум, указанный бетон проверяется на следующие характеристики:

- а) прочность на сжатие в установленном проектировщиком возрасте и в условиях, аналогичных условиям на рабочей площадке;
- б) модуль упругости E_c (репрезентативные значения при внешней и криогенной температуре);
- в) коэффициент теплового расширения α_c (среднее значение для предполагаемого температурного диапазона).

Известные высокие прочностные свойства бетона при низких температурах в расчетах обычно не используются (за исключением пониженного коэффициента теплового расширения).

6.6.2 Максимальное водоцементное отношение (w/cm) должно составлять 0,45.

6.6.3 Бетон должен отвечать требованиям стандарта **ACI 350** в отношении компонентов, испытаний, долговечности, качества, смешивания и укладки.

6.6.4 Бетон должен иметь следующие свойства:

- a) проницаемость – в соответствии с п. **6.6.5.8**;
- b) огнестойкость – в соответствии с п. **6.6.5.10**;
- c) криогенное поведение – в соответствии с п. 6.6.5;
- d) долговечность – в соответствии с п. **6.6.5.9**.

6.6.5 *Поведение бетона в криогенных условиях:* поведение бетона при криогенной температуре включается в процесс определения характеристик и целостности конструкции.

6.6.5.1 *Влагосодержание бетона:* предполагаемое влагосодержание бетона включается в процесс оценки теплопроводности, температурной деформации, проницаемости, удельной теплоемкости, миграции влаги и риска воздействия циклов промерзания-оттаивания.

R6.6.5 Значения свойств материалов в пп. **R6.6.5.3**, **R6.6.5.5** и **R6.6.5.7** являются типовыми и приведены в справочных целях. Инженер может использовать другие значения, если они подтверждаются результатами испытаний конкретной бетонной смеси или данными предыдущих испытаний. (дополнительную информацию о поведении в криогенных условиях см. в публикациях Marshall [1982], Krstulovic-Opara [2005, 2007], Hanaor and Sullivan [1983], Hanaor [1982], FIP [1982a, 1988], Elices and Sleigh [1978], Closner and Legatos [1978], Bruggeling [1978], Bamforth [1984], Bamforth et al. [1983], Whiteley et al. [1981], Rostasy [1988], Rostasy and Wiedemann [1981], Tarakada et al. [1981], Planas et al. [1978], Trotter et al. [1975], Suehiro and Nitta [1979], Rostasy and Wiedemann [1979, 1980], Lentz and Monfore [1966], Kasami et al. [1981] and Doi et al. [1974]).

R6.6.5.1 Влагосодержание оказывает значительное влияние на свойства бетона в криогенных условиях. Расширяющаяся при замерзании вода способна ухудшить прочностные характеристики насыщенного бетона. Вместе с тем, в условиях низких температур многие свойства влажного бетона, такие как прочность, жесткость, проницаемость и миграция влаги, могут улучшаться. Если это не специально не указано, такие улучшающиеся свойства обычно не используются в расчетах и пренебрегаются стандартной отраслевой практикой по следующим причинам: a) в расчетах обычно руководствуются свойствами бетона при комнатной температуре; b) исключение улучшенных характеристик делает анализ консервативным, поскольку влагосодержание бетона является крайне переменной величиной и может варьировать в зависимости от таких факторов, как возраст бетона и условия окружающей среды.

Перепады температур в бетонных элементах вызывают миграцию водяных паров к более холодным участкам, что может привести к скапливанию воды в теплоизоляции при отсутствии футеровки или образованию ледяных линз за футеровкой.

6.6.5.2 Температурные деформации: используемое в расчетах значение коэффициента теплового расширения/сжатия бетона должно соответствовать предполагаемому эксплуатационному диапазону температуры и влагосодержания.

6.6.5.3 Теплопроводность и удельная теплоемкость: влияние влаги на теплопроводность K и удельную теплоемкость c бетона включается в расчеты опасных и других переходных условий, следствием которых является создание термических напряжений.

6.6.5.4 Ползучесть бетона и усадка при высыхании: ползучесть бетона и его усадка при высыхании оценивается на основе наиболее вероятных значений этих параметров при эксплуатации. В расчетах используется значение коэффициента ползучести для температуры окружающей среды, установленное согласно методике **ASTM C512**.

R6.6.5.2 В температурном диапазоне примерно до -5°F заметного изменения коэффициента теплового расширения/сжатия бетона α не наблюдается. В температурном диапазоне от -5 до -100°F во влажном бетоне происходит увеличение доли замерзающей поровой воды, которая расширяется и усиливает температурную деформацию бетона. Снижение температуры с -100 примерно до -330°F сопровождается ростом коэффициента теплового расширения (**Rostasy and Wiedemann 1981; Krstulovic-Opara 2005, 2007; Hirth 1982**).

Коэффициент теплового расширения/сжатия бетона в значительной степени зависит от используемого типа крупнозернистого заполнителя и влагосодержания бетона. В целях определения этого коэффициента, влагосодержания и температурного диапазона для конкретной бетонной смеси при отсутствии достаточно надежных данных может потребоваться проведение испытаний.

Метод определения коэффициента теплового расширения/сжатия на образцах бетона приведен в стандарте **CRD-C 39-81**. Его можно модифицировать для применения при низких температурах путем хранения образцов в подходящих холодных местах.

