

HILTI

Руководство
по анкерному крепежу

Динамический расчёт
анкеров



Содержание

1. Динамические нагрузки	3
2. Усталостные нагрузки	7
2.1 Общие сведения	7
2.2 Поведение материалов под действием усталостной нагрузки	8
2.3 Анкеры под действием усталостной нагрузки	10
2.4 Расчёт анкеров	11
2.4.1 Расчётная нагрузка	11
2.4.2 Внутренние напряжения в бетоне	12
2.4.3 Составляющая усталостной нагрузки	12
2.4.4 Статическая прочность	13
2.4.5 Усталостная прочность	13
2.4.6 Упрощенная оценка усталостной прочности	14
2.5 Информация о продуктах	14
2.5.1 Информация об анкере HDA	15
2.5.2 Информация об анкере HVZ	18
2.5.3 Другие анкеры	20
2.6 Примеры расчётов	20
2.6.1 Упрощенный расчёт крепления кранового пути к бетону	20
2.6.2 Упрощенный расчёт крепления разбалансированной вращающейся машины	23
3. Сейсмические нагрузки	26
3.1 Общие сведения	26
3.2 Анкеры под действием сейсмической нагрузки	27
3.3 Расчёт анкеров	28
3.4 Информация о продуктах	31
3.5 Примеры расчётов	31
3.5.1 Расчёт водяного бака	31
3.5.2 Влияние элементов жесткости	33
4. Ударные нагрузки	35
4.1 Общие сведения	35
4.2 Анкеры под действием ударной нагрузки	35
4.3 Расчёт анкеров	36
4.4 Информация о продуктах	36
4.5 Примеры расчёта	39
4.5.1 Упругое столкновение. Крепление страховочного каната	39
4.5.2 Упрощенный расчёт в соответствии с нормами BZS	40
Список литературы	42
Приложение А: Динамический набор	43

1. Динамические нагрузки

Введение

Общее проектирование основывается на статических расчётах. Но важно понимать, что статические нагрузки в действительности являются частными случаями, которые редко встречаются на практике. В статических расчётах незначительные динамические воздействия упрощаются с помощью коэффициентов безопасности. Настоящая брошюра описывает те случаи, когда подобные упрощения могут существенно исказить истинное положение вещей и потенциально привести к неполному расчёту креплений в несущих конструкциях. Брошюра поможет повысить осведомленность о проблемах, связанных с расчётом динамических креплений, а также продемонстрировать методы их классификации, моделирования и расчёта и подобрать соответствующее решение Hilti.

Статические и динамические нагрузки

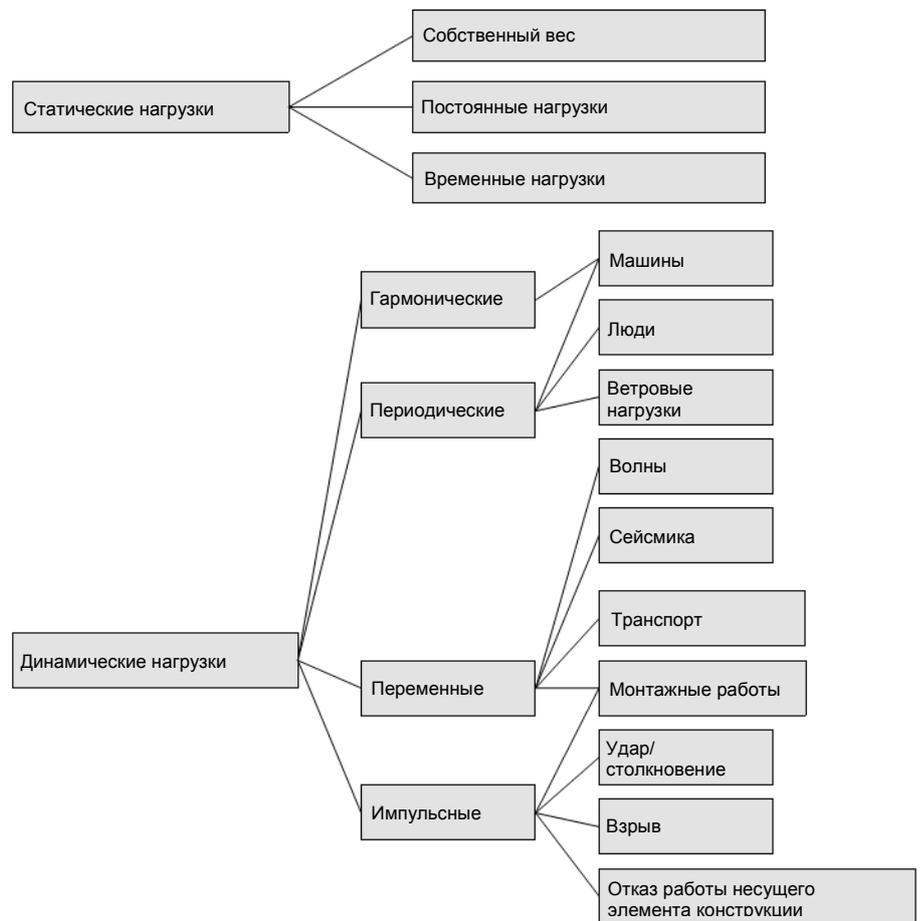
Статические нагрузки (внутренние усилия и перемещения) с течением времени не изменяются. Нагрузки, изменяющиеся достаточно медленно во времени (квазистатические нагрузки), также принято называть статическими. К статическим нагрузкам следует относить:

- Собственный вес конструкций
- Постоянные нагрузки:
 - Вес частей сооружений, в том числе вес несущих и ограждающих строительных конструкций (напольные покрытия, стяжки и т.д.)
 - Вес давления грунтов (насыпей и засыпок)
- Временные нагрузки:
 - Полезные нагрузки (вес людей и мелкого оборудования)
 - Снеговые нагрузки
 - Ветровые нагрузки
 - Температурные и климатические воздействия

Величина и/или направление динамических нагрузок изменяются во времени, что приводит к возникновению значительных сил инерции и их затуханию в элементах конструкции.

Динамические нагрузки различаются по характеру изменения во времени (гармонические, периодические, переходные, импульсные), а также по скорости изменения и количеству циклов (усталостные, сейсмические, ударные).

Классификация	Усталостные	Сейсмические	Ударные
Количество циклов	$10^4 < n \leq 10^8$	$10 < n < 10^4$	$1 < n < 20$
Скорость деформации	$10^{-6} < \dot{\epsilon}' > 10^{-3}$	$10^{-5} < \dot{\epsilon}' > 10^{-2}$	$10^{-3} < \dot{\epsilon}' > 10^{-1}$
Примеры	Нагрузки от транспортных средств, машин	Землетрясения	Столкновения, взрывы



Нагрузки	Зависимость возмущающей силы от времени		Причина
Гармонические (переменные)		Синусоидальная	Разбалансированные вращающиеся машины
Гармонические (сжимающие/растягивающие пульсирующие)		Синусоидальная	
Периодические		Произвольная, периодическая	Регулярно соударяющиеся компоненты (дробопробивочные машины)
Переменные		Произвольная, непериодическая	Землетрясения/сейсмические нагрузки, нагрузки от железнодорожного и автотранспорта
Импульсные		Произвольная, непродолжительная	Удары/столкновения, взрывы, быстро закрывающиеся клапаны

Общие сведения

Динамические нагрузки делятся на три основные категории:

- Усталостные нагрузки
- Сейсмические нагрузки
- Ударные нагрузки

Нагрузки будут подробно описаны в следующих Разделах. В данном Разделе мы постараемся дать более простое определение каждой из нагрузок:

- Усталостные нагрузки периодически возникают в течение срока службы конструкции, легко определяются и предсказываются.
- Сейсмические нагрузки возникают как реакции конструкции на землетрясения.
- Ударные нагрузки возникают крайне редко, в некоторых случаях могут повторяться в течение срока службы конструкции.

В следующих Разделах приведены примеры проявлений динамических нагрузок на практике, где упрощение статических расчётов приводит к проектированию конструкций с недостаточным запасом безопасности.

Усталостные нагрузки на практике

Усталостные нагрузки можно отнести к двум подгруппам (подкатегориям):

- **Вибрационные нагрузки** с высокой частотой колебаний и низкой амплитудой.
- **Многократные нагружения и разгрузения** с высокой частотой колебаний и высокой амплитудой.

На практике вибрационные нагрузки встречаются:

- **Вентиляторы** (большинство стандартов и нормативов регламентирует стандартный эксцентриситет для проектирования);
- **Производственные машины** (вращательные и линейные);
- **Оборудование для дробления** горных пород, гравия или других материалов;
- **Конструкции, подверженные периодическим гидравлическим нагрузкам** (оборудование электростанций; крепления трубопроводов, характеризующиеся частым явлением гидравлического удара; конструкции, подверженные вихревым гидравлическим нагрузкам);
- **Крепления, подверженные косвенному нагружению** от воздействия вибрирующего оборудования, расположенного рядом.

Упомянутые выше применения, как правило, четко определяются как «усталостные» и рассчитываются соответствующим образом. Понятие «повторяющиеся нагружения и разгрузения» могут являться менее очевидными с точки зрения понятия «динамической нагрузки». Таким образом, основной целью настоящей брошюры является повышение осведомленности проектировщиков в отношении подобных применений. Вследствие значительных нагрузок, которым, как правило, подвержены анкеры, последние зачастую нагружаются до пределов, что в свою очередь может стать причиной их повреждения.

Стандартные примеры многократного нагружения и разгрузения:

- **Краны** (башенные и мостовые краны, подкрановые пути);
- **Лифты** (направляющие рельсы, грузоподъемное оборудование);
- **Подъёмно-транспортное оборудование** (лебедки, крепления домкратов);
- **Автоматические машины** и другие виды оборудования с вращательным приводом;
- **Элементы мостовых конструкций**;
- **Загрузочные устройства** (загрузочные желоба для сыпучих материалов, конвейеры).

Сейсмические нагрузки на практике

Все анкерные крепления в конструкциях, расположенных в сейсмически активных зонах, могут подвергаться сейсмическим воздействиям. Например, анкерные крепления в системах, устойчивых к сейсмическим нагрузкам (жесткое крепление), подвесные крепления трубопроводов под собственным весом, могут подвергаться сейсмическим нагрузкам в зависимости от особенностей конфигурации их установки. Кроме того, все анкеры, независимо от того, подвержены они циклическим (сейсмическим) нагрузкам или нет, могут подвергаться изменениям, вызванным землетрясениями, в материалах креплений (локальные повреждения бетона и циклическое раскрытие трещин). Однако, зачастую сейсмические нагрузки рассчитываются только для тех крепежных элементов, повреждение которых может привести к гибели людей, существенному ослаблению всей конструкции или значительным экономическим потерям. Для определения требований к применениям крепежных элементов в сейсмических условиях, важно обратиться к соответствующим строительным стандартам.

Типовые примеры применений анкеров в сейсмических условиях:

- **Соединения элементов конструкций** (могут быть частью сейсмоустойчивой системы или системы устойчивой к вертикальной нагрузке);
- **Механическое, электротехническое и сантехническое оборудование** (системы кондиционирования воздуха, вентиляторы, лотки и трубопроводы, резервуары для хранения жидкостей);
- **Архитектурные системы** (потолки, системы освещения, крупные предметы);
- **Конструкции внутри здания** (полки, стеллажи для хранения).

Ударные нагрузки на практике

Ударные нагрузки зачастую возникают параллельно другим нагрузкам в конструкции, однако, как правило, они являются единственным вариантом нагрузок, на который рассчитана конструкция, например, в барьерных и защитных ограждениях. В большинстве случаев ударные нагрузки возникают в результате:

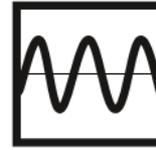
- **Взрывов** (на промышленных заводах, электростанциях, на военных объектах);
- **Обрушение конструкций** (в результате сейсмических воздействий, повреждения конструкций, ожидаемого отказа изнашивающихся элементов, например, в резиновых шумоизоляторах для различных установок);
- **Нестандартных транспортных нагрузок** (защитные барьерные ограждения);
- **Гидравлических нагрузок** (гидравлический удар, внештатные рабочие условия в гидравлических конструкциях).

Следует подчеркнуть, что ударные нагрузки возникают гораздо чаще, чем предполагается. Кроме того, нагрузка может увеличиваться существенным образом и превышать статическую нагрузку в 100 раз.

Коэффициенты безопасности

В отдельных ситуациях точно определить воздействия на анкер невозможно. В подобных случаях можно использовать оценочные данные, в отношении которых в нормах проектирования определены минимальные уровни воздействий, которые будут использоваться для большинства типов нагружений. Неопределенность в установлении воздействия компенсируется выбором подходящим образом адаптированных коэффициентов безопасности.

2. Усталостные нагрузки



2.1 Общие сведения

Воздействия, вызывающие усталость, характеризуются большим количеством циклов нагрузки, которые вызывают изменения на уровне напряжения в креплении. Подобные напряжения приводят к снижению прочности, уровень которой прямо пропорционально равен величине изменения напряжения и количеству циклов нагрузки (усталостной). При оценке воздействий, вызывающих усталость, крайне важное значение имеет не только тип воздействия, но также и планируемый или ожидаемый срок службы крепления.

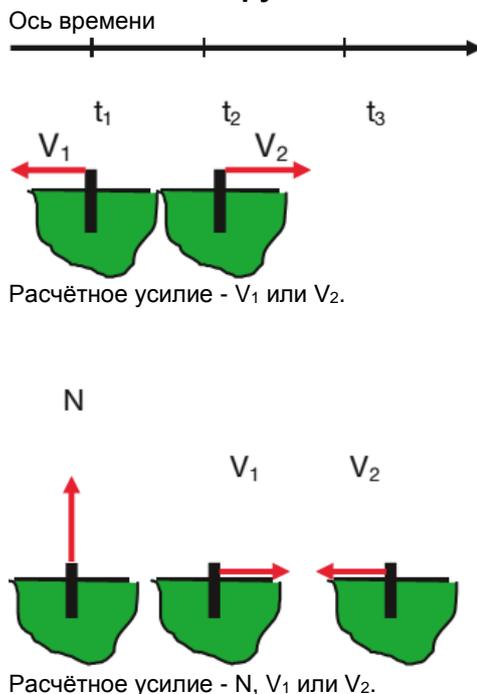
Прямое и косвенное воздействие

Прямое воздействие на крепление возникает при немедленном напряжении крепления в результате действия различных сил, например, в процессе эксплуатации машины. В процессе эксплуатации машина передает вибрационные импульсы на соседнее оборудование, а также через свои опорные конструкции, что впоследствии косвенно приводит к возникновению вибраций элементов конструкций или здания. Это может приводить к возникновению усталостных напряжений в креплениях.

