

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **201900394** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
**2020.01.09**

(51) Int. Cl. **E01D 19/04** (2006.01)  
**E04H 9/02** (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
**2018.02.13**

(54) **МАЯТНИКОВАЯ ОПОРА СКОЛЬЖЕНИЯ И СПОСОБ ЗАДАНИЯ РАЗМЕРОВ ТАКОЙ ОПОРЫ**

(31) **10 2017 202 317.1**

(32) **2017.02.14**

(33) **DE**

(86) **PCT/EP2018/053567**

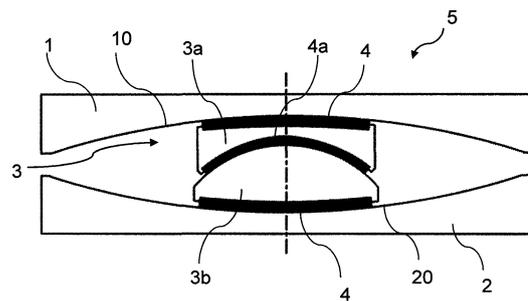
(87) **WO 2018/149828 2018.08.23**

(71) Заявитель:  
**МАУРЕР ИНЖИНИРИНГ ГМБХ  
(DE)**

(72) Изобретатель:  
**Вебер Феликс, Браун Кристиан (DE)**

(74) Представитель:  
**Песиков Э.П. (RU)**

(57) В заявке описана маятниковая опора (5) скольжения для защиты конструкции от динамических напряжений вследствие преимущественно горизонтального сейсмического возбуждения, имеющая первую пластину (1) скольжения, вторую пластину (2) скольжения и ползун (3), подвижно установленный между обеими пластинами скольжения, при этом каждая из двух пластин скольжения имеет криволинейную основную поверхность (10, 20) скольжения, а ползун (3) находится в поверхностном контакте с первой основной поверхностью (10) скольжения первой пластины (1) скольжения и со второй основной поверхностью (20) скольжения второй пластины (2) скольжения, отличающаяся тем, что первая основная поверхность (10) скольжения рассчитана на первую расчетную нагрузку, а вторая основная поверхность (20) скольжения рассчитана на вторую расчетную нагрузку, которая отличается от первой расчетной нагрузки.



**A1**

**201900394**

**201900394**

**A1**

## МАЯТНИКОВАЯ ОПОРА СКОЛЬЖЕНИЯ И СПОСОБ ЗАДАНИЯ РАЗМЕРОВ ТАКОЙ ОПОРЫ

Настоящее изобретение относится к маятниковой опоре скольжения для изоляции конструкции от динамических напряжений вследствие преимущественно горизонтальных ударных нагрузок, а также к способу задания размеров таких маятниковых опор скольжения.

Типичные маятниковые опоры скольжения обычно имеют первую пластину скольжения, вторую пластину скольжения и ползун, подвижно установленный между обеими пластинами скольжения, при этом каждая из двух пластин скольжения имеет криволинейную основную поверхность скольжения, а ползун находится в поверхностном контакте с первой основной поверхностью скольжения первой пластины скольжения и со второй основной поверхностью скольжения второй пластины скольжения.

Такие маятниковые опоры скольжения и соответствующие способы задания их размеров в принципе достаточно хорошо известны из уровня техники.

Такие маятниковые опоры скольжения применяются, в частности, для защиты от землетрясений конструкций, таких как здания или мосты, у которых первая собственная частота обычно составляет от около 0,5 Гц до 2 Гц. В частности, криволинейные основные поверхности скольжения могут быть сферически изогнуты согласно стандарту DIN EN 15129:2010. Если первая собственная частота является значительно меньшей, чем 0,5 Гц, конструкция в достаточной степени защищена от вызываемых землетрясением колебаний грунта за счет большой длительности цикла собственных колебаний. Однако, если первая собственная частота превышает 2 Гц, землетрясение не способно вызывать каких-либо значительных смещений конструкции и сопутствующего урона за счет высокой жесткости конструкции.