R6.6.5.3 Некоторые опасные и другие переходные условия приводят к возникновению термоиндуцированных напряжений, которые необходимо учитывать в расчетах. Такие условия включают охлаждение, возгорание внутри резервуара, возгорание в соседнем резервуаре, разлив жидкости и гидравлические испытания. Для этого расчеты должны выполняться с использованием реалистичных значений теплопроводности K и удельной теплоемкости c . Влияние влажности на теплопроводность и удельную теплоемкость пропорционально влагосодержанию бетона. Снижение температуры сопровождается линейным повышением теплопроводности и уменьшением удельной теплоемкости бетона.

Теплопроводность влажного обычного бетона повышается примерно с $1,85 \text{ БТЕ}\cdot\text{ф}\cdot\text{т}/(\text{ч}\cdot\text{ф}\cdot\text{т}^2\cdot^{\circ}\text{F})$ при температуре 77°F приблизительно до $2,72 \text{ БТЕ}\cdot\text{ф}\cdot\text{т}/(\text{ч}\cdot\text{ф}\cdot\text{т}^2\cdot^{\circ}\text{F})$ при температуре -247°F .

Удельная теплоемкость обычного бетона при окружающей температуре находится, как правило, в диапазоне $0,20\text{--}0,28 \text{ БТЕ}/\text{фн}\cdot^{\circ}\text{F}$. Удельную теплоемкость можно определить элементарными физическими методами в соответствии со стандартом **ASTM D4611**. Объем информации по удельной теплоемкости при низких температурах ограничен (**Hirth 1982**).

R6.6.5.4 Для оценки ползучести и усадки при высыхании применяются наиболее вероятные, а не максимальные значения переменных. Анализ влияния этих характеристик проводится согласно стандартам **ACI 209R** и **ACI 209.1R**. Ползучесть бетона снижается по мере снижения температуры приблизительно в той же пропорции, в какой упругая деформация снижается с уменьшением температуры. Ползучесть обычного бетона при -22°F обычно составляет половину этого значения при температуре окружающей среды (**FIP 1981**). Расчет ползучести и усадки при высыхании при температуре окружающей среды, как правило, считается консервативным подходом.

6.6.5.5 Модуль упругости: используемое значение модуля упругости бетона E_c должно соответствовать указаниям в разд. 8.5 стандарта **ACI 350**. В расчетах для бетонов, не являющихся обычными, легкими или тяжелыми, должен применяться модуль упругости для температуры окружающей среды, установленный по методике **ASTM C469** (за исключением условий, в которых заниженное значение модуля упругости негативно сказывается на конструктивных свойствах). Если повышенный модуль упругости влияет на напряжения, в расчетах используется наибольшее значение жесткости.

6.6.5.6 Прочность: значения прочности бетона на сжатие f'_c и растяжение f'_t , используемые в расчетах, должны основываться на температуре окружающей среды согласно методикам **ASTM C39** и **ASTM C496**, соответственно.

6.6.5.7 Коэффициент Пуассона: при расчете бетонных элементов необходимо учитывать влияние коэффициента Пуассона μ при температуре окружающей среды. Этот параметр (μ) определяется на основе наиболее вероятного рабочего значения.

При расчете бетонных элементов необходимо учитывать влияние коэффициента Пуассона, определенного при температуре окружающей среды согласно методике **ASTM C469**.

6.6.5.8 Проницаемость: расчет бетона для внутренних емкостей выполняется с использованием собственной проницаемости k по криогенным средам, не превышающей 10^{-18} м² (если расчетом сооружения не была подтверждена приемлемость более высокого значения или необходимость в меньшем значении).

R6.6.5.5 К легким и обычным бетонам относятся бетоны с удельным весом 90-150 фн./фт³. Модуль упругости влажного бетона увеличивается со снижением температуры, хотя для высушенного в печи бетона этот эффект менее выражен.

Использование конкретных значений температуры окружающей среды как правило является консервативным. Однако эти значения могут не обеспечить желаемую степень консервативности для криогенных температур во всех расчетных условиях, и в таких случаях следует использовать криогенные характеристики.

Модуль упругости обычного влажного бетона при снижении температуры с 77 до -310 °F увеличивается примерно на 50-75%.

R6.6.5.6 Прочность влажного бетона на сжатие и растяжение увеличивается со снижением температуры, при этом прочность бетона, высушенного в печи, при низких температурах увеличивается в меньшей степени. Использование в расчетах значений температуры окружающей среды дает консервативную оценку.

Прочность на сжатие и растяжение высушенного на воздухе обычного бетона повышается примерно на 10% (при снижении температуры с 75 до -250 °F), а соответствующее увеличение для влажного бетона может достигать приблизительно 300% (**FIP 1982a**).

Кроме того, бетон в криогенных условиях часто подвергается воздействию растягивающих напряжений, возникающих в результате ограниченного теплового сжатия, что может свести на нет положительный эффект увеличенной прочности на растяжение.

R6.6.5.7 Значения μ значительно варьируют в зависимости от влагосодержания, прочности бетона и типа заполнителя (**FIP 1982b**; **ACI 209R**). В расчетах следует использовать его наиболее вероятные, а не максимальные значения.

Имеющиеся ограниченные данные показывают, что величина μ для обычного бетона при снижении температуры с 68 до -265 °F может возрасти примерно с 0,17 до 0,22.