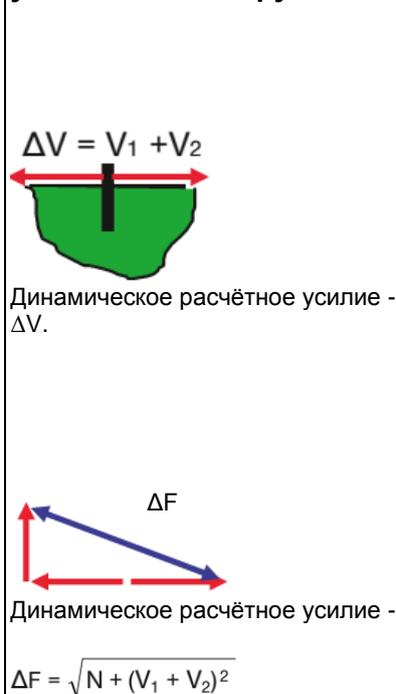
Причины возникновения усталостной нагрузки

В большинстве случаев величину воздействия, вызывающего усталость, невозможно точно определить. При определении величины воздействия, вызванного усталостной нагрузкой, которому подвергается крепление, важно также суммировать не возникающие одновременно с этим воздействия. С точки зрения расчётных/статических нагрузок, возникающие в разное время воздействия должны рассматриваться отдельно. В случае с нагружением, вызванным усталостью, все возможные возникающие нагрузки должны определяться в пределах ожидаемого срока службы крепления. Это проиллюстрировано на приведенном ниже графике:

Расчёт с учетом статических нагрузок



Расчёт с учетом усталостных нагрузок



2.2 Поведение материалов под действием усталостной нагрузки

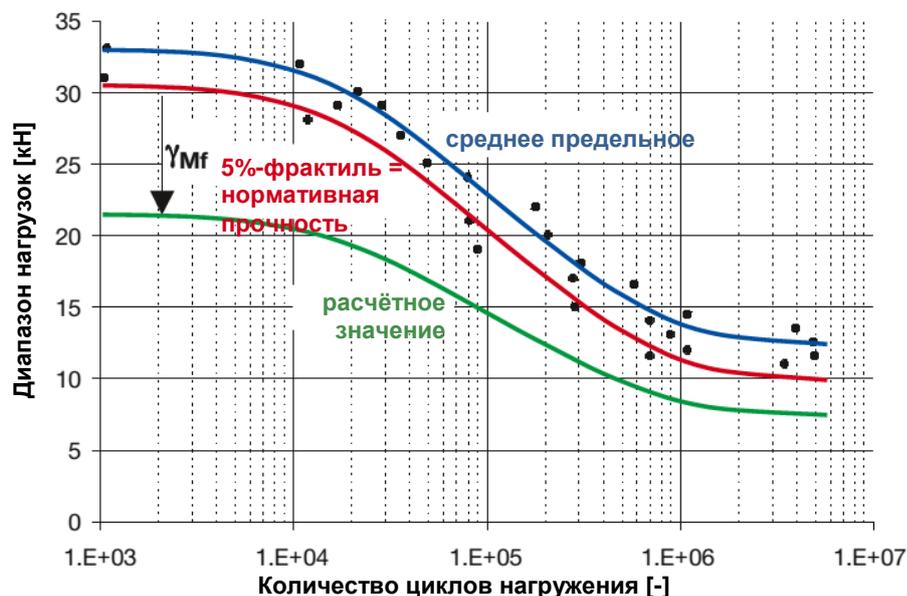
Поведение материала под действием статической нагрузки

Поведение материала под действием статической нагрузки описывается, главным образом, в терминах прочности (на растяжение и сжатие) и упруго-пластического поведения материала, например, модулем упругости, деформацией сдвига (поперечной деформацией) под нагрузкой и т.д. Данные свойства обычно определяются путем проведения простых испытаний образцов.

Поведение материала под действием усталостной нагрузки

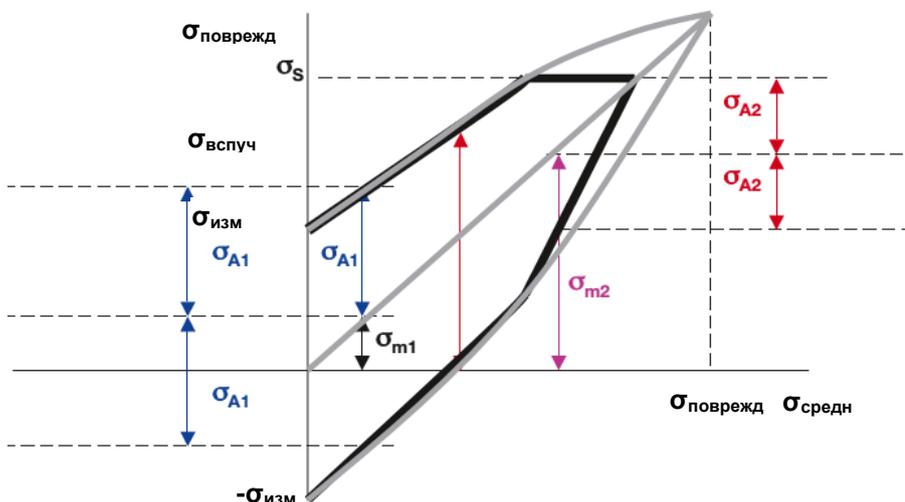
Если материал подвергается постоянной нагрузке, которая изменяется во времени, это может привести к его разрушению после определенного количества циклов нагрузки, несмотря на то, что предел прочности при разрушении гораздо ниже предела прочности при растяжении под действием статической нагрузки. Подобная потеря прочности называется усталостным разрушением.

Широко распространенной практикой является изображение параметров усталости материала в виде так называемых S-N-образных кривых (также именуемых кривыми Веллера). На данных кривых отображается амплитуда максимальной нагрузки, которая может выдерживаться при заданном числе циклов нагружения (для воздействия синусоидальной формы). В тех случаях, когда можно определить уровень напряжения, при котором повреждение материала после любого количества циклов нагружения больше не происходит, речь идет об усталостной прочности или кратковременной усталостной прочности. Более высокие нагрузки, которые материал, как правило, способен выдерживать лишь в течение ограниченного времени, относятся к диапазону усталостной прочности с малым количеством циклов для ограниченного срока службы.



Поведение металла под действием усталостной нагрузки

Поведение различных марок стали под действием нагрузки, вызывающей усталость, определяется в ходе испытаний на выносливость (кривые Веллера). При проведении серии испытаний на выносливость с использованием различных средних напряжений получают многочисленные кривые усталостного напряжения, на основе которых можно определить уменьшение амплитуды силы сопротивления усталостному напряжению σ_A . Графическое изображение отношения среднего напряжения σ_m к амплитуде силы сопротивления усталостному напряжению σ_A применительно к каждому конкретному случаю называется диаграммой Смита.



Величина переменной прочности в значительной степени обусловлена маркой стали. Применительно к конструкционным и подвергаемым термообработке сталям, данная величина составляет приibl. 40% от статической прочности, но при этом, естественно, значительно снижается при наличии каких-либо эффектов концентрации напряжения (эффектов надрезов). Усталостная прочность элементов строительных конструкций, таких как анкеры, зависит от многих дополнительных факторов, таких как:

- Эффекты концентрации напряжения (эффект надреза)
- Виды нагружения (растягивающее, поперечное, изгибающее)
- Размеры
- Среднее напряжение

Нержавеющие стали, а также пластмассы, не отличаются ярко выраженной усталостной долговечности (выносливостью), таким образом, усталостное разрушение может возникать даже после $>10^7$ циклов нагружения.

Поведение клеевого анкера под действием усталостной нагрузки

Испытания на выносливость клеевых анкеров, как правило, приводят к разрушению стали. Очевидно, что снижение прочности стали является более выраженным по сравнению со снижением прочности клеевого состава. После 2 000 000 циклов нагружения прочность клеевого состава, как правило, становится более 65% от исходного значения. Однако, при неблагоприятных условиях, таких как, установленный анкер во влажных отверстиях, просверленных алмазными коронками, прочность клеевого состава после усталостного нагружения отличается большим разбросом значений не более 40% от первоначального значения.

Поведение бетона под действием усталостной нагрузки

Тип разрушения бетона под действием усталостной нагрузки соответствует типу разрушения под действием статической нагрузки. В ненагруженном состоянии в бетоне уже имеются микротрещины в зоне контакта между заполнителем и цементным тестом, вызванное наличием заполнителей препятствующие усадке цементного теста. Усталостная прочность бетона напрямую зависит от марки бетона. Бетон с более высокой прочностью на сжатие также имеет более высокую усталостную прочность. Прочность бетона снижается примерно до 60-65% изначальной прочности после 2 000 000 циклов нагружения.

2.3 Анкеры под действием усталостной нагрузки

Работа одиночно установленного анкера в бетоне под действием усталостных нагрузок

Поведение стали и бетона под действием усталостных нагрузок описано в Разделе 2.2. В случае большого количества циклов нагружения, т.е. $n > 10^4$, важную роль в данном случае всегда будет играть анкер в одиночных креплениях (вследствие разрушения стали). Бетон может разрушаться только при уменьшенной глубине анкеровки, подверженного растяжению, или в том случае, если анкер расположен на уменьшенном расстоянии от кромки базового материала и подвержен сдвигающей нагрузке.

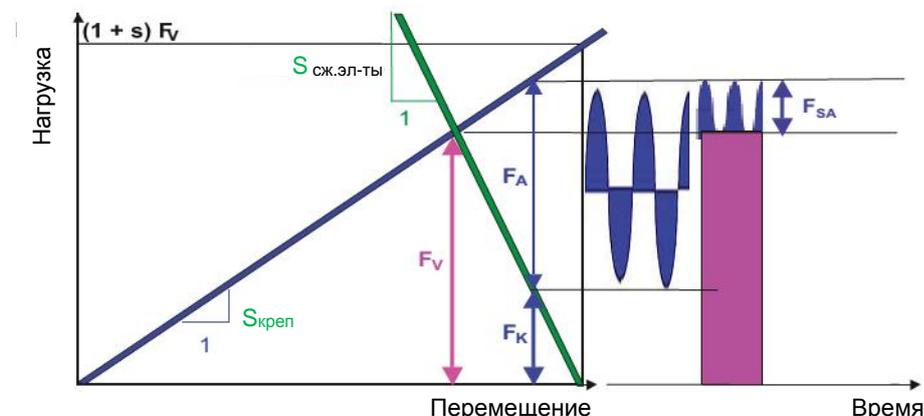
В диапазоне кратковременной прочности, т.е. при $n < 10^4$, характеристики бетона также могут играть важную роль. Это зависит в значительной степени от площади поперечного сечения стального изделия относительно глубины анкеровки, т.е. при большом диаметре на небольшой глубине приводит к разрушению бетона, или при малом диаметре на большой глубине анкеровки к разрушению по стали.

Крепления из группы анкеров

Отдельные анкеры в креплениях, состоящих из группы анкеров, могут иметь разную упругую жесткость и характеристики перемещения (смещения), отличающиеся от других анкеров, например, в том случае, когда анкер установлен в трещине. Это приводит к перераспределению усилий в анкерах в процессе возникновения циклических нагрузок. Более упругие анкеры подвергаются более высоким нагрузкам, при этом нагрузки в менее упругих анкерах уменьшаются. Эти два эффекта учитываются в понижающем коэффициенте для креплений, состоящих из группы анкеров. Данный коэффициент определяется в ходе испытаний.

Влияние предварительного напряжения анкера

Работа анкеров под действием динамических нагрузок существенным образом улучшается за счет их предварительного напряжения. Под действием внешней допустимой нагрузки F_A на предварительно натянутое анкерное крепление, доля нагрузок в цикле, относящихся к усталости и принимаемых болтом, соответствует лишь весьма небольшой доле усилий в болте F_{SA} .



F_A : внешняя допустимая нагрузка

F_K : сжимающее усилие

F_{SA} : доля усталостной нагрузки

F_V : усилие предварительного напряжения

$S_{креп.}$: жесткость болта

$S_{сж.эл-ты}$: жесткость стянутых элементов

Таким образом, усилие предварительного напряжения в анкерном креплении имеет важное значение с точки зрения работы анкера (анкерного крепления) под действием усталостных нагрузок. При этом со временем все анкеры теряют часть усилий предварительного напряжения. Подобные потери вызваны ползучестью бетона, главным образом, в зоне передачи нагрузки бетону вследствие относительной деформации в витках резьбы болта и ослабления напряжения в теле болта.

Испытания показали, что сопоставимые потери усилия предварительного напряжения можно измерить в анкерах (анкерных креплениях) с разными механизмами работы, например, в закладных анкерах, анкерах с подрезкой и распорных анкерах.

В результате этого остаточное усилие предварительного напряжения по истечении значительного промежутка времени составит 30-50% от изначального усилия, если не предпринимаются контрмеры. Рекомендуется производить повторную затяжку с заданным моментом в первый и во второй дни после установки, и далее каждые 1-3 года.

Усилие предварительного напряжения анкера в трещине

В случае раскрытия трещины в месте расположения (установки) анкера значение усилия предварительного напряжения может уменьшаться до нуля и, следовательно, не может приниматься в расчёт анкерных креплений с учетом устойчивости к усталостным нагрузкам.

Влияние предварительного напряжения на анкеры под действием сдвигающей нагрузки

Как показано выше, сжимающее усилие между закрепляемой деталью и базовым материалом напрямую зависит от приложения усилия предварительного напряжения в анкере. Как правило, усталостная прочность стали под действием сдвигающей нагрузки не является настолько высокой, как при чистом растяжении. В связи с этим, должна быть выполнена попытка передачи по меньшей мере части динамической сдвигающей нагрузки бетону посредством трения. Соответственно, если усилие предварительного напряжения является высоким, доля усилия, принимаемая анкером будет меньше. Это существенно влияет на количество требуемых анкеров.

Усилие предварительного напряжения анкерного крепления с плечом силы

В анкерных креплениях с плечом силы часть болта, выступающая над бетоном, не подвергается предварительному натяжению. В данном случае усталостную прочность крепления определяет только тип резьбовой шпильки (накатанная или закаленная после термообработки). Тем не менее, усилие предварительного напряжения является важным с точки зрения достижения высокого уровня жесткости крепления.

Влияние метода накатки резьбы

Метод накатки резьбы имеет решающее влияние на его усталостную прочность. Резьба, накатанная после термообработки болта, обладает более высокой усталостной прочностью по сравнению с резьбовой шпилькой, прошедшей закалку. Все резьбовые части анкеров Hilti накатываются после термообработки. Диаметр резьбы также имеет бесспорное влияние на предел усталостной прочности. Предел усталостной прочности снижается с увеличением диаметра.

Соответствие требованиям при действии усталостной нагрузке

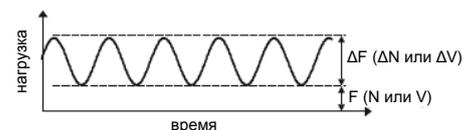
Как механические, так и клеевые анкеры, подходят для креплений, подвергающихся усталостной нагрузке. Поскольку именно марка стали имеет решающее значение, компания Hilti изготавливает анкеры HDA и HVZ из специальных марок стали, устойчивых к усталости и прошедшие соответствующие испытания. Что касается других анкеров, необходимо руководствоваться общими рекомендациями относительно пределов их прочности, в частности, стандартами в проектировании.

2.4 Расчёт анкеров

2.4.1 Расчётная нагрузка

Для проектирования переменные усталостные нагрузки, указанные в Разделах 1 и 2.2, нужно характеризовать как неоднократные изменения между минимальным и максимальным значением нагрузки. Наименьшая непрерывно действующая нагрузка называется статической нагрузкой F ; разница между непрерывно действующей нагрузкой F и максимальной нагрузкой есть составляющая усталостной нагрузки ΔF . В случае со сдвигающими нагрузками, составляющая усталостной нагрузки ΔV действует непосредственно на крепежный элемент при превышении силы трения между плитой основания и базовым материалом. В случае с растягивающими нагрузками, требуется определить составляющую усталостной нагрузки ΔN в болте.

В рамках упрощенного расчёта в соответствии с техническим сертификатом DIBt все нагрузки принимают в соответствии с $\Delta F = F + \Delta F$, при этом трение и усилие предварительного напряжения в анкере не учитываются (равны 0).



2.4.2 Внутренние напряжения в бетоне

Внутреннее напряжение в бетоне без трещин, которое может учитываться во всех случаях длительной работы, составляет:

$$F_{B,d} = \frac{k_1 \cdot M_d \cdot k_\infty}{k_u \cdot d}$$

где

$F_{B,d}$ внутреннее напряжения анкера

k_1 коэффициент, определенный в ходе испытаний = 0,5

M_d момент затяжки [Нм]

k_∞ коэффициент для длительной работы

без напряжения: 0,3 для HDA и 0,2 для HVZ

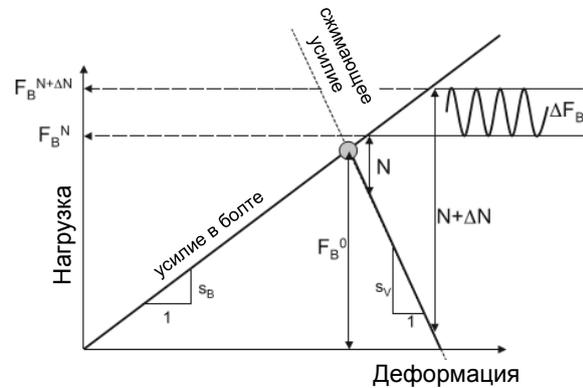
с регулярным растяжением: 0,4 для HDA и 0,3 для HVZ

k_u переводной коэффициент = 0,3

d номинальный диаметр анкера [мм]

Внутреннее напряжение при наличии трещины исчезает и, следовательно, равно нулю.

2.4.3 Составляющая усталостной нагрузки



● Болт затянут, внешняя нагрузка отсутствует

Усилие в болте:

- При статической нагрузке N :

$$\text{Если } N \geq F_B^0 \cdot (1 + s): F_B^N = N$$

$$\text{Если } N < F_B^0 \cdot (1 + s): F_B^N = F_B^0 + N \cdot \frac{s}{1 + s}$$

- При максимальной нагрузке $N + \Delta N$:

$$\text{Если } N + \Delta N \geq F_B^0 \cdot (1 + s): F_B^{N+\Delta N} = N + \Delta N$$

$$\text{Если } N + \Delta N < F_B^0 \cdot (1 + s): F_B^{N+\Delta N} = F_B^0 + (N + \Delta N) \cdot \frac{s}{1 + s}$$

$$S = s_b / s_v$$

По результатам различных исследований, можно принять $s = 0,67$

Составляющая усталостной растягивающей нагрузки в болте:

$$\Delta F_B = F_B^{N+\Delta N} - F_B^N$$

$$\text{Минимальное сжимающее усилие: } N_{k,min} = F_B^{N+\Delta N} - (N + \Delta N)$$

Сопротивление трению: $V_{Rd} = N_{k,min} \cdot \mu$

$N_{k,min}$ минимальное сжимающее усилие

μ коэффициент трения = 0,2

Если максимальное усилие сдвига $V_E + \Delta V_E \leq V_{Rd}$, действующая на анкер сила составит $\Delta V = 0$. В противном случае, общее внешнее усилие, действующее на анкер, принимается $\Delta V = \Delta V_E$.

2.4.4 Статическая прочность

Сопротивление максимальной нагрузке подлежит проверке путем сравнения статического расчёта с нормальным расчётом анкеров в соответствии с национальными и международными нормами и правилами (ETA, ICC-ES, и т.д.).

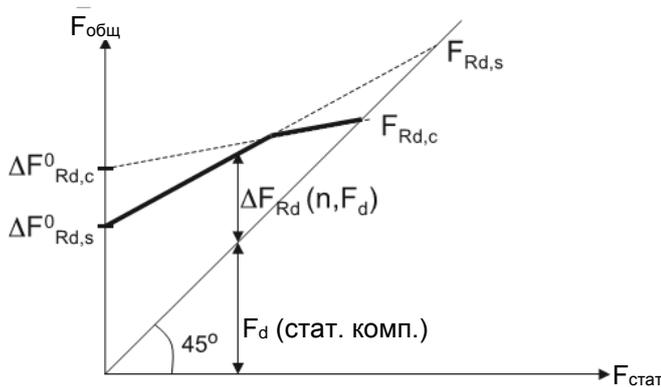
2.4.5 Усталостная прочность

В целом, расчёт на усталостную прочность должен выполняться в отношении связанной с усталостью составляющей внешнего усилия ΔF и соответствующего количества циклов нагружения n .

$$\Delta F_{R,d}(n) > \Delta F_d$$

В рамках упрощенного расчёта количество циклов нагружения составляет $n \geq 2\,000\,000$, а общая нагрузка связана с усталостью.

Применительно к растягивающим и сдвигающим усилиям необходимо определить усталостную прочность стали и бетона. Данные величины ($\Delta N_{Rd,s}$, $\Delta N_{Rd,c}$, $\Delta V_{Rd,s}$, $\Delta V_{Rd,c}$) определяются в ходе испытаний для каждого конкретного количества циклов нагружения (кривые Веллера).



$$\Delta N_{Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \Delta N_{Rd,s}^0 + (N_{Rd,s} - \Delta N_{Rd,s}^0) \cdot \frac{N_d}{N_{Rd,s}} - N_d \\ \Delta N_{Rd,c}^0 + (N_{Rd,c} - \Delta N_{Rd,c}^0) \cdot \frac{N_d}{N_{Rd,c}} - N_d \end{array} \right\}$$

$$\Delta V_{Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \Delta V_{Rd,s}^0 + (V_{Rd,s} - \Delta V_{Rd,s}^0) \cdot \frac{V_d}{V_{Rd,s}} - V_d \\ \Delta V_{Rd,c}^0 + (V_{Rd,c} - \Delta V_{Rd,c}^0) \cdot \frac{V_d}{V_{Rd,c}} - V_d \end{array} \right\}$$

Для групповых креплений необходимо учитывать групповой коэффициент на увеличение для наиболее нагруженного анкера вследствие перераспределения нагрузки с более упругих анкеров к более жестким.

2.4.6 Упрощенная оценка усталостной прочности

В отношении некоторых анкеров, имеющиеся данные об усталостной прочности не позволяют выполнить полный расчёт, как показано в пунктах 2.4.2-2.4.5, но при этом лабораторные испытания показали, что данные анкеры способны принимать усталостные нагрузки. На основании данных о поведении материала под действием нагрузок, вызывающих усталость (см. Раздел 2.2) могут приниматься следующие допущения:

- После 2 000 000 циклов нагружения остаточная прочность стали анкеров из углеродистой стали составит 25-35% от первоначальной прочности.
- Прочность бетона и кладки снижается примерно до 55-65% от первоначальной прочности.

Исходя из этого, расчёт анкеров можно выполнять как статический в PROFIS Anchor. В отношении анкеров из углеродистой стали (оцинкованные, горячеоцинкованные и оцинкованные диффузным способом) необходимо убедиться в том, что их коэффициент использования разрушения по стали не превышает 25%, а коэффициент использования для других типов разрушений не превышает 55%.

Для анкеров из нержавеющей стали не существует четкого разграничения усталости. Если рассматриваемое количество циклов нагружения не превышает 2 000 000 циклов, данный метод расчёта будет являться наиболее подходящим для нержавеющей стали; в противном случае может возникнуть необходимость учитывать дальнейшее снижение прочности стали в зависимости от конкретных свойств материала.

2.5 Информация о продуктах

Приведенные ниже значения сопротивления анкеров растягивающим, сдвигающим и комбинированным нагрузкам утверждены DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik). Данная информация об изделиях действительна только в сочетании с общей информацией об изделиях, содержащейся в Руководстве по анкерному крепежу.

В дополнение к этому требуется использование динамического набора (см. Приложение А).

Для расчёта необходимо принимать во внимание следующие допущения:

- Все приложенные нагрузки вызывают усталость;
- Коэффициент безопасности по нагрузке $\gamma_F = 1,0$;
- Для креплений, состоящей из группы анкеров, необходимо учитывать соответствующий коэффициент (перераспределение нагрузок в группе анкеров);
- Количество циклов нагружения $n \geq 2\,000\,000$;
- Расчёт с уменьшенными краевыми и межосевыми расстояниями или другими характеристиками бетона выполняется в соответствии с Руководством по анкерному крепежу или программой расчёта анкерных креплений PROFIS Anchor;
- Прочность бетона должна быть уменьшена.

2.5.1 Информация об анкере HDA

Техническое свидетельство DIBt устанавливает нормативное сопротивление анкера по стали и сопротивление выдергиванию под действием нагрузок, вызывающих усталость, как показано ниже. Виды разрушения бетона учитываются посредством указания процента статического сопротивления, которое может быть принято во внимание в условиях воздействия нагрузок, вызывающих усталость.

Данные об основных нагрузках анкера HDA в соответствии с техническим свидетельством DIBt Z-21.1-1693 от 12 апреля 2007 г.

Нормативное сопротивление ΔR_k [кН]: Класс прочности бетона B25 (C20/25) (согласно DIBt)

Анкер	M10	M12	M16
Растяжение $\Delta N_{Rk,s}$ HDA-P и HDA-P	10	17,5	17,5
Растяжение $\Delta N_{Rk,p}$ HDA-P и HDA-P	16	22	48
Растяжение: разрушение от выкалывания бетона основания	$\Delta N_{Rk,c} = 0,64 \cdot N_{Rk,c}$		
Сдвиг $\Delta V_{Rk,s}$ HDA-P	2,5	6,0	8,0
Сдвиг $\Delta V_{Rk,s}$ HDA-T	8,5	15	23
Сдвиг: разрушение от выкалывания бетона основания	$\Delta V_{Rk,cp} = 0,64 \cdot V_{Rk,cp}$		
Сдвиг: разрушение от раскалывания основания	$V_{Rk,c} = 0,64 \cdot V_{Rk,c}$		

Коэффициенты безопасности по материалу:

$$\gamma_{MsN} = 1.5; \gamma_{MsV} = 1.35; \gamma_{Mp} = 1.35; \gamma_{Mc} = 1.35; \gamma_{Mcp} = 1.35$$

Групповые коэффициенты: Растяжение: $\gamma_{F,N}$ / **Сдвиг:** $\gamma_{F,V}$

$\gamma_{F,N} = \gamma_{F,V} = 1,0$ для одного анкера

$\gamma_{F,N} = 1,3$ $\gamma_{F,V} = 1,2$ для группы анкеров >1

Расчётные значения:

Растяжение

Для обеспечения несущей способности анкера при растяжении необходимо принять наименьшее значение ΔN_{Rd} :

Разрушение по стали: $\Delta N_{Rd,s}$

Разрушение по контакту с основанием (в бетоне с трещинами):

$$\Delta N_{Rd,p} = \Delta N^0_{Rd,p} \cdot f_B$$

Разрушение от выкалывания бетона основания:

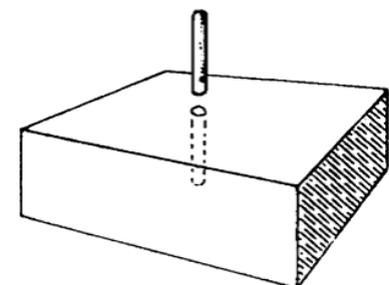
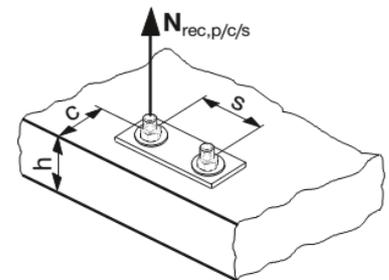
$$\Delta N_{Rd,c} = \Delta N^0_{Rd,c} \cdot f_B \cdot f_{1,N} \cdot f_{2,N} \cdot f_{3,N} \cdot f_{re,N}$$

Разрушение от раскалывания основания (только в бетоне без трещин):

$$\Delta N_{Rd,sp} = \Delta N^0_{Rd,c} \cdot f_B \cdot f_{1,sp} \cdot f_{2,sp} \cdot f_{3,sp} \cdot f_{3,N} \cdot f_{h,sp} \cdot f_{re,sp}$$

Сопротивление разрушению по стали

Размер анкера HDA-T/HDA-P	M10	M12	M16
$\Delta N_{Rd,s}$ [кН]	6,7	11,7	22,7



**Сопротивление разрушению по контакту с основанием
(только в бетоне с трещинами)**

- Класс прочности бетона B25 (C20/25)

Размер анкера HDA-T/HDA-P	M10	M12	M16
$\Delta N_{Rd,p}^{0,1)}$ [кН] В бетоне с трещинами	11,9	16,3	35,6

¹⁾ Исходное значение расчётного растягивающего усилия от вытягивания рассчитывается по формуле $\Delta N_{Rd,p}^0 = \Delta N_{Rk,p}^0 / \gamma_{Mc}$, где частный коэффициент безопасности бетона составляет $\gamma_{Mc} = 1,35$. Величина смещения составляет менее $d_{95\%} < 3$ мм после 1000 циклов растрескивания ($w = 0,3$ мм).

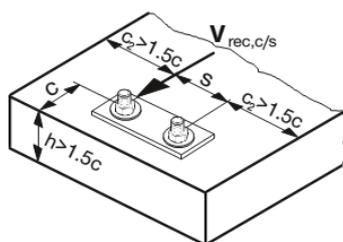
Сопротивление разрушению от выкалывания бетона основания

- Класс прочности бетона B25 (C20/25)

Размер анкера HDA-T/HDA-P	M10	M12	M16
$\Delta N_{Rd,c}^{0,1)}$ [кН] В бетоне с трещинами $w = 0,3$ мм	19,7	27,5	51,5
$\Delta N_{Rd,c}^{0,1)}$ [кН] В бетоне без трещин	27,5	38,5	72,1

¹⁾ Значение расчётной растягивающей нагрузки от разрушения конуса бетона рассчитывается по формуле $\Delta N_{Rd,c}^0 = \Delta N_{Rk,c}^0 / \gamma_{Mc}$, где частный коэффициент безопасности бетона составляет $\gamma_{Mc} = 1,35$ при $\Delta N_{Rd,c}^0 = 64\% N_{Rd,c}^0$.

Критические краевые расстояния $s_{cr,sp}$, $c_{cr,sp}$, $s_{cr,n}$, $c_{cr,n}$, а также коэффициенты влияния f_b , f_1 , N , f_2 , N , $f_{3,N}$, $f_{re,N}$, $f_{1,sp}$, $f_{2,sp}$, $f_{3,sp}$, $f_{3,N}$, $f_{h,sp}$, $f_{re,sp}$ вычисляются в соответствии с применимым Руководством по анкерному креплению.


Сдвиг

Для обеспечения несущей способности анкера при сдвиге необходимо принять наименьшее значение ΔV_{Rd} :

Разрушение по стали: $\Delta V_{Rd,s}$

Разрушение от выкалывания бетона основания за анкером:

$$\Delta V_{Rd,cp} = \Delta V_{Rd,cp}^0 \cdot f_b \cdot f_{1,N} \cdot f_{2,N} \cdot f_{3,N} \cdot f_{re,N}$$

Разрушение от откалывания края основания: $\Delta V_{Rd,c} = \Delta V_{Rd,c}^0 \cdot f_b \cdot f_\beta \cdot f_h \cdot f_4$

Сопротивление разрушению по стали при сдвиге

Размер анкера HDA-T/HDA-P	M10	M12	M16	
$\Delta V_{Rd,s}^{0,1)}$ [кН]				
	HDA-T	6,3	11,1	17,0
	HDA-P	2,0	4,4	5,9

¹⁾ Сопротивление расчётной сдвигающей нагрузке вычисляется по формуле $\Delta V_{Rd,s}^0 = \Delta V_{Rk,s}^0 / \gamma_{Ms,v}$. Частный коэффициент безопасности $\gamma_{Ms,v}$ для HDA-T равен 1,5 и 1,25 для HDA-R

Разрушение от выкалывания бетона основания за анкером (только в бетоне с трещинами)

- Класс прочности бетона B25 (C20/25)

Размер анкера HDA-T/HDA-P	M10	M12	M16
$V_{Rd,cp}^0$ [кН] В бетоне с трещинами	28,2	39,3	73,8

¹⁾ Расчётное значение предельного состояния при сдвиге $\Delta V_{Rd,cp}^0$ вычисляется на основании нормативного сопротивления сдвигу анкера, $\Delta V_{Rk,cp}^0$, деленного на $\gamma_{Mc,v}$, где частный коэффициент безопасности $\gamma_{Mc,v}$ равен 1,62, а $\Delta V_{Rk,cp} = 55\% V_{Rk,cp}$

Разрушение от откалывания края основания

- Класс прочности бетона B25 (C20/25)
- При минимальном краевом расстоянии c_{min}

Размер анкера HDA-T/HDA-P	M10	M12	M16
c_{min}^1 [мм] минимальное краевое расстояние	80	100	150
$V_{Rd,c}^0$ [кН] В бетоне с трещинами $W = 0,3$ мм	3,1	4,6	9,5

¹⁾ Расчётное значение предельного состояния при сдвиге $\Delta V_{Rd,c}^0$ вычисляется на основании нормативного сопротивления сдвигу анкера, $\Delta V_{Rk,c}^0$, деленного на $\gamma_{Mc,v}$, где частный коэффициент безопасности $\gamma_{Mc,v}$ равен 1,62, а $\Delta V_{Rk,c} = 55\% V_{Rk,c}$

Критические краевые и межосевые расстояния s_{crn} , c_{crn} , а также коэффициенты влияния f_b , f_1 , N , $f_{2,N}$, $f_{3,N}$, $f_{re,N}$, f_β , f_h , f_4 вычисляются в соответствии с Руководством по анкерному креплению.