R6.6.5.8 Для бетонных компонентов, газо- и влагопроницаемость которых должна быть ограничена, требуется заблаговременное определение проницаемости используемого в них бетона.

Собственная проницаемость является составляющей гидропроводности и представляет собой свойства только пористой матрицы, а не текучей среды.

Для определения собственной проницаемости можно использовать методы, рассматриваемые в работе **Hanaor (1982)**. Коэффициент гидропроводности K (в единицах длины/времени) связан с коэффициентом собственной проницаемости k (в единицах длины в квадрате) соотношением $K = k\rho g/\mu$, где ρ – плотность флюида, μ – динамическая вязкость флюида, g – ускорение свободного падения.

Этому методу присуща техническая сложность (**Hanaor 1982, 1985; Hanaor and Sullivan 1983**), кроме прочего заключающаяся в необходимости создания надежного уплотнения вокруг испытываемого образца при таких низких температурах. Влагосодержание образца бетона в период испытания должно быть как можно ближе к предполагаемому значению в условиях эксплуатации, но не выше него. Результаты испытания более сухих образцов считаются консервативными. Следует отметить, что коэффициент гидропроводности связан с коэффициентом собственной проницаемости, но отличается от него.

Объем информации по проницаемости бетона в криогенных условиях ограничен, однако в некоторых

работах (Hanaor 1982, 1985; Hanaor and Sullivan 1983) указывается, что проницаемость даже частично высушенного бетона составляет примерно половину ее величины в условиях температуры окружающей среды.

Помимо факторов, влияющих на проницаемость при окружающей температуре, например таких, как водоцементное отношение (w/c), тип цемента и зрелость бетона на момент испытаний, собственная проницаемость бетона зависит от его влагосодержания и, как подтверждают данные наблюдений, типа заполнителя. В качестве испытательной среды для определения собственной проницаемости обычно используется азот. Данные испытаний азотом можно путем математического преобразования использовать для определения собственной проницаемости по другим хранящимся флюидам.

6.6.5.9 Долговечность: бетон должен отвечать требованиям стандарта ACI 350 по долговечности с учетом расчетного срока службы и предполагаемых условий окружающей среды.

R6.6.5.9 Достаточная долговечность бетона, используемого для изготовления внутренней или наружной емкости, является крайне важным фактором. В частности, необходимо учесть следующие конструктивные аспекты: достаточная стойкость к циклам промерзания-оттаивания (для наружных емкостей), сульфатостойкость, защищенность металлических элементов от коррозии (стойкость к проникновению хлорид-ионов), стойкость к реакциям между щелочью и заполнителем и стойкость к химреагентам и агрессивным газам. Требования к долговечности приведены в стандарте ACI 350.

Если заполнители склонны к вступлению в реакцию с щелочью, они испытываются на возможную реакционную способность методом погружения стержня или в соответствии с методиками ASTM C227, ASTM C289 и ASTM C1260. Заполнители, петрографическое исследование которых не выявило признаков щелочной реакционной способности или наличия реакционно-способных компонентов, могут использоваться без дополнительных испытаний. Стандартной мерой снижения негативных эффектов щелочной реакционной способности является частичная замена портландцемента достаточными количествами дополнительных связующих материалов.

В стандарте ACI 515.1R приведена таблица для оценки влияния химреагентов на бетон, скорости коррозии и надлежащих методов снижения риска таких воздействий. Кроме того, в публикации PCA (1986) содержатся рекомендации по различным веществам, агрессивным в отношении бетона и системам его защиты.

6.6.5.10 Огнестойкость: взрывное выкрашивание бетона под действием огня не допускается.

R6.6.5.10 Описание воздействия пожара на резервуары со сжиженным природным газом (СПГ) приведено в п. 7.9.7 стандарта NFPA 59A, а методы огнезащиты – в гл. 13 и Приложении А того же документа. Эта информация также применима к резервуарам с охлажденным сжиженным газом (ОСГ).

Воздействие огня на высокопрочный бетон способно вызвать его взрывное выкрашивание. Некоторые крупнозернистые заполнители, такие как кремневый гравий, в большей степени подвержены выкрашиванию по сравнению с остальными, поэтому для бетона необходимо подобрать заполнитель с высокой стойкостью. Риск взрывного выкрашивания высокопрочного бетона может быть снижен за счет добавление некоторых типов поливолокна (Bilodeau et. al 1997; Hoff 1998). Согласно экспериментальным данным, чем выше предварительное напряжение, тем больше требуется волокна.

6.7 – Торкрет-бетон

Если настоящими нормативными требованиями не допускается иное, торкрет-бетон должен отвечать требованиям стандартов **ACI 506.2** и **ACI 350**.

6.8 – Расчет покрытий

6.8.1 Если для внутренней емкости используется покрытие, то при криогенных температурах его проницаемость должна отвечать требованиям пп. 6.8.2 и 6.8.3.