Сталь:
$$\frac{\Delta N_{Rd,s}^h}{\Delta N_{Rd,s}^h} + \frac{\Delta V_{Rd,s}^h}{\Delta V_{Rd,s}^h} \leq 1.0 \quad \text{наиболее нагруженный анкер}$$

Бетон:
$$\frac{\Delta N_{Rd,c}^g}{\Delta N_{Rd,c}^g} + \frac{\Delta V_{Rd,c}^g}{\Delta N_{Rd,c}^g} \leq 1.0 \quad \text{группа анкеров}$$

2.5.2 Информация об анкеру HVZ

Техническое свидетельство DIBt распространяется на размеры M10, M12 и M16. В подробных таблицах расчётных значений также даются рекомендации по размерам M20, основанные на результатах внутренних испытаний.

Данные об основных нагрузках анкера HAS-TZ в соответствии с техническим свидетельством DIBt Z-21.3-1692 от 18 октября 2008 г.

Нормативное сопротивление ΔR_k [кН]: Класс прочности бетона B25 (C20/25)

(согласно DIBt)

Анкер HVZ с HAS-TZ	M10 x 75	M12 x 95	M16 x 105	M16 x 105
Растяжение $\Delta N_{Rk,s}$	10	18	20	26
Растяжение $\Delta N_{Rk,p,cr}$ В бетоне с трещинами	12	21	24	30
Растяжение $\Delta N_{Rk,p,ucr}$ В бетоне без трещин	15	24	30	36
Растяжение: разрушение от выкалывания бетона основания	$\Delta N_{Rk,c} = 0,60 \cdot N_{Rk,c}$			
Сдвиг $\Delta V_{Rk,s}$ HDA-P	4,5	8,5	15	15
Сдвиг: разрушение от выкалывания бетона основания за анкером	$V_{Rk,cp} = 0,60 \cdot V_{Rk,cp}$			

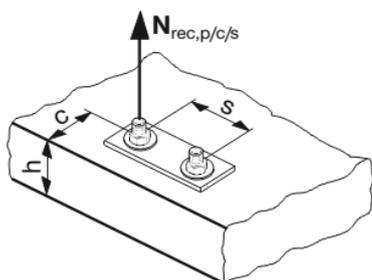
Коэффициенты безопасности по материалу:

$$\gamma_{MsN} = 1,35; \gamma_{MsV} = 1,35; \gamma_{Mp} = 1,5; \gamma_{Mc} = 1,5; \gamma_{Mcp} = 1.$$

Групповые коэффициенты: Растяжение: $\gamma_{F,N}$ / **Сдвиг:** $\gamma_{F,V}$

$\gamma_{F,N} = \gamma_{F,V} = 1,0$ для одного анкера

$\gamma_{F,N} = 1,3$ $\gamma_{F,V} = 1,3$ для группы анкеров >1



Растяжение

Для обеспечения несущей способности анкера при растяжении необходимо принять наименьшее значение ΔN_{Rd} :

Разрушение по стали: $\Delta N_{Rd,s}$

Разрушение по контакту основания: $\Delta N_{Rd,p} = \Delta N_{Rd,p}^0 \cdot f_{B,p} \cdot f_{h,p}$

Разрушение от выкалывания бетона основания:

$$\Delta N_{Rd,c} = \Delta N_{Rd,c}^0 \cdot f_B \cdot f_{1,N} \cdot f_{2,N} \cdot f_{3,N} \cdot f_{h,N} \cdot f_{re,N}$$

Разрушение от раскалывания основания (только в бетоне без трещин):

$$\Delta N_{Rd,sp} = \Delta N_{Rd,c}^0 \cdot f_B \cdot f_{1,sp} \cdot f_{2,sp} \cdot f_{3,sp} \cdot f_{3,N} \cdot f_{h,sp} \cdot f_{re,sp}$$

$\Delta N_{Rd,s}$: Сопротивление разрушению по стали

Размер анкера	M10 x 75	M12 x 95	M16 x 105	M16 x 105	M20 x 170
$\Delta N_{Rd,s}$ ¹⁾ [кН] HAS-TZ, класс стали 8.8	7,4	13,3	14,8	19,3	20,7

¹⁾ Частный коэффициент безопасности, $\gamma_{Ms,N} = 1,35$.

$\Delta N_{Rd,p}$: Разрушение по контакту с основанием

- Класс прочности бетона B25 (C20/25)

Размер анкера HVZ	M10 x 75	M12 x 95	M16 x 105	M16 x 105	M20 x 170
$\Delta N_{Rd,p}^{(1)}$ [кН] в бетоне с трещинами	8,0	14,0	16,0	20,0	29,4
$\Delta N_{Rd,p}^{(1)}$ [кН] в бетоне без трещин	10,0	16,0	20,0	24,0	35,6

¹⁾ Исходное значение расчётной растягивающей нагрузки от вытягивания рассчитывается по формуле $\Delta N_{Rd,p}^0 = \Delta N_{Rk,p}^0 / \gamma_{Mp}$, где частный коэффициент безопасности бетона составляет $\gamma_{Mp} = 1,50$.

$\Delta N_{Rd,c}$: Разрушение от выкалывания бетона основания

- Класс прочности бетона B25 (C20/25)

Размер анкера HVZ	M10 x 75	M12 x 95	M16 x 105	M16 x 105	M20 x 170
$\Delta N_{Rd,c}^{(1)}$ [кН] в бетоне без трещин	13,1	18,7	21,7	28,3	44,8
$\Delta N_{Rd,c}^{(1)}$ [кН] в бетоне с трещинами	9,4	13,3	15,5	20,1	31,9

¹⁾ Расчётное сопротивление на растяжение вычисляется, исходя из величины растягивающего нормативного сопротивления $\Delta N_{Rk,c}^0 = 60\% N_{Rk,c}$ при $\Delta N_{Rd,c}^0 = \Delta N_{Rk,c}^0 / \gamma_{Mc,N}$, где частный коэффициент безопасности $\gamma_{Mc,N}$ равен 1,50.

Критические краевые и межосевые расстояния $s_{cr,sp}$, $c_{cr,sp}$, s_{cm} , c_{cm} , а также коэффициенты влияния f_b , $f_{1,N}$, $f_{2,N}$, $f_{3,N}$, $f_{re,N}$, $f_{1,sp}$, $f_{2,sp}$, $f_{3,sp}$, $f_{3,N}$, $f_{h,sp}$, $f_{re,sp}$ вычисляются в соответствии с Руководством по анкерному креплению.

Сдвиг

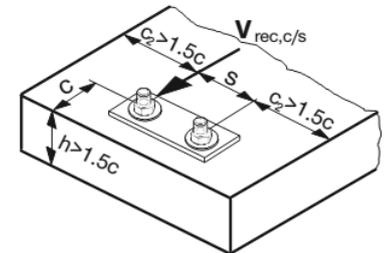
Для обеспечения несущей способности анкера при сдвиге необходимо принять наименьшее значение ΔV_{Rd} :

Разрушение по стали: $\Delta V_{Rd,s}$

Разрушение от выкалывания бетона основания за анкером:

$$\Delta V_{Rd,cp} = \Delta V_{Rd,cp}^0 \cdot f_b \cdot f_{1,N} \cdot f_{2,N} \cdot f_{3,N} \cdot f_{re,N}$$

Разрушение от откалывания края основания: $\Delta V_{Rd,c} = \Delta V_{Rd,c}^0 \cdot f_b \cdot f_{\beta} \cdot f_h \cdot f_4$



$\Delta V_{Rd,s}$: Сопротивление разрушению по стали при сдвиге

Размер анкера	M10 x 75	M12 x 95	M16 x 105	M16 x 105	M20 x 170
$\Delta V_{Rd,s}^{(1)}$ [кН] HAS-TZ, класс стали 8.8	3,3	6,3	11,1	11,1	11,1

¹⁾ Расчётное сопротивление сдвигу вычисляется по формуле $\Delta V_{Rd,s} = V_{Rk,s} / \gamma_{Ms,V}$, где частный коэффициент безопасности $\gamma_{Ms,V}$ равен 1,35.

$\Delta V_{Rd,c}$:

- Класс прочности бетона B25 (C20/25)

Размер анкера	M10 x 75	M12 x 95	M16 x 105	M16 x 105	M20 x 170
$\Delta V_{Rd,cp}^{(1)}$ [кН] в бетоне с трещинами	18,7	26,6	31,0	40,2	63,8

¹⁾ Расчётное значение предельного состояния при сдвиге вычисляется на основании нормативного сопротивления сдвигу анкера, $\Delta V_{Rk,c}^0 = 60\% V_{Rk,c}^0$ деленного на $\gamma_{Mc,V}$, где частный коэффициент безопасности $\gamma_{Mc,V}$ равен 1,5.

$\Delta V_{Rd,c}$: Расчётное сопротивление кромки бетона при c_{min}

- Класс прочности бетона B25 (C20/25)

Размер анкера HVZ	M10 x 75	M12 x 95	M16 x 105	M16 x 105	M20 x 170
$\Delta V_{Rd,c}^{(1)}$ [кН] в бетоне без трещин	2,2	4,0	5,9	6,2	6,6
$\Delta V_{Rd,c}^{(1)}$ [кН] в бетоне с трещинами		14,0	16,0	20,0	29,4
c_{min} [мм] мин. краевое расстояние	60	75	85		4,7

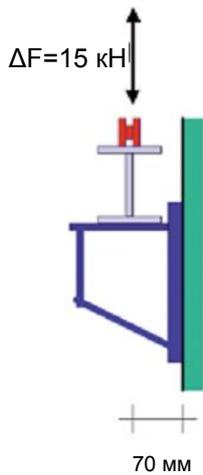
¹⁾ Расчётное значение предельного состояния при сдвиге вычисляется на основании нормативного сопротивления сдвигу анкера $\Delta V_{Rk,c}^0 = 60\% V_{Rk,c}^0$ деленного на $\gamma_{Mc,V}$, где частный коэффициент безопасности $\gamma_{Mc,V}$ равен 1,5.

Комбинированные нагрузки

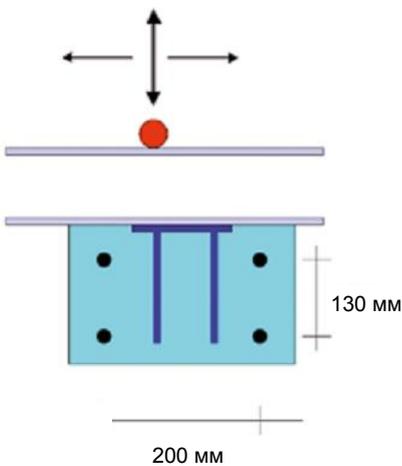
Сталь: $\left(\gamma_{FN} \cdot \frac{\Delta N_{Sd}^h}{\Delta N_{Rd,s}} \right)^\alpha + \left(\gamma_{FV} \cdot \frac{\Delta V_{Sd}^h}{\Delta V_{Rd,s}} \right)^\alpha \leq 1.0$ наиболее нагруженный анкер при $\alpha=0,75$ (M10); $\alpha=0,80$ (M12) $\alpha=1,0$ (M16, M20)

Бетон: $\frac{\Delta N_{Sd}^g}{\Delta N_{Rd,c}^g} + \frac{\Delta V_{Sd}^g}{\Delta V_{Rd,c}^g} \leq 1.0$ группа анкеров

Выдергивание $\gamma_{FN} \cdot \frac{\Delta N_{Sd}^h}{\Delta N_{Rd,p}} \leq 1.0$



Поперечное сечение



2.5.3 Другие анкеры

Испытания на усталость проводились также и на других анкерах. Отчеты об испытаниях действительны в отношении тестируемых конфигураций и поэтому не могут экстраполироваться на различные ситуации без соответствующей технической оценки. Если Вам нужно убедиться в том, подходит ли тот или иной анкер для усталостной нагрузки и узнать, какие испытания на усталость проводились для него, свяжитесь с технической службой компании Hilti.

Анкеры, которые были протестированы на пригодность для применения при усталостных нагрузках, могут быть рассчитаны в соответствии с пунктом 2.4.6 или на основе данных, приведенных в соответствующих протоколах испытаний.

2.6 Примеры расчётов

2.6.1 Упрощенный расчёт анкерного крепления кранового пути к бетону

Исходные данные:

- Анкер Hilti HDA-T M12, уставленный в бетоне с трещинами,
- Класс прочности бетона B30 (C25/30)
- Приложенная сдвигающая нагрузка: $S_k = 15$ кН (максимальная нагрузка)
- Толщина базового материала: $h > 250$ мм
- Межосевые расстояния: $s_1 = 200$ мм, $s_2 = 130$ мм
- Длина анкерной плиты: $L_x = 300$ мм
- Ширина анкерной плиты: $L_y = 230$ мм
- Количество циклов нагружения $N = 2\,000\,000$

Статический расчёт

Коэффициент безопасности по нагрузке $\gamma_Q = 1,5$

$$V_{sd} = 15,0 \cdot 1,5 = 22,5 \text{ кН}, \quad M_{sd} = 22,5 \text{ кН} \cdot 0,07 \text{ м} = 1,6 \text{ кНм}$$

Результаты расчёта в PROFIS Anchor 2.0 - HDA-T M12:

Растяжение:

$$\text{Разрушение по стали: } \frac{N_{sd}}{N_{Rd,s}} = 0.10$$

$$\text{Разрушение при выдергивании: } \frac{N_{sd}}{N_{Rd,p}} = 0.18$$

$$\text{Разрушение по конусу бетона: } \frac{N_{sd}}{N_{Rd,c}} = 0.15$$

Разрушение при раскалывании основания: не происходит в бетоне с трещинами

Сдвиг:

$$\text{Разрушение по стали: } \frac{V_{sd}}{V_{Rd,s}} = 0.08$$

$$\text{Разрушение при откалывании: } \frac{V_{sd}}{V_{Rd,cp}} = 0.13$$

Комбинированная нагрузка: $\beta_{n,v} = 0,12$

Упрощенный расчёт усталости

Данные:

- Все нагрузки вызывают усталость
- Предварительное напряжение в анкере отсутствует
- Жесткая плита основания
- $\gamma_{F,N} = \gamma_{F,V} = 1,0$ (коэффициент безопасности по нагрузке для одного анкера)
- $\gamma_{F,N} = 1,3$ (групповой коэффициент для растягивающей нагрузки)
- $\gamma_{F,V} = 1,2$ (групповой коэффициент для сдвигающей нагрузки)

Усталостные нагрузки

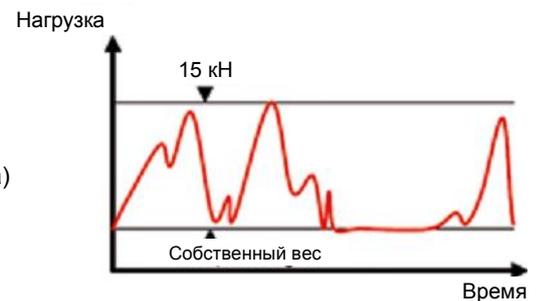
Отдельные анкера

Растягивающая нагрузка на отдельном верхнем анкере в верхнем ряду = наиболее нагруженный анкер (нестатический расчёт):

$$\Delta N_{sd}^h = \gamma_{F,N} \frac{N_{sd}^h}{\gamma_Q} = 1,3 \cdot \frac{4,6 \text{ кН}}{1,5} = 4,0 \text{ кН}$$

Растягивающая нагрузка на нижнем ряду анкеров:

$$\Delta N_{sd}^l = \gamma_{F,N} \frac{N_{sd}^l}{\gamma_Q} = 1,3 \cdot \frac{0,5 \text{ кН}}{1,5} = 0,4 \text{ кН}$$



Общая группа анкеров с растягивающей нагрузкой для контроля конуса бетона (без $\gamma_{F,N}$)

$$\Delta N_{Sd}^g = 2 \cdot \frac{N_{Sd}^h}{\gamma_{F,N}} + 2 \cdot \frac{N_{Sd}^l}{\gamma_{F,N}} = 2 \cdot \frac{4.0kN}{1.3} + 2 \cdot \frac{0.4kN}{1.3} = 6,8 \text{ кН}$$

Сдвигающая нагрузка на одном анкер: $\Delta V_{Sd} = \gamma_{F,V} \frac{V_{Sd}}{n \cdot \gamma_Q} = 1,2 \cdot \frac{22.5kN}{4 \cdot 1.5} = 4,5 \text{ кН}$

где n - количество анкеров в анкерной группе

Сопротивление

Растяжение

Разрушение по стали (проверять только на самом нагруженном анкер):
Сопротивление усилиям напряжения в стали одного анкера: $\Delta N_{Rd,s} = 11,7 \text{ кН}$

Проверка одного анкера: $\frac{\Delta N_{Sd}^h}{\Delta N_{Rd,s}} = \frac{4.0kN}{11.7kN} = 0.34$ Условие выполняется.

Разрушение по конусу бетона (проверять только в анкерной группе):

Сопротивление в статической группе: $N_{Rk,c}^g = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \Psi_{s,N} \cdot \Psi_{ec,N} \cdot \Psi_{ucr,N}$

$\Delta N_{Rd,c}^0 = 27,5 \text{ кН}$ (один анкер с подрезкой)

$$A_{c,N}^0 = (s_{cr,N})^2 = (375)^2 = 140625 \text{ мм}^2$$

$$A_{c,N} = (1,5 \cdot 120 \text{ мм} + 130 \text{ мм} + 1,5 \cdot 120 \text{ мм}) \cdot (1,5 \cdot 120 \text{ мм} + 200 \text{ мм} + 1,5 \cdot 120 \text{ мм}) = 274400 \text{ мм}^2$$

$$\frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} = 1.95$$

$\Psi_{s,N} = 1,0$ (без кромки)

Эксцентриситет вследствие изгибающего момента:

$$e_N = \left(\frac{4.6kN \cdot 65mm - 0.5kN \cdot 65mm}{5.1kN} \right) = 52 \text{ мм}$$

$$\Psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + 2e_N / s_{cr,N}} = 0.78 \quad (\leq 1)$$

$$\Delta N_{Rd,c}^g = 27.5 \cdot 1.95 \cdot 1.0 \cdot 0.78 = 41.8 \text{ кН}$$

Проверка анкерной группы: $\frac{\Delta N_{Sd}^g}{\Delta N_{Rd,c}^g} = \frac{6.8kN}{41.8kN} = 0.16 \leq 1 \rightarrow$ Условие выполняется.

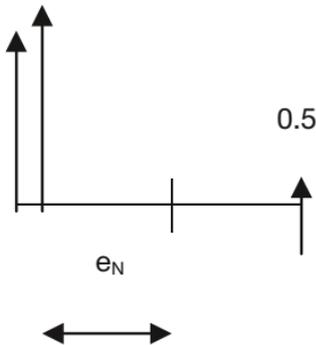
Разрушение при выдергивании (проверять только на самом нагруженном анкер):

$$\Delta N_{Rd,p} = f_B \cdot \Delta N_{Rd,p}^0 = 1,1 \cdot 16,3 \text{ кН} = 17,9 \text{ кН}$$

где f_b - коэффициент учета прочности бетона для В30 (C25/30)

Проверка одного анкера: $\frac{\Delta N_{Sd}^h}{\Delta N_{Rd,p}} = \frac{4.0kN}{17.9kN} = 0.22 \leq 1 \rightarrow$ Условие выполняется.

4.6



Сдвиг

Разрушение по стали:

Сопротивление сдвигу в одном анкере:

$\Delta V_{Rd,s} = 11,1 \text{ кН}$ (сопротивление сдвигу в одном анкере)

Проверка одного анкера: $\frac{\Delta V_{Sd}^h}{\Delta V_{Rd,s}} = \frac{4,5 \text{ кН}}{11,1 \text{ кН}} = 0,4 \leq 1 \rightarrow$ Условие выполняется.

Разрушение бетона: не играет решающего значения (без кромок)

Взаимодействие

Разрушение по стали в одном анкере:

$\frac{\Delta N_{Sd}^h}{\Delta N_{Rd,s}} + \frac{\Delta V_{Sd}^h}{\Delta V_{Rd,s}} = \frac{4,0 \text{ кН}}{11,7 \text{ кН}} + \frac{4,5 \text{ кН}}{11,1 \text{ кН}} = 0,75 \leq 1 \rightarrow$ Условие выполняется.

2.6.2 Упрощенный расчёт анкерного крепления разбалансированной вращающейся машины

Исходные данные:

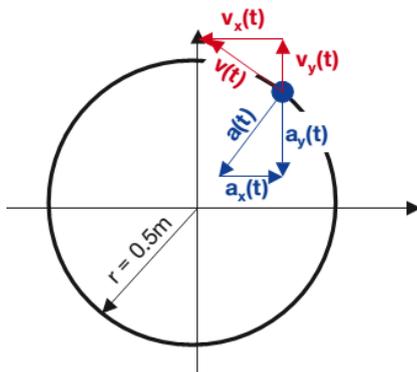
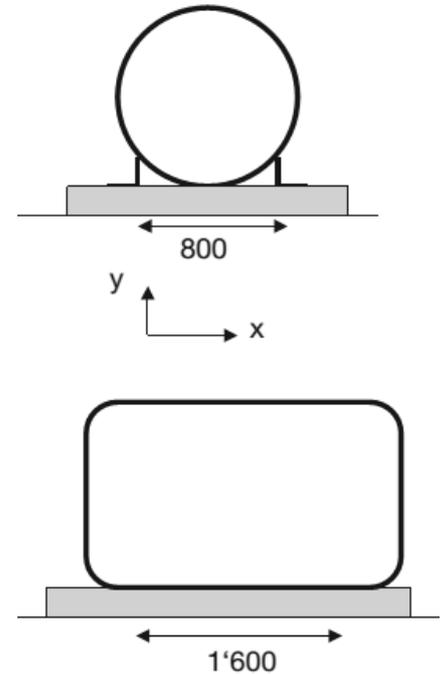
Анкер с подрезкой Hilti HDA, установленный в бетоне с трещинами,

- Класс прочности бетона: C30/37
- Собственный вес машины: $M = 400 \text{ кг}$
(максимальная нагрузка)
- Неуравновешенная масса: $M1 = 5,0 \text{ кг}$
- Радиус дисбаланса: $R1 = 0,5 \text{ м}$
- Скорость вращения: $\Omega = 3000 \text{ об/мин}$
- Толщина базового материала: $H > 250 \text{ мм}$
- Межосевые расстояния: $S1 = 800 \text{ мм}$
 $S2 = 1600 \text{ мм}$
- Длина анкерной плиты: $Lx = 1000 \text{ мм}$
- Ширина анкерной плиты: $Ly = 2000 \text{ мм}$
- Количество циклов нагружения: $N = 2\,000\,000$

Нагрузки

Собственный вес: $G = m \cdot g = 400 \text{ кг} \cdot 9,81 \text{ м/с}^2 = 3,9 \text{ кН}$

Внешние нагрузки вследствие неуравновешенной вращающейся массы



Боковые:

$$a_x(t) = -\omega^2 \cdot r_1 \cdot \cos \alpha$$

$$F_{x,dyn}(t) = m_1 \cdot a_x(t) = -m_1 \cdot \omega^2 \cdot r_1 \cdot \cos \alpha$$

$$F_{x,dyn,max} = -F_{x,dyn,min} = 5.0 \text{ kg} \cdot \left(50 \frac{1}{s}\right)^2 \cdot 0.5 \text{ m} = 6.25 \text{ кН}$$

Вертикальные

$$a_y(t) = -\omega^2 \cdot r_1 \cdot \sin \alpha$$

$$F_{y,dyn}(t) = m_1 \cdot a_y(t) = -m_1 \cdot \omega^2 \cdot r_1 \cdot \sin \alpha$$

$$F_{y,dyn,max} = -F_{y,dyn,min} = 5 \text{ kg} \cdot \left(50 \frac{1}{s}\right)^2 \cdot 0.5 \text{ m} = 6.25 \text{ кН}$$

Статический расчёт

Максимальная вертикальная нагрузка:

$$N_d^g = \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot F_{y,dyn} = 35 \cdot (-3,9 \text{ кН}) + 1,5 \cdot 6,25 \text{ кН} = 4,1 \text{ кН}$$

Растягивающая нагрузка на одном анкере: $N_d = \frac{N_d^g}{4} = 1,02 \text{ кН}$

Максимальная боковая нагрузка: $V_d^g = \gamma_Q \cdot F_{x,dyn} = 1,5 \cdot 6,25 \text{ кН} = 9,4 \text{ кН}$

Сдвигающая нагрузка на одном анкере:

$$V_d = \frac{V_d^g}{n} = \frac{9,4 \text{ кН}}{4} = 2,35 \text{ кН} \text{ где } n - \text{ количество анкеров}$$

Анкеры, удовлетворяющие требованиям расчёта: HDA-P и HDA-T M10

HVZ M10

HST M10

HSL-TZ M10

HSC-A M12x60

HSC-I M10x60

Упрощенный расчёт усталости

Данные:

- Все нагрузки вызывают усталость
- Предварительное напряжение в анкере отсутствует
- Жесткая плита основания
- $\gamma_{F,N} = \gamma_{F,V}$ (коэффициент безопасности по нагрузке для одного анкера)

Усталостные нагрузки на одиночные анкеры

$$\Delta N_{St}^h = \gamma_{F,N} \cdot \frac{G + F_{y,dyn,max}}{n} = 1,0 \cdot \frac{-3,9 \text{ кН} + 6,25 \text{ кН}}{4} = 0,6 \text{ кН}$$

$$\Delta V_{St}^h = \gamma_{F,V} \cdot \frac{(F_{x,dyn,max} + |F_{x,dyn,min}|)}{n} = 1,0 \cdot \frac{(6,25 \text{ кН} + 6,25 \text{ кН})}{4} = 3,1 \text{ кН}$$

Сопротивления

Растяжение

Разрушение по стали

Сопротивление усилиям напряжения в стали одного анкера HDA-T M10

 $\Delta N_{Rd,s} = 6,7 \text{ кН}$

Проверка одного анкера: $\frac{\Delta N_{Sd}^h}{\Delta N_{Rd,s}} = \frac{0,6 \text{ кН}}{6,7 \text{ кН}} = 0,09 \leq 1 \rightarrow$ Условие выполняется.

Разрушение по конусу бетона

Статическое сопротивление в одном анкере

$$N_{Rk,c}^0 = 8,3 \cdot \sqrt{f_{c,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5} = 8,3 \cdot \sqrt{37} \cdot 100^{1,5} = 50,5 \text{ кН}$$

 Усталостная прочность: $\Delta N_{Rk,c} = N_{Rk,c} \cdot 64\% = 32,2 \text{ кН}$

т.е. окончательная прочность бетона составляет 64% его статической прочности

$$\Delta N_{Rd,c} = \frac{\Delta N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}} = \frac{32,2 \text{ кН}}{1,62} = 19,9 \text{ кН}$$

Проверка одного анкера

$$\frac{\Delta N_{Sd}}{\Delta N_{Rd,c}} = \frac{0,6 \text{ кН}}{19,9 \text{ кН}} = 0,03 \leq 1 \rightarrow \text{Условие выполняется.}$$

Разрушение при выдергивании

$$\Delta N_{Rd,p} = f_B \cdot \Delta N_{Rd,p}^0 = 1,22 \cdot 11,9 \text{ кН} = 14,5 \text{ кН}$$

Проверка одного анкера

$$\frac{\Delta N_{Sd}}{\Delta N_{Rd,p}} = \frac{0,6 \text{ кН}}{14,5 \text{ кН}} = 0,05 \leq 1 \rightarrow \text{Условие выполняется.}$$

Сдвиг:

Разрушение по стали

Сопротивление сдвигу в одном анкере:

 $\Delta V_{Rd,s} = 6,3 \text{ кН}$

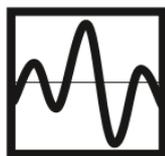
Проверка одного анкера

$$\frac{\Delta V_{Sd}}{\Delta V_{Rd,s}} = \frac{3,1 \text{ кН}}{6,3 \text{ кН}} = 0,49 \leq 1 \rightarrow \text{Условие выполняется.}$$

Взаимодействие:

Разрушение по стали в одном анкере

$$\frac{\Delta N_{Sd}^h}{\Delta N_{Rd,s}} + \frac{\Delta V_{Sd}^h}{\Delta V_{Rd,s}} = 0,58 \leq 1,0 \rightarrow \text{Условие выполняется.}$$



3. Сейсмические нагрузки

3.1 Общие сведения

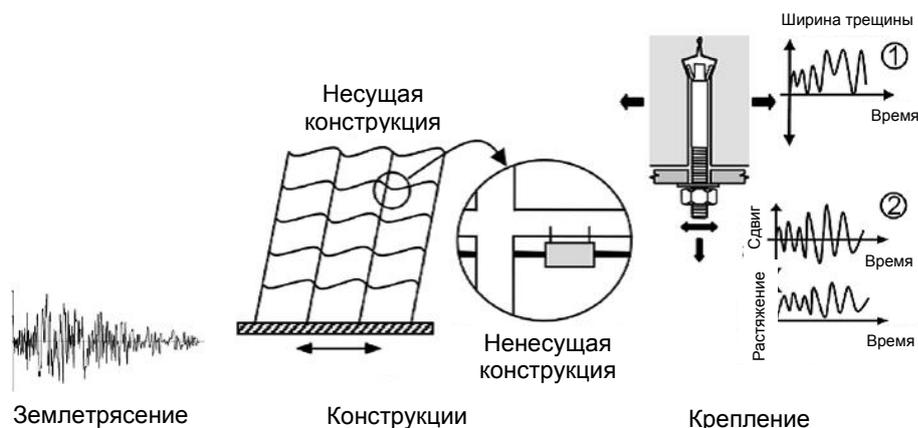
Землетрясения – взаимодействие конструкций и нагружение анкеров

Землетрясения могут различными способами воздействовать на конструкции. К таким воздействиям относятся ускорение грунта (колебание грунта), неравномерная осадка фундаментов в результате частичной потери прочности грунта или другие явления в литосфере, а также возможное боковое и вертикальное перемещение по линии сброса. С точки зрения проектирования, вынужденные колебания конструкций представляют собой наиболее очевидную и распространенную схему нагрузок для расчёта. При этом, именно возникающие деформации, а не инерционные силы, зачастую являются причиной разрушений конструкций при землетрясениях, особенно если данные конструкции не рассчитаны на подобные деформации.

Как правило, ускорения грунта передаются конструкциям через фундаменты, которые взаимодействуют с грунтом и горными породами в результате сложной взаимосвязи между силами трения и нагрузками от конструкций. Собственные колебания Земли вызывают различные ответные реакции в конструкциях в зависимости от величины, частоты и продолжительности колебания грунта, прочности грунта и динамических характеристик конструкций.

При возникновении реакций на колебания грунта возможно постепенное разрушение несущих конструкций, служащие базовым материалом для анкерных креплений. Подобное разрушение в железобетонных конструкциях в значительной степени выражается в виде трещин в несущих элементах. Кроме того, перемещения несущих конструкций вызывают перемещения в ненесущих конструкциях, такие как дополнительные элементы несущих конструкций или вспомогательное оборудование. Если ненесущая конструкция крепится анкерами к основанию несущих конструкций, перемещения в несущих конструкциях вызывают растягивающие и сдвигающие усилия в анкерах.

Воздействия на анкерные крепления несущих конструкций при сейсмических нагрузках (источник: Hoehler 2006)



Особенности сейсмических условий

Сейсмические условия для анкерных креплений отличаются от креплений несейсмических условий следующим образом:

- **Характер распространения и величина раскрытия трещин** в базовом материале увеличиваются.
- **Значения внутренних усилий** в анкерном креплении и базовом материале увеличиваются.
- **Характер колебаний изменяется со временем (в рамках цикла);** относительная амплитуда, число и последовательность колебаний могут иметь важное значение.
- Величины колебаний имеют очень приближенные значения.
- **Низкая вероятность возникновения** вынужденных колебаний конструкций во время землетрясений в процессе эксплуатации конструкций.

3.2 Анкеры под действием сейсмической нагрузки

Общие сведения

Работа анкеров в условиях сейсмических воздействий может быть описана в контексте их сравнения с работой анкеров в несейсмических условиях (см. **Особенности сейсмических условий**).

Увеличенное количество и величина раскрытия трещин в конструкциях во время землетрясений означает, что предпочтительными являются анкеры, надёжно справляющиеся с нагрузками в базовом материале с увеличенной величиной трещин. Например, закладные анкерные болты, анкеры с подрезкой, распорные анкеры и клеевые анкеры со специальными распорными элементами (клеевые анкеры с контролируемым моментом затяжки). Увеличенная величина раскрытия трещин, как правило, приводит к более существенным перемещениям анкера и снижению несущей способности анкера при растяжении.