6.8.2 При использовании покрытия в качестве паронепроницаемого барьера применяются следующие требования:

- а) максимальная проницаемость по водяным парам – 0,00164 унц./фт² за 24 часа (определяется по методике **ASTM E96** с учетом самой неблагоприятной среднемесячной температуры/влажности в климатических условиях на проектом объекте);
- б) 3-месячное погружение в пары продукта не должно снижать прочность сцепления покрытия;
- в) ухудшение характеристик покрытия из-за реакций с бетоном не допускается;
- г) прочность сцепления покрытия с бетоном должна превышать 145 фн./кв. дюйм (определяется по стандарту **ISO 4624** или его аналогу);
- д) выход пара считается допустимым, если 24-часовая проницаемость покрытия по парам продукта не превышает 0,00033 унц./фт²;
- е) Покрытие должно обладать достаточной пластичностью для перекрытия трещин с расчетной шириной раскрытия, а также быть способным перекрывать трещину, которая в 1,2 раза шире расчетной трещины в штатных условиях эксплуатации и при интенсивности раскрытия трещины, равной максимальной предполагаемой интенсивности в случае расчетного землетрясения, безопасного для эксплуатации (БРЗ). Метод определения должен предлагаться подрядчиком и утверждаться лицензированным специалистом – проектировщиком.

6.8.3 Если покрытия должны удерживать жидкости, требуется провести дополнительные испытания для подтверждения сохранения их характеристик в результате набрызга жидкости и 3-месячного контакта с ней на уровне, установленном в п. 6.8.2.

6.9 – Металлические компоненты

6.9.1 Растягивающие напряжения при рабочих нагрузках не должны превышать допустимую прочность, установленную по допустимым напряжениям и прочности сварных соединений из стандарта **API 620** для расчетной температуры металла, указанной в разд. 4.8.

6.9.2 Сварные соединения выполняются и испытываются в соответствии со стандартом **API 620**.

6.9.3 Если расчетами предусматриваются более высокие уровни напряжений в материалах по сравнению с указанными в стандарте **API 620**, и эти материалы характеризуются выраженным переходом из пластичного в хрупкое состояние, то расчетные уровни напряжений и интенсивности деформационного нагружения должны обеспечивать постоянное пластичное поведение материала в наиболее жестких предполагаемых расчетных условиях.

R6.7 – Торкрет-бетон

Расчет и проектирование конструкций с торкрет-бетоном необходимо выполнять в соответствии с требованиями стандартов **ACI 506R**, **ACI 350**, **ACI 372R** и **ACI 373R**. Поведение высококачественного торкрет-бетона (напр., марки 1 или 2 по стандарту **ACI 506.2**) можно считать аналогичным поведению эквивалентного традиционного бетона.

R6.8 – Расчет покрытий

R6.8.1 Критерии функциональной эффективности таких покрытий для внутренней емкости должны быть более консервативны, чем для покрытий наружной емкости.

R6.8.2 Покрытия должны испытываться для подтверждения их пригодности к применению в предполагаемой среде. Объем испытаний должен обеспечить репрезентативность условий длительной эксплуатации. Среди прочего, в рамках испытаний оценивается ползучесть и усадка бетона, а также его нагрузочные и температурные деформации.

Пределы для полимерных покрытий принимаются по стандарту **BS EN 14620**. Покрытия должны обладать стойкостью к щелочам, определяемой в соответствии с методиками **ASTM D1647**, **ASTM E96** и **ISO 4624** или другими утвержденными методами.

ГЛАВА 7. КОЭФФИЦИЕНТЫ ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ

7.1 – Общие положения

Рассматриваемые в настоящей главе коэффициенты запаса прочности по нагрузке используются вместе с коэффициентами снижения прочности, указанными в табл. 7.1, а также в стандартах **ACI 350** и **ACI 318**.

Таблица 7.1. Коэффициенты снижения прочности

Тип напряжения	Коэффициент снижения прочности ϕ
Участки преобладающего растяжения	0,90
Участки преобладающего сжатия	
-со спиральной арматурой	0,70
-с другой арматурой	0,65
Сдвиговая и скручивающая нагрузка	0,75
Несущий участок на бетоне	0,65
Пост-напряженная анкеровка	0,85
Выгибание без осевой нагрузки, где длина заделки арматурной пряди меньше длины зоны анкеровки	0,75
Каркасно-стержневые модели	0,75

7.2 – Коэффициенты запаса прочности для предельного состояния внутренней емкости по несущей способности

Для оценки предельного состояния внутренней емкости по несущей способности используются коэффициенты запаса прочности по нагрузке из табл. 7.2.

7.2.1 Статические нагрузки (D): коэффициенты запаса прочности по нагрузке должны соответствовать указанным в табл. 7.2.

7.2.2 Нагрузки предварительного напряжения (P_f , P_i): коэффициенты запаса прочности для этих нагрузок должны соответствовать указанным в табл. 7.2.

7.2.2.1 Для всех нагрузок преднапряжения применяется коэффициент запаса прочности 1,0 (кроме зон анкеровки

R7.1 – Общие положения

Коэффициент снижения прочности ϕ , используемый в каркасно-стержневых моделях, берется равным коэффициенту ϕ для сдвиговой нагрузки и применяется к их участкам растяжения, сжатия и опоры.

R7.2. – Коэффициенты запаса прочности для предельного состояния внутренней емкости по несущей способности

R7.2.1 Для штатных условий эксплуатации применяются следующие требования (согласно стандарту **ACI 350**):

- Если статические нагрузки дополняются только давлением продукта, используется коэффициент запаса прочности по статическим нагрузкам 1,4.
- Для всех остальных нормальных режимов нагружения в ур. (9-2) – (9-5) стандарта **ACI 350** применяется коэффициент запаса прочности по статической нагрузке 1,2.
- Если статическая нагрузка ослабляет воздействие остальных нагрузок, используется коэффициент запаса 0,9 (в соответствии с ур. [9-6] и [9-7] стандарта **ACI 350**).