В случае возникновения воздействия, сейсмические нагрузки приводят к увеличению значений внутренних усилий по сравнению со статическими нагрузками. Хотя поведение анкеров при ускоренном нагружении должно определяться в конкретном виде разрушения и может зависеть от конкретного анкера, имеющиеся на сегодняшний день результаты исследований указывают на то, что увеличенная (сейсмически обусловленная) интенсивность нагружения не будет негативно сказываться на несущей способности анкера, и ею можно пренебречь. Данное заключение справедливо как для бетона с трещинами, так и для бетона без трещин. Применительно к отдельным расчётным сейсмическим условиям для некоторых видов разрушений не следует брать за основу потенциальное увеличение несущей способности при увеличенной интенсивности нагружения.

Влияние (сейсмического) циклического нагружения на анкерное крепление зависит от направления нагрузки, типа разрушения и типа анкера.

- Под действием **циклических растягивающих нагрузок** различия между сейсмическими и статическими характеристиками ограничиваются диапазоном нагрузок непосредственно перед разрушением анкера (величина нагрузки более 75% от предельной несущей способности), таким образом, растягивающая нагрузка не имеет критического влияния в расчётной несущей способности анкера.

График «нагрузка-перемещение» при действии растягивающих нагрузок во всех видах разрушений остается в пределах статических (монотонных) нагрузок, таким образом, нагружение в предпиковой области (величина нагрузки без разрушения анкера) может привести к увеличению жесткости анкера после циклических нагружений. При этом предельная нагрузка и величина перемещения не меняются после воздействия циклических растягивающих нагрузок.

- Под действием **циклических сдвигающих нагрузок** в анкерах, установленных на большом расстоянии от края бетонного основания, как правило, происходит разрушение по стали в стержне анкера. Поперечное сечение анкера в точке сдвига, прочность бетона и краевые расстояния значительно влияют на сдвиг. Обычно более высокие значения несущей способности под действием сдвигающих нагрузок достигаются за счет увеличения поперечного сечения анкера в плоскости сдвига, т.е. за счет использования анкеров большего диаметра пропорционально глубине анкеровки. Под действием переменных сдвигающих нагрузок может возникнуть пластическая усталость анкера при нагрузке значительно ниже несущей способности анкера. Снижение нагрузок в большой степени зависит от изделия. По этой причине значения сейсмических сдвигающих нагрузок необходимо брать из отчетов испытаний, полученных на основе смоделированных сейсмических испытаний.

Для анкеров с минимальными краевыми расстояниями и минимальной глубиной анкерования может происходить разрушение бетона под действием сдвигающей нагрузки, выкалывание бетона основания за анкером и откалывание края основания, соответственно. Для моделирования сейсмической сдвигающей нагрузки в данных условиях имеется мало данных, однако, предполагается, что поведение материала в данном случае будет сопоставимо с разрушением от выкалывания бетона основания при растяжении, т.е. сдвигающая нагрузка не играет решающей роли в определении расчётной несущей способности.

Повышенная неопределенность и маленькая вероятность возникновения сейсмических воздействий по сравнению с несейсмическими воздействиями учитываются в комбинациях нагрузок и коэффициентах безопасности, используемых в стандартах по сейсмическому расчёту. При этом важно убедиться в том, что расчётные нормы, устанавливающие сейсмические нагрузки на анкерные крепления, были основаны на методологии расчёта, которая совместима с сопротивлениями, полученными в сертификате сейсмических характеристик изделия.

Взаимодействие между анкерным креплением и несущей конструкцией

При расчёте анкерных креплений важно помнить о том, что нельзя рассматривать анкерные крепления как изолированные системы, принимающие сейсмические воздействия, напротив они должны быть включены в общий расчёт. В отдельных применениях, таких как крупное механическое оборудование, может возникнуть динамическое взаимодействие между конструкцией и прикрепляемой деталью. Кроме того, необходимо учитывать, что в конструкции может возникать больше вариантов перемещений или механизмов работы, чем в анкерном креплении.

Разрешение на применение в сейсмических условиях

На текущий момент методология расчёта анкерного крепления в сейсмических условиях доступна в США. Расчётные нормы были разработаны Американским институтом бетона (ACI) и представлены в Приложении D ACI 318 (2008), а значения сопротивлений представлены в текущих Технических оценках (ESR), выпущенных Международным советом по нормам и правилам – Службой оценки (ICC-ES). Данные документы содержатся в Международном строительном стандарте (IBC).

Для соответствия Единому строительному стандарту (UBC) и Международному строительному стандарту (IBC) механические анкеры Hilti прошли испытания в соответствии с ICC-ES AC193, клеевые анкеры - AC308. В Едином строительном стандарте (UBC) имеются положения, касательно расчёта на прочность (сопоставимые с расчётными сопротивлениями согласно Еврокоду (EC) и расчёта допустимых напряжений (сравнение допустимой нагрузки и сопротивления). Таким образом проектировщик может учитывать различные комбинации нагрузок с различными коэффициентами безопасности в двух различных расчётных методах.

Большинство анкеров Hilti также были испытаны в соответствии с другими методами: ICBO, CAN/CSA, KEPCO, ENEL, Bechtel, Sweep1, Sweep2. Результаты испытаний действительны только в рамках конкретных методов испытаний.

3.3 Расчёт анкеров

Внешняя нагрузка

Точная нагрузка на анкер во время землетрясения зависит от множества параметров и может быть рассчитана только с помощью таких мощных методов, как анализ динамических характеристик.

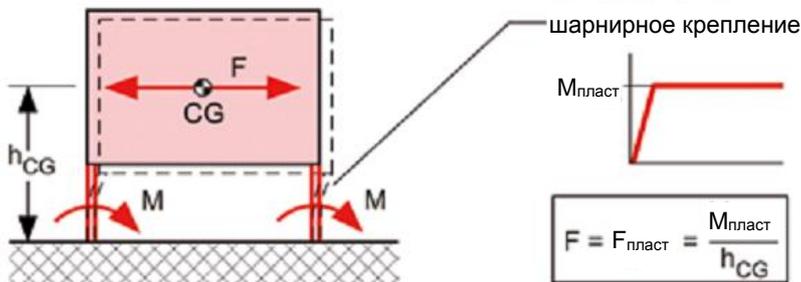
Для оценки сейсмических воздействий на крепления ненесущих конструкций к несущим конструкциям здания зачастую достаточно двух упрощенных методов:

а) пластический шарнир в креплении

Что касается шарнирных креплений, которые могут деформироваться в зоне пластичных деформаций, например, опорные плиты, колонны или кронштейны, крепление может быть рассчитано с учетом его возможности принимать нагрузки,

передаваемые при упругой деформации элемента конструкции здания. В данном случае допускается, что передаваемые усилия и моменты при упругой деформации остаются постоянными.

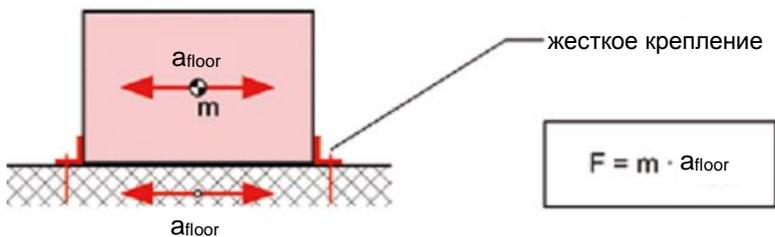
Изгибающий момент M , действующий на крепление, равен пластическому моменту $M_{\text{пласт}}$, который определяется из момента сопротивления и предела текучести материала. Затем, усилия, действующие в рамках данного изгибающего момента, $F_{\text{пласт}}$, определяются на основе пластического момента, $M_{\text{пласт}}$. Таким образом, моменты пластической деформации соответствуют максимально возможному усилию.



б) статический анализ с коэффициентом динамичности

Статический анализ представляет собой метод, допустимый для расчёта креплений, частота собственных колебаний которых значительно выше частоты колебаний грунта (частоты возбуждения). Как правило, это относится к креплениям или строительным элементам, где основная частота колебаний $f_0 > 15$ Гц. К подобным применениям относятся компактные элементы оборудования с жестким опиранием, например, кондиционеры.

Если закрепляемая конструкция остается жесткой во время землетрясения, она имеет ускорение колебаний, аналогичное ускорению колебаний здания или перекрытия, в котором она закреплена. Эквивалентная сила, действующая в центре тяжести закрепленной конструкции, равна силе инерции F , учитываемой при расчёте ускорения перекрытия здания, a_{floor} .



Данный упрощенный метод неприменим к зданиям, этажность которых превышает 12. В подобном случае требуется выполнить анализ динамических характеристик несущих конструкций.

Если закрепляемая конструкция не является жесткой во время землетрясения, например, оборудование установлено на пружинных демпферах или элементы конструкций имеют сравнительно низкую жесткость, возбуждение от сейсмических воздействий может способствовать увеличению ускорения колебаний оборудования, а в той степени, при котором последнее будет значительно выше уровня пола, $a_{\text{оборуд}}$. В некоторых литературных источниках указывается коэффициент динамичности $A_{\text{оборуд}} = 2,0$, при этом отношение периода собственных колебаний крепления (в т.ч. крепежа), $T_{\text{оборуд}}$, к периоду колебаний здания или перекрытия, $T_{\text{пол}}$, удовлетворяет следующему условию:

$$0,6 < T_{\text{оборуд}} / T_{\text{пол}} < 1,4$$

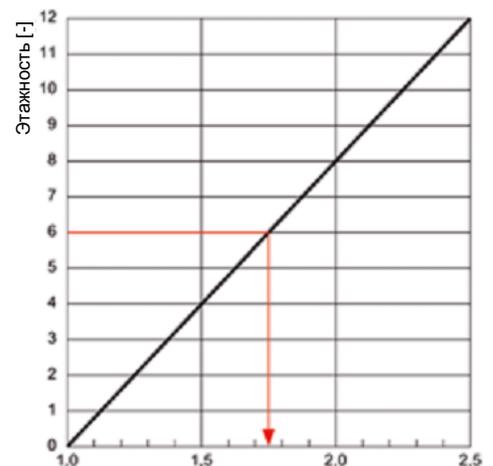
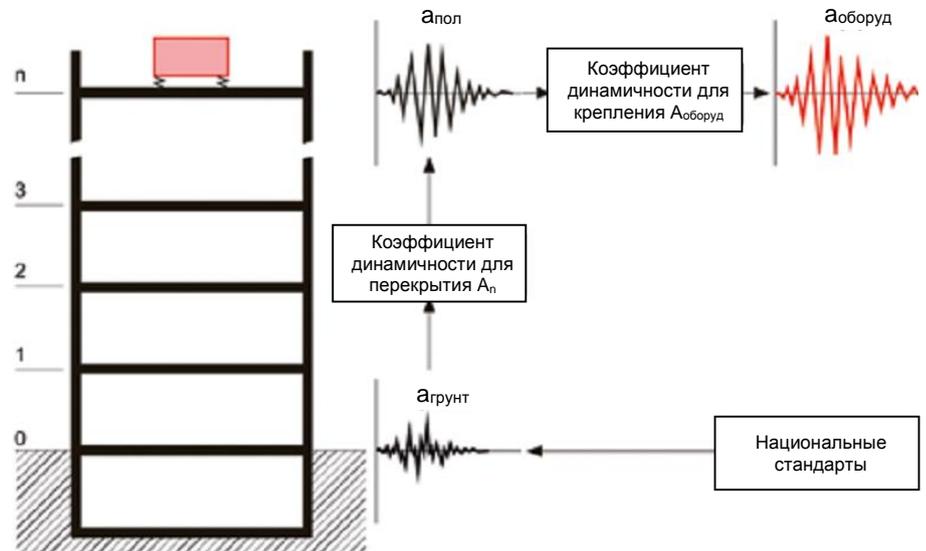


Таблица 1: Коэффициент динамичности для высоты здания

Принимая данное правило за основу, а частоту собственных колебаний перекрытия в стандартном случае $f_{0,пол} = 10$ Гц, в качестве упрощения допускается, что коэффициент динамичности учитывается только для упругих креплений с частотой собственных колебаний $f_{0,оборуд} < 15$ Гц.

- Жесткие крепления $f_{0,оборуд} = 15$ Гц:
 $A_{оборуд} = 1,0$
- Упругие крепления $f_{0,оборуд} < 15$ Гц:
 $A_{оборуд} = 2,0$



Упрощенный метод расчёта анкерных креплений с коэффициентом динамичности

Трещины в бетоне

Во время землетрясения в железобетонных конструкциях образуются трещины. Поскольку анкеры разрушают поле напряжений в элементе крепления, последние могут стать причиной образования трещин или их катализатором. Для анкера, расположенного в трещине, необходимо использовать расчётные коэффициенты для бетона с трещинами в сейсмических условиях. Кроме того, пост-установленные анкеры, используемые для сейсмических применений, подлежат обязательной сертификации для применения в бетоне с трещинами и иметь показатели сейсмоустойчивости, определенные в рамках лабораторных сейсмических испытаний.

Исключения для закладных анкеров: в особых случаях, когда в расчётной документации отсутствует образование трещин в результате землетрясения в области анкерного крепления, например, в массивных фундаментах или предварительно напряженных элементах, где в ходе максимального расчётного землетрясения предварительное напряжение невозможно предотвратить, могут использоваться расчётные коэффициенты для бетона без трещин (применимо только к закладным анкерам).

Сопротивление анкера сейсмическим нагрузкам

В Технической оценке ICC-ES указаны значения предельных напряжений анкеров для расчёта по прочности согласно Приложению D ACI 318. Анкеры для сейсмических нагрузок согласно указанному выше отчету могут использоваться в расчёте по прочности в соответствии с ACI 318. Метод расчёта аналогичен методу, применяемому для статических нагрузок, за исключением следующих моментов:

- Анкеры не могут использоваться в зонах пластических шарниров бетонных конструкций в условиях сейсмического воздействия.
- Прочность при выдергивании N_p и прочность стали при сдвиге V_{sa} отличаются от статических значений; данные значения основаны на результатах соответствующих статических испытаний, определенных в AC355.2
- Расчётная прочность при различных видах разрушения бетона (разрушения по конусу бетона, сочетания разрушения при выдергивании и разрушения по конусу бетона, раскалывания, разрушение кромки бетона, отрыва) уменьшается с понижающим коэффициентом $\phi_{сейсм} = 0,75$.
- Анкеры должны быть рассчитаны таким образом, чтобы прочность стали анкера или прикрепляемой детали, являлась определяющим параметром.
- Если анкер необходимо рассчитать при разрушении в бетонном основании, являющееся определяющим, расчётный предел прочности должен быть уменьшен на дополнительный коэффициент 0,4.

3.4 Информация о продуктах

Технические оценки (ESR) позволяют выполнять расчёт на действие сейсмических нагрузок, доступны (www.icc-es.org) для следующих изделий (актуальные данные на январь 2016 г.):

Анкеры для применения в бетоне:

HSL-3	ESR-1545	переиздан 1 марта 2016 г.
HDA	ESR-1546	переиздан 1 марта 2016 г.
Kwik Bolt TZ	ESR-1917	переиздан 1 мая 2015 г.
HIT-RE 500-SD	ESR-2322	переиздан 1 апреля 2014 г.
HIT-HY 200	ESR-3187	издан 1 марта 2016 г.