Согласно ур. (9-5) стандарта **ACI 350**, коэффициент запаса прочности по статической нагрузке в результате безопасного для эксплуатации расчетного землетрясения (БРЗ) составляет 1,2, так как принимается совместное воздействие статической нагрузки и других рабочих нагрузок (напр., усадочных и динамических). Если повышенная статическая нагрузка ослабляет действие остальных нагрузок, то коэффициент запаса прочности по этой нагрузке принимается равным 0,9 (по ур. [9-6] и [9-7] стандарта **ACI 350**).

Коэффициент запаса прочности по статической нагрузке 1,0 для землетрясения безопасного останова (ЗБО), взрывной и ударной нагрузки и нагрузки при пожаре снижается до 0,9, если повышенная статическая нагрузка ослабляет действие остальных нагрузок. Если повышенная статическая нагрузка ослабляет действие остальных нагрузок, то коэффициент запаса прочности 0,9 соответствует ур. (9-6) и (9-7) стандарта **ACI 350**.

R7.2.2.1 Как указано в стандарте **ACI 318**, коэффициент запаса прочности 1,2, применяемый к максимальному

арматуры). Для расчета зон анкеровки систем преднапряжения бетона к максимальному усилию натяжения преднапрягаемой стальной арматуры следует применять коэффициент запаса прочности по нагрузке 1,2 (согласно ACI 350).

усилию натяжения преднапрягаемого арматурного пучка, отражает расчетную нагрузку, составляющую примерно 113% от нормативного предела текучести преднапряженной стали, но не более 96% от номинального предела ее прочности. Это хорошо согласуется с максимально достижимым усилием натяжения преднапрягаемой арматуры, ограничиваемым показателем эффективности анкеровки.

Таблица 7.2 – Коэффициенты запаса прочности для предельного состояния по несущей способности первичной бетонной емкости одностенных, двустенных и двухоболочечных резервуаров с полной герметизацией

Условия нагружения		Нормальные режимы нагружения				Аномальные режимы нагружения					
Виды нагрузок		Строитель- ство	Монтаж	Испытания и ввод в эксплуатацию	Эксплуа- тация	Разлив	Землетрясение			Взрыв и удар	Пожар
							Разлив + ЗБО _{псд}	БРЗ	ЗБО		
Статические нагрузки		1,2 (0,9)	1,2 (0,9)	1,2 (0,9)	1,2/1,4 (0,9)	н/п	н/п	1,2 (0,9)	1,0 (0,9)	1,0 (0,9)	1,0 (0,9)
Нагрузки преднапряжения	общие	1,0	1,0	1,0	1,0	н/п	н/п	1,0	1,0	1,0	1,0
	на анкеровке	1,2	1,2	1,2	1,2	н/п	н/п	н/п	н/п	н/п	н/п
Давление продукта: пары/газ/вакуум		—	—	1,2	1,2/1,4	н/п	н/п	1,2	1,0	1,0	1,0
Давление продукта: жидкость		—	—	1,2	1,2/1,4	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0
Термическая и (или) от влажности	нормальные	1,2	1,2	1,2	1,2	н/п	н/п	1,2	1,0	1,0	—
	разлив	—	—	—	—	н/п	н/п	—	—	—	—
	пожар	—	—	—	—	н/п	н/п	—	—	—	1,0
Нагрузки при строительстве и вводе в эксплуатацию	строительные и эксплуатационные нагрузки	1,6	—	—	—	н/п	н/п	—	—	—	—
	нагрузки при монтаже	—	1,2/1,4 (0,9)	—	—	н/п	н/п	—	—	—	—
	нагрузки при испытаниях резервуаров	—	—	1,2	—	н/п	н/п	—	—	—	—
	термические нагрузки при охлаждении и заполнении резервуара	—	—	1,2	—	н/п	н/п	—	—	—	—
Усадка		1,2	1,2	1,2	1,2	н/п	н/п	1,2	1,0	1,0	1,0
Ползучесть		1,2	1,2	1,2	1,2	н/п	н/п	1,2	1,0	1,0	1,0
Общие динамические нагрузки		1,6/0,5	1,6/0,5	1,6/0,5	1,6/0,5	н/п	н/п	1,6/0,5	1,0	1,0	—
Неравномерная осадка		1,2	1,2	1,2	1,2	н/п	н/п	1,2	1,0	1,0	1,0
Нагрузки от воздействий окружающей среды: ветровая		1,6/1,3	н/п	н/п	н/п	н/п	н/п	—	—	—	н/п
Нагрузки от воздействий окружающей среды: прочие		1,6/0,5	н/п	н/п	н/п	н/п	н/п	—	—	н/п	—
Сейсмические нагрузки	БРЗ	—	—	—	—	н/п	н/п	1,3	—	н/п	—
	ЗБО	—	—	—	—	н/п	н/п	—	1,0	н/п	—
Взрыв и удар		—	—	—	—	н/п	н/п	—	—	1,0	—
Пожар		—	—	—	—	н/п	н/п	—	—	—	1,0

7.2.2.2 В расчет включаются зависящие от времени эффекты (ослабление напряжений, ползучесть и усадка), действующие на несущую конструкцию, а также изменяющиеся статические системы, возникающие в процессе строительства.

R7.2.2.2 В расчете учитываются зависящие от времени эффекты, такие как неравномерная усадка из-за заливки стены после фундаментной плиты или заливки крыши после стены.

Пример изменяющейся статической системы – заливка крыши после окружного пост-напряжения бетона стены. В этом случае ползучесть бетона приводит к перераспределению части сил пост-напряжения на крышу, в результате чего нагрузки на крышу увеличивается, а кольцевые нагрузки на стенку снижаются.

7.2.3 Давление продукта (F): коэффициенты запаса прочности по этой нагрузке должны соответствовать указанным в табл. 7.2.

7.2.4 Термические нагрузки и (или) влажность (T_e , T_o): коэффициенты запаса прочности по этим нагрузкам должны соответствовать указанным в табл. 7.2.

7.2.5 Нагрузки при строительстве и вводе в эксплуатацию (L_{cn} , L_{cm}): коэффициенты запаса прочности по этим нагрузкам должны соответствовать указанным в табл. 7.2.

7.2.6 Усадка (T_s): коэффициенты запаса прочности по этой нагрузке должны соответствовать указанным в табл. 7.2.

7.2.7 Ползучесть бетона (T_c): коэффициенты запаса прочности должны по этой категории должны соответствовать указанным в табл. 7.2.

7.2.8 Общие динамические нагрузки (L): как установлено в п. 5.1.10, коэффициент запаса прочности по общим динамическим нагрузкам может уменьшаться до 0,5 при условии обоснования того, что ожидаемое воздействие составляет не более 50% расчетной динамической нагрузки в штатном режиме эксплуатации (согласно п. 9.2.1(a) стандарта ACI 350).

7.2.9 Неравномерная осадка (T_{ds}): коэффициенты запаса прочности должны соответствовать указанным в табл. 7.2.

7.2.10 Нагрузки от воздействия окружающей среды (E): коэффициенты запаса прочности по этой категории должны соответствовать указанным в табл. 7.2.

R7.2.3 Коэффициент запаса прочности для нагрузки от продукта в условиях испытаний/ ввода в эксплуатацию и эксплуатации составляет 1,2 (в соответствии с ур. [9-2] и [9-5] стандарта ACI 350). Коэффициент запаса прочности при сочетании давления продукта только со статической нагрузкой принимается равным 1,4 (в соответствии с ур. [9-1] стандарта ACI 350).

Продуктом на этапе испытаний и ввода в эксплуатацию является жидкость, используемая для гидравлических испытаний. Коэффициент запаса прочности 1,2 для режима нагрузки при расчетном землетрясении согласуется с ур. (9.2) и (9.5) стандарта ACI 350.

R7.2.4 Для всех нормальных термических нагрузок принят коэффициент запаса прочности 1,2 (в соответствии с ур. [9.2] стандарта ACI 350). Для БРЗ принят коэффициент запаса 1,2 (в соответствии с ур. [9.2] и [9-5] стандарта ACI 350).

R7.2.5 Строительные нагрузки отнесены к категории динамических. Коэффициент запаса прочности принимается равным 1,6 (согласно ур. [9.2] стандарта ACI 350). Монтажные нагрузки определяются точнее, менее изменчивы по сравнению со строительными и считаются статическими согласно ур. (9-1) стандарта ACI 350. Когда более высокая монтажная нагрузка ослабляет действие остальных нагрузок, коэффициент запаса прочности принимается равным 0,9 (по ур. [9-6] и [9-7] стандарта ACI 350).

Нагрузки при испытаниях и вводе в эксплуатацию контролируются, отслеживаются и считаются статическими. Поскольку эти нагрузки объединяются с термическими, коэффициент запаса прочности согласно ур. (9-2) стандарта ACI 350 принимается равным 1,2. Аномальные режимы нагрузки на этапах строительства и ввода в эксплуатацию не предусматриваются.

R7.2.6 Для нормальных режимов нагрузки стандарт ACI 350 относит усадку к категории нагрузки «Т», а коэффициент запаса прочности в условиях сочетания с другими нагрузками принимается равным 1,2 (согласно ур. [9-2]). Для нагрузок от БРЗ в сочетании с другими нагрузками коэффициент запаса прочности принимается равным 1,2 (в соответствии с ур. [9-2] стандарта ACI 350).

R7.2.7 Для нормальных режимов нагрузки стандарт ACI 350 относит усадку к категории нагрузки «Т», а коэффициент запаса прочности в условиях сочетания с другими нагрузками принимается равным 1,2 (согласно ур. [9-2]). Для нагрузок БРЗ в сочетании с другими нагрузками коэффициент запаса прочности принимается равным 1,2 (в соответствии с ур. [9.2] стандарта ACI 350).

R7.2.8 Коэффициент запаса прочности по общим динамическим нагрузкам (напр., нагрузкам от трубопроводов) в нормальных условиях нагружения, а также по нагрузкам при расчетном землетрясении принят равным 1,6 (согласно ур. [9-2] стандарта ACI 350). Для землетрясения безопасного останова при сочетании с другими нагрузками применяется коэффициент запаса 1,0 (в соответствии с ур. [9-5] стандарта ACI 350).