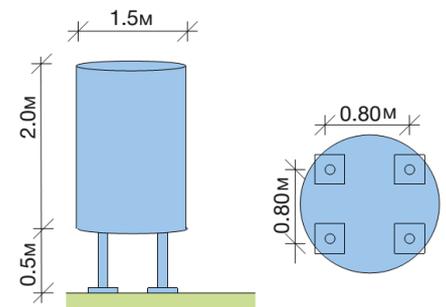
Анкеры для применения в кирпичной кладке:

Kwik Bolt 3	ESR-1385	переиздан 1 февраля 2014 г.
-------------	----------	-----------------------------

3.5 Примеры расчётов

3.5.1 Расчёт водяного бака

Водяной бак закреплен на крыше двухэтажного здания. Бак опирается на четыре стойки из труб с наружным диаметром 48,2 мм и толщиной стенки 2,6 мм, высота стоек $h_p = 50$ см, объем бака $W = 4050$ мм³. Крепление стоек бака осуществляется четырьмя высокопрочными анкерами HSL-3



Анкерная плита:	160 мм x 160 мм
Расстояние между анкерами:	110 мм
Масса бака:	$M = 4000$ кг
Расчётное сейсмическое ускорение:	$A = 0,35g$

Коэффициент динамичности Для крепления на втором этаже	$A_n = 1,25$	(Таблица 1, стр. 29)
Коэффициент динамичности Для жесткого крепления	$A_{оборуд} = 1,0$	жесткое опирание, см. стр. 30
Горизонтальная расчётная Нагрузка при землетрясении:	$F_{h,сейсм} = a \cdot A_n \cdot A_{оборуд} \cdot m = 17,17$ кН	

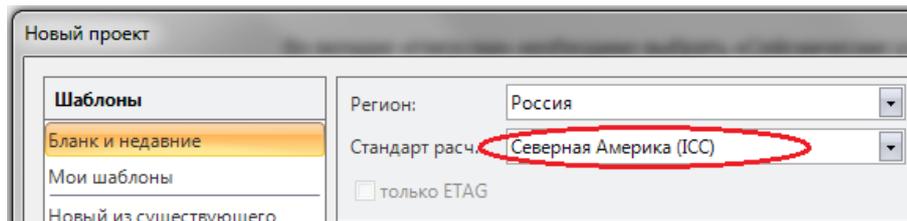
Пластический момент в стойке:	$M_y = f_{yk} \cdot W = 0,95$ кНм
Горизонтальная нагрузка, действующая на верхнюю часть стойки для M_y :	$F_{h,l,y} = M_y / (h_p / 2) = 3,80$ кН
Горизонтальная нагрузка, действующая на все стойки:	$F_{h,y} = 4 \cdot F_{h,l,y} = 15,20$ кН
Опрокидывающий момент бака:	$M_{от} = F_{h,v} \cdot 1,5$ м = 22,80 кНм

$F_{h,v} < F_{h,сейсм} \rightarrow$ происходит смещение под действием сейсмических нагрузок.

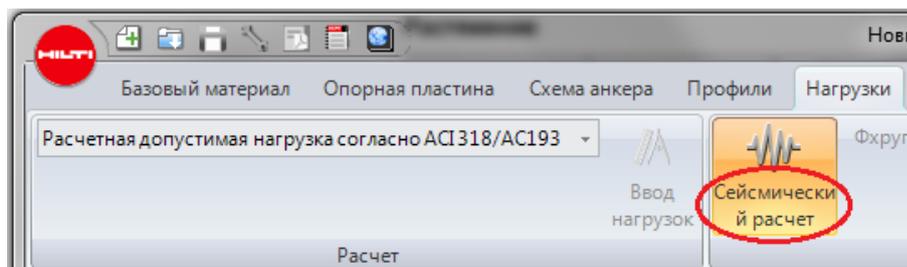
В момент смещения на одну опору действуют следующие нагрузки:

Вертикальные: Вес	$G = -40/4 = -10,0$ кН
Растяжение вследствие опрокидывающего момента:	$T = M_{от} / 0,80$ м/2 = 14,3 кН
Нормальное усилие:	$N = T + G = 4,25$ кН
Сдвиг:	$V = F_{h,l,y} = 3,80$ кН
Момент:	$M = M_y = 0,95$ кНм

Анкерную плиту можно рассчитать с помощью программного обеспечения PROFIS Anchor. Для расчёта с учетом сейсмических нагрузок в соответствии с ACI 318, при создании проекта необходимо выбрать стандарт проектирования «Северная Америка (ICC)»:



Во вкладке «Нагрузки» необходимо выбрать «Сейсмический расчёт»



Ниже приведены результаты расчёта в PROFIS Anchor для анкеров Hilti HSL-3 M8 под действием растягивающих усилий (сдвигающие усилия в данном случае незначительные):

Растяжение

Вид разрушения	Нагрузка N_{ua} [кН]	Прочность ϕN_n [кН]	Коэффициент использования $\beta_N = N_{ua}/\phi N_n$	Статус
Разрушение по стали*	4,893	16,544	30	ОК
Разрушение по контакту с основанием*	4,893	4,923	100	ОК
Разрушение от выкалывания бетона основания**	10,166	8,968	114	Н/Д

*наиболее нагруженный анкер

**группа анкеров (растянутые анкеры)

Разрушение по стали

N_{sa} [кН]	ϕ_{steel}	$\phi_{nonductile}$	ϕN_{sa} [кН]	N_{ua} [кН]
29,412	0,750	0,750	16,544	4,893

Разрушение по контакту с основанием

$N_{pn,fc}$ [кН]	$\phi_{concrete}$	$\phi_{seismic}$	$\phi_{nonductile}$	$\phi N_{pn,fc}$ [кН]	N_{ua} [кН]
13,464	0,650	0,750	0,750	4,923	4,893

Разрушение от выкалывания бетона основания

N_{cbg} [кН]	$\phi_{concrete}$	$\phi_{seismic}$	$\phi_{nonductile}$	ϕN_{cbg} [кН]	N_{ua} [кН]
24,529	0,650	0,750	0,750	8,968	10,166

В расчёте используется сейсмический понижающий коэффициент $\phi_{seismic} = 0,75$. Определяющий вид разрушения - «разрушение от выкалывания бетона основания» с коэффициентом использования $\beta_{N,V} = 114\%$. По мере смещения стоек «определяющим параметром становится прочность стали пластичных стальных элементов» (ACI 318, D3.3.4, см. Раздел 3.3, стр. 31 настоящего Руководства).

3.5.2 Влияние элементов жесткости

Стойки и анкерные плиты оснащены элементами жесткости, таким образом, эффективная длина изгиба стоек снижается до $h_{p,эфф} = 0,4$ м.

Горизонтальная нагрузка, действующая на верхнюю часть стойки для M_u :
 $F_{h,y,эфф} = M_u / (h_{p,эфф}/2) = 4,75$ кН

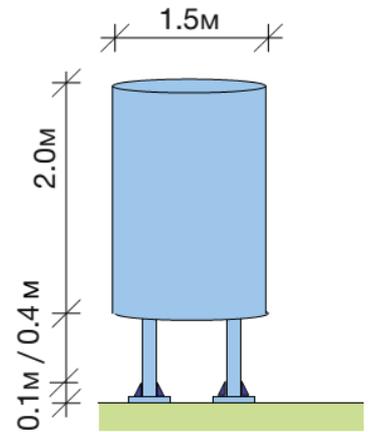
Горизонтальная нагрузка, действующая на все стойки:
 $F_{h,y,эфф} = 4 \cdot F_{h,y,эфф} = 19,0$ кН

$F_{h,y,эфф} > F_{h,l,сейсм}$. → Условие выполняется.

Опрокидывающий момент бака: $M_{от2} = F_{h,сейсм} \cdot 1,5$ м = 25,8 кНм

В момент смещения на одну опору действуют следующие нагрузки:

Вертикальные:	Вес	$G = -40/4 = -10,0$ кН
	Растяжение вследствие опрокидывающего момента:	$T = M_{от}/0,80$ м/2 = 16,1 кН
	Нормальное усилие:	$N = T + G = 6,13$ кН
Сдвиг:		$V = F_{h,l,сейсм} / 4 = 4,29$ кН
Момент:		$M = V \cdot (h_{p,ef} / 2) = 0,86$ кНм



Результаты PROFIS Anchor для анкера **HSL-3 M8**:

Растяжение

Вид разрушения	Нагрузка N_{ua} [кН]	Прочность ϕN_n [кН]	Коэффициент использования $\beta_N = N_{ua}/\phi N_n$	Статус
Разрушение по стали*	5,047	16,544	31	ОК
Разрушение по контакту с основанием*	5,047	4,923	103	Н/Д
Разрушение от выкалывания бетона основания**	10,699	9,105	118	Н/Д

*наиболее нагруженный анкер
 **группа анкеров (растянутые анкеры)

По сравнению с предыдущим расчётом коэффициент использования разрушения от выкалывания бетона основания увеличивается незначительно с 114% до 118%. Но в результате использования элементов жесткости, смещение стоек бака в данном случае происходить не будет. Таким образом, определяющим видом разрушения в данном случае будет разрушение от выкалывания бетона основания.

Если происходит разрушения по стали, то несущая способность не может быть обеспечена, ACI 318, D3.3.6 допускает в качестве альтернативного варианта «использовать в расчёте значение прочности анкеров, равное 40% от расчётной прочности». Другими словами, если коэффициент использования ниже 40%, расчёт может быть принят, даже в случае хрупкого разрушения, для этого необходимо подобрать анкер большего размера.

Результаты PROFIS Anchor для анкера HSL-3 M12:

Растяжение

Вид разрушения	Нагрузка N_{ua} [кН]	Прочность ϕN_n [кН]	Коэффициент использования $\beta_N = N_{ua}/\phi N_n$	Статус
Разрушение по стали*	5,128	38,022	14	ОК
Разрушение по контакту с основанием*	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
Разрушение от выкалывания бетона основания**	10,261	17,141	60	ОК

*наиболее нагруженный анкер

**группа анкеров (растянутые анкеры)

Диаметр отверстия в закрепляемой детали для HSL-3 M8 составляет 14 мм, для HSL-3 M12 - 20 мм. Если невозможно соблюсти данные параметры, требуется подобрать другое решение.

4. Ударные нагрузки



4.1 Общие сведения

Ударные нагрузки, такие как столкновения транспортных средств, судна или самолета, падения горных пород, обвалы и взрывы, характеризуются значительным изменением величины нагрузки в очень короткий промежуток времени. Поскольку вероятность возникновения подобного явления во время эксплуатации крайне мала, обычно допускается пластическая деформация, чтобы избежать удорожания проектируемой конструкции. Это означает, что крепление должно обладать максимально пластическими характеристиками и будет заменено после возникновения ударного явления.

Инженер, ответственный за конкретный проект, должен каждый раз отдельно определять величину воздействия и допустимый уровень деформации (упругой, упруго-пластичной).

4.2 Анкеры под действием ударной нагрузки

Испытания на воздействие ударных нагрузок можно смоделировать на сервогидравлическом испытательном оборудовании. В результате данных испытаний можно сделать следующие выводы:

- Деформация больше при достижении предельной нагрузки;
- Внутренние усилия в анкере также существенно увеличиваются;
- Предельные нагрузки имеют схожую величину предельных нагрузок во время испытаний на статическую и ударную нагрузки.

При этом более поздние исследования показали, что базовый материал (бетон с трещинами или без трещин) не оказывает прямого влияния на несущую способность анкера.

Соответствие требованиям под действием ударных нагрузок

До сих пор механические анкеры находили применение, главным образом, в объектах гражданской обороны. Механические анкеры сертифицированы для применения в бетоне с трещинами. С недавних пор клеевые анкеры также соответствуют требованиям для применения в бетоне с трещинами, например, клеевые анкеры HVZ или HIT-RE 500-SD, пригодность которого под действием ударных нагрузок также подтверждена. Для других применений, например, крепление в железнодорожных системах, где действует ударная нагрузка, можно применять как механические, так и клеевые анкеры.

Особые нагрузки предусматривают деформации

Для расчёта на ударные нагрузки важно определить допустимые деформации, а также воздействия на анкер после удара.

Если после воздействия ударной нагрузки допустимыми являются только упругие деформации (без постоянных деформаций), значения статического предела прочности анкеров также подходят при действии ударных нагрузок. Но это зачастую приводит к неоптимальному подбору анкера. Во избежание этого в различных нормативах допускаются пластические деформации при условии замены анкеров после воздействия ударной нагрузки.

4.3 Расчёт анкеров

Для получения сертификатов на применение при ударных нагрузках анкеры были испытаны в условиях растягивающих ударных нагрузок величиной R_{class} в трещинах шириной 1 мм. Эти данные приведены в Разделе 4.4. Допустимые ударные нагрузки найдены следующим образом:

$$R_{adm,shock} = \min(N_{Rd,s}; N_{Rd,c}; N_{Rd,p}; N_{Rd,sp}; R_{class})$$

$N_{Rd,s}$ и $N_{Rd,c}$ вычисляются по методу CCD (ETAG 001. Приложение C, Руководство по анкерному крепежу или программное обеспечение по расчёту анкерного крепления PROFIS Anchor); данные нагрузки зависят от их направления. В нагрузке $N_{Rd,c}$ также учитывается влияние межосевых и краевых расстояния.

Предельная нагрузка R_{class} это нагрузка, соответствующая требованиям ударных испытаний: приложенная на анкер в трещине шириной 1 мм с ограниченным смещением. Она действительна для всех направлений действия нагрузки, так как чистое растяжение является самым неблагоприятным разрушением при выдергивании.

4.4 Информация о продуктах

Указанные ниже значения предела сопротивления анкеров являются утвержденными значениями BZS (Bundesamt für Zivilschutz: Федеральное ведомство гражданской обороны в Швейцарии). Данная информация действительна только вместе с общей информацией в Руководстве по анкерному крепежу.

Для расчёта ударных нагрузок требуются значения из приведенных ниже таблиц, а также значения предела прочности бетона и стали, полученные согласно методу CCD. Соответствующий метод расчёта описан в Разделе 4.3 настоящего Руководства.

Анкеры HST

Сертификат: BZS D 08-602, действует до: 30.12.2018



Анкер		Допустимая ударная нагрузка	Диаметр отверстия и Глубина анкеровки		Момент затяжки
Размер	Обозначение типа		R-class, кН	Ø мм	
M8	HST/HST-R M8	3,1	8	65	20
M10	HST/HST-R M10	6,1	10	80	45
M12	HST/HST-R M12	8,1	12	95	60
M16	HST/HST-R M16	14	16	115	110
M20	HST/HST-R M20	20	20	140	240
M24	HST/HST-R M24	26	24	170	300

Анкеры HSC

Сертификат: BZS D 06-601, действует до: 31.07.2016



HSC-A/AR

HSC-I/IR

Анкер		Допустимая ударная нагрузка	Диаметр отверстия и Глубина анкеровки		Момент затяжки
Размер	Обозначение типа		R-class, кН	Ø мм	
M6	M6 x 40 I / IR	5,5	14	46	10
M8	M8 x 40 A / AR	5,5	14	46	10
	M8 x 40 I / IR	5,5	16	46	10
	M8 x 50 A / AR	7,7	14	56	10
M10	M10 x 40 A / AR	5,5	16	46	20
	M10 x 50 I / IR	7,7	18	58	20
	M10 x 60 I / IR	10,2	18	68	30
M12	M12 x 60 A / AR	10,2	18	68	30
	M12 x 60 I / IR	10,2	20	68	30

Анкеры HSL

Сертификат: BZS D 08-601, действует до: 30.06.2018



HSL-3

HSL-3-B

HSL-3-G

HSL-3-SH

HSL-3-SK

Анкер		Допустимая ударная нагрузка	Диаметр отверстия и Глубина анкеровки		Момент затяжки
Размер	Обозначение типа		R-class, кН	Ø мм	
M8	HSL-3 / -B / -G / -SH / -SK	8,1	12	80	25
M10	HSL-3 / -B / -G / -SH / -SK	11	15	90	50
M12	HSL-3 / -B / -G / -SH / -SK	17	18	105	80
M16	HSL-3 / -B / -G	26	24	125	120
M20	HSL-3 / -B / -G	32	28	155	200
M24	HSL-3 / -B	38	32	180	250

Анкер HDA

Сертификат: BZS D 09-601, действует до: 31.10.2019



HDA

Анкер		Допустимая ударная нагрузка	Диаметр отверстия и глубина анкеровки		Момент затяжки
Размер	Обозначение типа		R-class, кН	Ø мм	
M10	HDA-T(R) M10 / HDA-P(R) M10	17	20	107	50
M12	HDA-T(R) M12 / HDA-P(R) M12	23	22	133	80
M16	HDA-T(R) M16 / HDA-P(R) M16	35	30	203	120
M20	HDA-T M20 / HDA-P M20	50	37	266	300

Анкер HVZ

Сертификат: BZS D 09-602, действует до: 31.10.2019



HVZ

Анкер		Допустимая ударная нагрузка	Диаметр отверстия и глубина анкеровки		Момент затяжки
Размер	Обозначение типа	R-class, кН	Ø мм	Глубина, мм	T Нм
M10	HVZ(R) M10 x 75	8,1	10	90	40
M12	HVZ(R) M12 x 95	11	12	110	50
M16	HVZ(R) M16 x 105	17	18	125	90
	HVZ(R) M16 x 125	17	18	145	90
M20	HVZ (R) M20 x 170	26	25	195	150

HIT-RE 500-SD

Сертификат: BZS D 09-604, действует до: 31.10.2019



С HIT-V 5.8 / HIT-V 8.8 / HIT-V-R / HIT-V-HCR при глубине заложения $h_{ef,typ}$

Анкер		Допустимая ударная нагрузка	Диаметр отверстия и глубина анкеровки		Момент затяжки
Размер	Обозначение типа	R-class, кН	Ø мм	Глубина, мм	T Нм
M8	HIT-V M8 с RE 500-SD	6,1	10	80	10
M10	HIT-V M10 с RE 500-SD	8,1	12	90	20
M12	HIT-V M12 с RE 500-SD	11	14	110	40
M16	HIT-V M16 с RE 500-SD	17	18	125	80
M20	HIT-V M20 с RE 500-SD	26	24	170	150
M24	HIT-V M24 с RE 500-SD	32	28	210	200
M27	HIT-V M27 с RE 500-SD	35	30	240	270
M30	HIT-V M30 с RE 500-SD	41	35	270	300

С HIS-(R)N

Анкер		Допустимая ударная нагрузка	Диаметр отверстия и глубина анкеровки		Момент затяжки
Размер	Обозначение типа	R-class, кН	Ø мм	Глубина, мм	T Нм
M8	HIS-(R)N M8 с RE 500-SD	11	14	90	10
M10	HIS-(R)N M10 с RE 500-SD	17	18	110	20
M12	HIS-(R)N M12 с RE 500-SD	23	22	125	40
M16	HIS-(R)N M16 с RE 500-SD	32	28	170	80
M20	HIS-(R)N M30 с RE 500-SD	38	32	205	150

4.5 Примеры расчётов

4.5.1 Упругое столкновение. Крепление страховочного каната

Необходимо подобрать крепление страховочного каната. Испытание подобных креплений описано в стандарте BS_EN 795.