R7.2.9 Для нормальных режимов нагрузки и нагрузок расчетного землетрясения принят коэффициент запаса 1,2 (согласно ур. (9-2) стандарта ACI 350).

7.2.10.1 Ветровая нагрузка (W): коэффициенты запаса прочности по этой категории должны соответствовать указанным в табл. 7.2.

7.2.10.2 Прочие нагрузки: коэффициенты запаса прочности по этой категории должны соответствовать указанным в табл. 7.2.

7.2.11 Сейсмические нагрузки (E_o , E_s): коэффициенты запаса прочности по этой категории должны по этим нагрузкам соответствовать указанным в табл. 7.2.

7.2.12 Взрывные и ударные нагрузки (B , M_i): коэффициенты запаса прочности по этой категории должны соответствовать указанным в табл. 7.2.

7.2.13 Возгорание (H): коэффициенты запаса прочности по этой категории должны соответствовать указанным в табл. 7.2.

Для предельного состояния по несущей способности наружной емкости используются коэффициенты запаса из табл. 7.3.

7.3 – Коэффициенты запаса прочности для предельного состояния по несущей способности наружной емкости

7.3.1 Статические нагрузки (D): коэффициенты запаса прочности по этой категории должны соответствовать указанным в табл. 7.3.

R7.2.10.1 Ветровая нагрузка может воздействовать на внутреннюю или наружную емкость в зависимости от того, какая из них строится первой, или от того, строятся ли они последовательно или параллельно. Допускается рассмотрение варианта с экранированием внутренней (первичной) емкости наружной (вторичной).

При включении эффектов направленности в расчет ветровых нагрузок следует использовать коэффициент запаса 1,6 (согласно ур. [9-4] и [9-6] стандарта ACI 350). При исключении эффектов направленности в районах, не подверженных воздействию действию ураганов, можно использовать коэффициент запаса 1,3 (в соответствии с п. 9.2.1(a) стандарта ACI 350).

R7.2.10.2 На внутреннюю или наружную емкость могут действовать другие внешние нагрузки (напр., солнечное излучение, снег или дождь); в зависимости от того, какая из них строится первой, или от того, строятся ли они последовательно или параллельно. Допускается рассмотрение варианта с экранированием внутренней (первичной) емкости наружной (вторичной).

Для прочих внешних нагрузок в нормальных режимах нагружения следует использовать коэффициент запаса 1,6 (согласно ур. [9-3] стандарта ACI 350). Если в состав прочих внешних нагрузок входит ветровая, то коэффициент запаса можно снизить до 0,5 (согласно ур. [9-4] стандарта ACI 350).

R7.2.11 Согласно действующим методикам проектирования резервуаров ОСГ, в настоящих нормативных требованиях используются две категории землетрясений: расчетное землетрясение, безопасное для эксплуатации (БРЗ) и землетрясение безопасного останова (ЗБО). Для БРЗ применяется коэффициент запаса прочности 1,3, а для ЗБО – 1,0.

R7.2.12 Взрывные и ударные нагрузки обычно оказывают незначительное или нулевое воздействие на внутреннюю емкость двухбололочной системы. Тем не менее, реакция всего сооружения, зависящая от взаимодействия между конструкцией и фундаментом, может вызвать возникновение сил во внутренней емкости.

R7.2.13 Требования по нагрузкам при пожаре обычно не предъявляются, поэтому следует использовать коэффициент запаса 1,0, где это необходимо.

R7.3 – Коэффициенты запаса прочности для предельного состояния по несущей способности наружной емкости

R7.3.1 В штатных условиях эксплуатации и согласно стандарту ACI 350 действуют следующие требования:

- Если статические нагрузки объединяются только с действием давления продукта, используется коэффициент запаса прочности по статическим нагрузкам 1.4.
- Для всех остальных нормальных режимов нагружения в ур. (9-2) – (9-5) стандарта ACI 350 применяется коэффициент запаса прочности по статической нагрузке 1.2.
- Если статическая нагрузка ослабляет действие остальных нагрузок, то используется коэффициент запаса 0,9 (в соответствии с ур. [9-6] и [9-7] стандарта ACI 350).

Когда более высокая статическая нагрузка ослабляет действие остальных нагрузок, коэффициент запаса прочности для разлива и сочетания разлива и толчков

после землетрясения безопасного останова (ЗБО_{пел}) может быть снижен до 0,9. Коэффициент запаса 0,9 согласуется с ур. (9-6) и (9-7) стандарта ACI 350.

Согласно ур. (9-5) стандарта ACI 350, коэффициент запаса прочности по нагрузке при БРЗ составляет 1,2, так как принимается совместное воздействие статической нагрузки и других рабочих нагрузок (напр., усадочных и динамических). Если повышенная статическая нагрузка ослабляет действие остальных нагрузок, то коэффициент запаса прочности 0,9 соответствует ур. (9-6) и (9-7) стандарта ACI 350).

Коэффициент запаса прочности 1,0 для ЗБО, взрыва, ударного воздействия и пожара снижается до 0,9, если более высокая статическая нагрузка ослабляет действие остальных. Если повышенная статическая нагрузка ослабляет действие остальных, то коэффициент запаса прочности 0,9 берется по ур. (9-6) и (9-7) стандарта ACI 350).