Исходные данные:

Класс прочности бетона:	B50 (C40/50), с трещинами
Масса:	M= 100 кг
Высота падения:	H = 2,5 м
Длина каната	L = 2,0 м

При увеличении нагрузки с 50 до 150 кг, удлинение каната увеличивается на $\epsilon_{100} = 1,0\%$.

Необходимо подобрать требуемый анкер HSL-3.

Пружинная эластичность каната: $c = \frac{100 \text{ kg} \cdot g}{\epsilon_{100} \cdot l} = 49'050 \text{ H/m}$

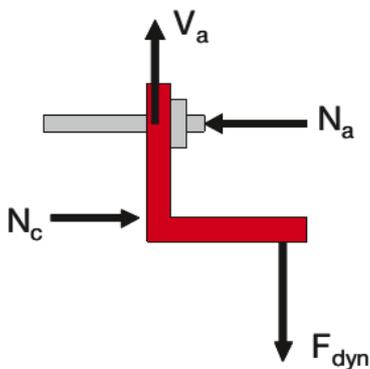
Энергия высоты падения: $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$

Энергия в канате в конце падения: $E_{spring} = \int_0^{\Delta l_d} (c \cdot s) ds = \frac{c \cdot \Delta l_d^2}{2}$

$E_{pot} = E_{spring} \rightarrow \Delta l_d = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot g \cdot h}{c}} = 0.316 \text{ м}$

Абсолютное удлинение каната: $\Delta l_s = l \cdot \epsilon_{100} = 2.0 \cdot 0.01 = 0,020 \text{ м}$

Нагрузка в канате: $F_{dyn} = c \cdot (l_d + l_s) = 16,5 \text{ кН}$



Ударная нагрузка F_{dyn} будет восприниматься сдвигающим усилием анкера V_a . F_{dyn} и усилие V_a создает изгибающий момент, который будет уравновешен сжимающим усилием бетона N_c в нижнем конце угла и растяжением анкера N_a . Предположим, что $|N_a| = |V_a|$.

Первый способ:

Допускаются только упругие деформации анкеров: → в статическом расчёте используются только анкеры, применимые в бетоне с трещинами

Действующая нагрузка: $\gamma_g \cdot F_{dyn} = 1,35 \cdot 16,5 \text{ кН} =$ $N_{sd} = V_{sd} = 22,3 \text{ кН}$
 HSL-3 M16: $f_b = 1,41 \rightarrow N_{Rd,c} = 1,41 \cdot 24,0 = 33,8 \text{ кН}; N_{Rd,s} = 83,7 \text{ кН} \rightarrow N_{Rd} = 33,8 \text{ кН}$
 $V_{Rd,cp} = 1,41 \cdot 34,3 = 67,7 \text{ кН}; V_{Rd,s} = 80,9 \text{ кН} \rightarrow V_{Rd} = 67,7 \text{ кН}$
 $(n_{sd}/N_{Rd})^{1,5} + (v_{sd}/V_{Rd})^{1,5} = 0,72 < 1$ ✓

Второй способ:

Допускаются пластические деформации: → использовать расчёт с учетом ударных нагрузок в соответствии с сертификатом BZS

Действующая нагрузка: F_{dyn} $N_{dyn} = V_{dyn} = 16,5 \text{ кН}$
 HSL-3 M12: $f_b = 1,41 \rightarrow N_{Rd,c} = 1,41 \cdot 17,2 = 24,3 \text{ кН}; N_{Rd,s} = 44,9 \text{ кН} \rightarrow N_{Rd} = 24,3 \text{ кН}$
 $V_{Rd,cp} = 1,41 \cdot 34,3 = 48,4 \text{ кН}; V_{Rd,s} = 57,4 \text{ кН} \rightarrow V_{Rd} = 48,4 \text{ кН}$
 $(n_{sd}/N_{Rd})^{1,5} + (v_{sd}/V_{Rd})^{1,5} = 0,76 < 1$ ✓

Суммарная ударная нагрузка: $\vec{N}_{dyn} + \vec{N}_{dyn} = 16,5 \cdot \sqrt{2} =$ $R_{sh} = 23,3 \text{ кН}$
 Допустимая ударная нагрузка: $R_{adm,shock} = f_b \cdot R_{class} = 1,41 \cdot 17 = 24,0 \text{ кН} < R_{sh}$ ✓

4.5.2 Упрощенный расчёт в соответствии с нормами BZS*

*BZS: Bundesamt für Zivilschutz (Федеральное ведомство гражданской обороны в Швейцарии).

Данные:

Ударные нагрузки заменяются статическими при $F = DLF \cdot m \cdot a_{max}$

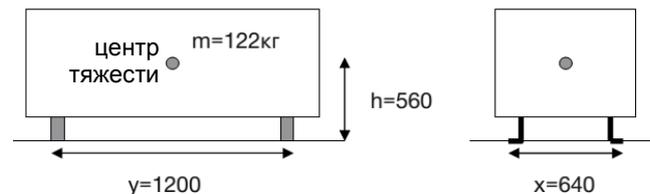
F: статическая нагрузка

DLF: коэффициент динамической нагрузки (рекомендуемое значение – F = 1,25)

m: масса оборудования

a_{max} максимальное ускорение (рекомендуемое значение - $a_{max} = 125 \text{ м/с}^2$)

Дополнительные явления ко всем другим усилиям, действующим в центре тяжести в самом критичном направлении. Это означает, что расчёт на действие ударных нагрузок необходимо выполнить в направлении трех ортогональных осей. Оборудование закреплено в бетоне без трещин B25 (C20/25).



$$F = 1,25 \cdot 122 \text{ кг} \cdot 125 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 19'063 \text{ Н}$$

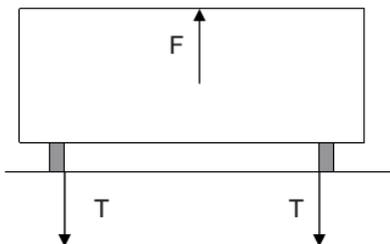
а) вертикальное воздействие

$$T = \frac{F}{4} = 4'760 \text{ Н}$$

HSC-I M10x60: $N_{Rd,c}^0 = 11,1 \text{ кН}, N_{Rd,s} = 20,2 \text{ кН}$
 $R_{class} = 10,2 \text{ кН}$

Межосевые и краевые расстояния не оказывают влияния.

$R_{adm,shock} = \min(N_{Rd,s}, N_{Rd,c}, R_{class}) = 10,2 \text{ кН} > T \rightarrow$ Условие выполняется.



б) продольное горизонтальное воздействие

Данные: $V = \frac{F}{4} = 4'760H$

$$T = \frac{F \cdot h}{2 \cdot y} = \frac{19'036N \cdot 560mm}{2 \cdot 1'200mm} = 4'450H$$

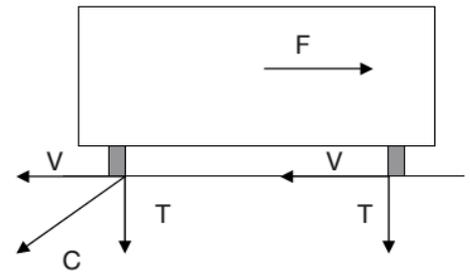
$$C = \sqrt{V^2 + T^2} = \sqrt{4'760^2 + 4'450^2} = 6'520H$$

$$\operatorname{tg} \alpha = V/T = 1.07 \rightarrow \alpha = 46.9^\circ$$

HSC-I M10x60: $V_{Rd,s} = 12.2 \text{ кН}$

$$F_{Rd} = \left[\left(\frac{\cos \alpha}{N_{Rd,c}} \right)^{1.5} + \left(\frac{\cos \alpha}{V_{Rd,s}} \right)^{1.5} \right]^{-2/3} = 10.4 \text{ кН}$$

$R_{adm,shock} = \min(f_{Rd}, R_{class}) = 10,2 \text{ кН} > C \rightarrow$ Условие выполняется.



в) боковое горизонтальное воздействие

Данные: $V = \frac{F}{4} = 4'760H$

$$T = \frac{F \cdot h}{2 \cdot x} = \frac{19'036N \cdot 560mm}{2 \cdot 640mm} = 8'340H$$

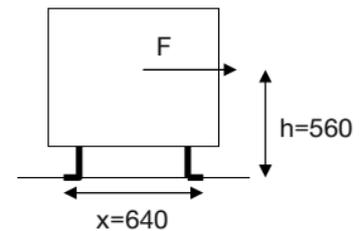
$$C = \sqrt{V^2 + T^2} = \sqrt{4'760^2 + 8'340^2} = 9'600H$$

$$\operatorname{tg} \alpha = V/T = 0.571 \rightarrow \alpha = 29.7^\circ$$

HSC-I M10x60: $V_{Rd,s} = 12.2 \text{ кН}$

$$F_{Rd} = \left[\left(\frac{\cos \alpha}{N_{Rd,c}} \right)^{1.5} + \left(\frac{\cos \alpha}{V_{Rd,s}} \right)^{1.5} \right]^{-2/3} = 10,3 \text{ кН}$$

$R_{adm,shock} = \min(F_{Rd}, R_{class}) = 10,2 \text{ кН} > C \rightarrow$ Условие выполняется.



Список литературы

- Руководство по анкерному крепежу**
Й. Кунц
Й. Кунц, Ч. Газзнер,
Е. Виззер
К. Блоск
 Выпуск 2009, Hilti AG, Schaan
 Innovatives Konzept Dübel 2000
 dynamisches Bemessungskonzept, 13.12.95, Hilti AG
 Dynamisch belastete Befestigungen in
 Betonuntergründen, SI+A, Nr.9/1999
 Dübelbefestigungen unter ermüdungsrelevanten
 Einwirkungen. Habilitationsschrift, Universität
 Dortmund, 2001.
- Eurocode 1**
 Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen
 auf Tragwerke, ENV 1991
- Eurocode 2**
 Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken,
 ENV 1992
- Eurocode 3**
 Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, ENV
 1993
- Eurocode 8**
 Seismische Einwirkungen und allgemeine
 Anforderungen an Bauwerke, ENV 1998
- ACI 318-08**
 Building Code Requirements for Structural Concrete.
 Appendix D – Anchoring to Concrete. Farmington
 Hills, MI, 2008
- EOTA (Европейская**
организация технической
аттестации)
В. Фухз, Р. Елигечаузен
Й. Е. Бреен
Р. Елигечаузен, Р. Маллэе
Й. Зилфа
Д. Шулер
 ETAG 001: Guideline for European Technical Approval
 of Metal Anchors for Use in Concrete:
 Annex C – Design Methods for Anchorages.
 Brussels, 2006.
 TR029 – TR 029 Design of Bonded Anchors.
 Brussels, 2007.
 Concrete Capacity Design Approach for
 Fastenings to Concrete, ACI Structural Journal,
 January – February 1995
- TW Schock 1995**
 Anchorage in Concrete Construction. Wiley-VCH,
 2006.
- Hoehler**
 Prüfung und Zulassung von Dübelssystemen.
 Bericht BBS-7531/4. Bundesamt für
 Bevölkerungsschutz, Bern, 2006.
- Протоколы испытаний**
 Technische Weisung für die Schocksicherheit von
 Einbauteilen in Zivilschutzbauten, Bundesamt für
 Zivilschutz, 1995
- Протоколы испытаний**
 Hoehler, M. S.: Behavior and testing of fastenings
 to concrete for use in seismic applications. PhD
 Dissertation, University of Stuttgart, Germany, 2006.
- Сертификат ET**
Сертификат BZS
Сертификат ICC
Сертификат ET
Сертификат BZS
Сертификат ICC
 Hilti AG
 Institut für Bauforschung, Universität Dortmund
www.eota.eu
<https://www.zkdb.vbs.admin.ch/zkdb/>
www.icc-es.org
www.icc-es.org

Приложение А: Динамический набор

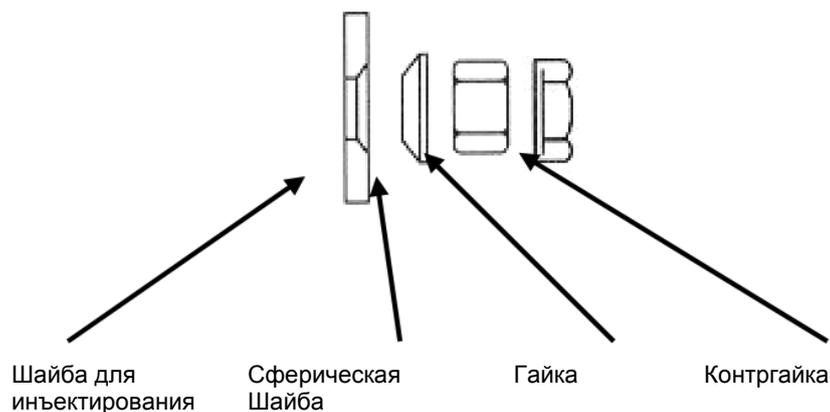
Общие сведения

Для всех динамических воздействий можно определить три основные задачи:

1. Для облегчения процесса установки анкера диаметр отверстия в закрепляемой детали всегда должен быть больше наружного диаметра анкера. Для статических нагрузок это не играет большого значения, однако для динамических нагрузок любое относительное смещение между плитой основания и анкером может иметь негативное воздействие.
2. Поскольку большинство анкеров устанавливается вручную, они никогда не являются строго перпендикулярными. Это также приводит к возникновению чистых растягивающих нагрузок и изгибающих моментов в анкере.
3. В условиях динамических нагрузок даже на правильно установленных анкерах зачастую возникают проблемы, связанные с ослаблением гаек во время эксплуатации конструкций.

Динамический набор

Для решения этих задач компания Hilti разработала так называемый «Динамический набор». Данный набор включает специальную вставную шайбу для заполнения отверстия с зазором составом НІТ-НУ 200-А, сферическую шайбу для предотвращения изгиба анкера, стандартную гайку и специальную контргайку, препятствующую ослаблению гаек.



Этот динамический набор необходимо использовать во всех применениях под действием нагрузок, приводящих к усталости конструкций, а значения нагрузок, данные в Разделе 4 «Усталость R1» являются действительными только при использовании данного набора. Для всех прочих применений использование данного набора не является обязательным, но сопротивление сдвигающему усилию значительно возрастает.

Hilti. Работает лучше. Служит дольше.

Hilti Distribution Ltd | 143441 | Россия | Московская область | МКАД 69 км | Бизнес-парк «Гринвуд» | стр. 3