7.3.2 Нагрузки предварительного напряжения (P_f , P_i): для всех нагрузок преднапряжения применяется коэффициент запаса 1,0 (кроме зон анкеровки арматуры). Для проектирования пост-напрягающей зоны анкеровки, к максимальному усилию предварительного натяжения металлической арматуры следует применять коэффициент запаса прочности 1,2 (согласно ACI 350).

В расчет включаются зависящие от времени эффекты (ослабление напряжений, ползучесть и усадка), действующие на несущую конструкцию, а также изменяющиеся статические системы, возникающие в процессе строительства.

R7.3.2 Коэффициент запаса прочности 1,2 по максимальному контролируемому усилию натяжения напрягаемого арматурного пучка, тождественен расчетной нагрузке, составляющей примерно 113% от нормативного предела текучести для предварительно напряженной стали, но не более 96% от номинального предела ее прочности. Это хорошо согласуется с максимально достижимым усилием преднапряжения, ограничиваемым показателем эффективности анкеровки.

В расчете учитываются зависящие от времени эффекты, такие как неравномерная усадка из-за заливки стены после фундаментной плиты и крыши.

Примером изменяющейся статической системы служит заливка крыши пост-напряженного бетона по окружности стены. В этом случае вследствие ползучести бетона происходит перераспределение сил пост-напряжения бетона, часть которых начинает воздействовать на крышу, в результате чего воздействие на крышу увеличивается, а кольцевое воздействие на стенку снижается.

Таблица 7.3. Коэффициенты запаса прочности для предельного состояния наружного бетонного резервуара

Режимы нагружения		Нормальные режимы нагружения				Аномальные режимы нагружения					
Виды нагрузок		Строитель- ство	Монтаж	Испытания и ввод в эксплуатацию	Эксплуа- тация	Разлив	Землетрясение			Взрыв и удар	Пожар
							Разлив + ЗБО _{псл}	БРЗ	ЗБО		
Статические нагрузки		1,2 (0,9)	1,2 (0,9)	1,2 (0,9)	1,2/1,4 (0,9)	1,0 (0,9)	1,0 (0,9)	1,2 (0,9)	1,0 (0,9)	1,0 (0,9)	1,0 (0,9)
Нагрузки преднапряжения	общие	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	на анкерке	1,2	1,2	1,2	1,2	н/п	н/п	н/п	н/п	н/п	н/п
Давление продукта: пары/газ/вакуум		—	—	1,2	1,2/1,4	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	1,2	1,0	1,0	1,0
Давление продукта: жидкость		—	—	—	—	1,0	1,0	—	—	—	1,0
Термическая и (или) от влажности	нормальные	1,2	1,2	1,2	1,2	—	—	1,2	1,0	1,0	—
	разлив	—	—	—	—	1,0	1,0	—	—	—	—
	пожар	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0
Нагрузки при строительстве и вводе в эксплуатацию	строительные и эксплуатационные нагрузки	1,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	нагрузки при монтаже	—	1,2/1,4 (0,9)	—	—	—	—	—	—	—	—
	нагрузки при испытаниях резервуаров	—	—	1,2	—	—	—	—	—	—	—
	термические нагрузки при охлаждении и заполнении резервуара	—	—	1,2	—	—	—	—	—	—	—
Усадка		1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0
Ползучесть		1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0
Общие динамические нагрузки		1,6/0,5	1,6/0,5	1,6/0,5	1,6/0,5	—	—	1,6/0,5	1,0	1,0	—
Неравномерная осадка		1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0
Нагрузки от воздействий окружающей среды: ветровая		1,6/1,3	1,6/1,3	1,6/1,3	1,6/1,3	—	—	—	—	—	—
Нагрузки от воздействий окружающей среды: прочие		1,6/0,5	1,6/0,5	1,6/0,5	1,6/0,5	—	—	—	—	—	—
Сейсмические нагрузки	БРЗ	—	—	—	—	—	—	1,3	—	—	—
	ЗБО	—	—	—	—	—	—	—	1,0	—	—
	ЗБО _{псл}	—	—	—	—	—	1,0	—	—	—	—
Взрыв и удар		—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	—
Пожар		—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0

7.3.3 Давление продукта (F): коэффициенты запаса прочности по этой категории должны соответствовать указанным в табл. 7.3.

R7.3.3 Коэффициент запаса прочности для давления продукта в условиях испытаний/ ввода в эксплуатацию и эксплуатации принимается равным 1,2 (в соответствии с ур. [9-2] и [9-5] стандарта ACI 350). Коэффициент запаса прочности при сочетании давления продукта только со статической нагрузкой принимается равным 1,4 (в соответствии с ур. [9-1] стандарта ACI 350).

На случай возникновения положительного дисбаланса давления паров или газа во время разлива или сочетания разлива и толчков после события ЗБО_{псл}, коэффициент запаса прочности принимается равным 1,0. Возникновение отрицательного дисбаланса давления разрежения при таких событиях не является правдоподобным, поскольку разлив сопровождается выделением паров. Следовательно, коэффициент запаса прочности для условий вакуума следует свести до нуля. Коэффициент запаса прочности для режима нагрузки при БРЗ принимается равным 1,2 (согласно ур. [9.2] – [9.5] стандарта ACI 350).