В настоящее время, известны различные маятниковые опоры скольжения четырех основных типов. Они схематически показаны на фиг. 1A-1D и кратко пояснены далее.

С другой стороны, существует маятниковая опора 5 скольжения типа "ползуна с одинарным криволинейным контуром поверхности" (далее – опора одинарного типа), схематически показанная на фиг. 1A, у которой первая пластина 1 скольжения находится в поверхностном контакте с ползуном 3 посредством первой криволинейной основной поверхности 10 скольжения, а вторая пластина 2 скольжения находится в поверхностном контакте с ползуном 3 посредством второй криволинейной основной

поверхности 20 скольжения. В случае показанной опоры одинарного типа между ползуном 3 и двумя основными поверхностями 10 и 20 скольжения предусмотрены скользящие элементы 4, позволяющие регулировать свойства трения между ползуном 3 и двумя основными поверхностями 10 и 20 скольжения пластин 1 и 2 скольжения.

Особенностью опоры одинарного типа является то, что изолирующие характеристики маятниковой опора скольжения преимущественно определяются поверхностью контакта между первой основной поверхностью 10 скольжения и ползуном 3. В отличие от этого, вторая пластина 2 скольжения со второй основной поверхностью 20 скольжения преимущественно служит для предотвращения прижатия ползуна 3 к первой основной поверхности 10 скольжения при вращении и тем самым для обеспечения оптимального контакта между ползуном 3 и первой основной поверхностью 10 скольжения первой пластины 1 скольжения.

Если опора одинарного типа проектируется из расчета на конкретное землетрясение с соответствующим пиковым ускорением грунта, на соответствующую расчетную нагрузку рассчитан только контакт между первой пластиной 1 скольжения и ползуном 3.

Термин "проектировать" означает, в частности, оптимизацию геометрии и характеристик трения поверхности контакта между ползуном 3 и соответствующей пластиной 1 скольжения. Это может достигаться, например, методом спектра линейного отклика или нелинейного моделирования. В ходе этого процесса оптимизации всегда должен достигаться компромисс между изолирующим действием маятниковой опоры скольжения и способностью перемещаться, которая должна сохраняться у маятниковой опоры скольжения. Это означает, что желательно, чтобы перемещение конструкции было полностью изолировано от перемещения грунта, но это может достигаться только при очень большом радиусе кривизны пластины 1 скольжения, что, однако, требует довольно значительной способности опоры перемещаться, и после землетрясения конструкция может уже не находиться в том же положении (смотри "погрешность повторного центрирования"). Тем менее, поскольку возможная способность опоры перемещаться ограничена заданным пространством для установки, и должна гарантироваться минимально заданная способность повторного центрирования, изолирующее действие не может доводиться до максимума.

Значение термина "проектировать" может проиллюстрировать, например, фиг. 1Е.

На фиг. 1Е показана диаграмма зависимости максимального абсолютного ускорения конструкции от пикового ускорения грунта (ПУГ), вызванного

соответствующим землетрясением. Из большого числа значений пикового ускорения грунта решающее значение для проектирования маятниковых опор скольжения имеют, в частности, два значения. С одной стороны, это значение пикового ускорения грунта при так называемом проектном землетрясении (ПЗ), которое принято за  $4 \text{ м/сек}^2$  в примере, проиллюстрированном на фиг. 1Е. С другой стороны, это значение пикового ускорения грунта при так называемом максимальном расчетном землетрясении (МРЗ), которое принято за  $6 \text{ м/сек}^2$  в примере, проиллюстрированном на фиг. 1Е. Проектное землетрясение соответствует землетрясению, при котором целевая конструкция должны быть лучше всего изолирована от сейсмического возбуждения. Максимальным расчетным землетрясением является максимальное землетрясение, предполагаемое на месте сооружения конструкции. Значение пикового ускорения грунта при максимальном расчетном землетрясении является ббльшим, чем при проектном землетрясении, и также может определяться как кратная величина, например, 1,5 значения пикового ускорения грунта при проектном землетрясении. При землетрясениях со значениями пикового ускорения грунта между значениями пикового ускорения грунта при проектном землетрясении и при максимальном расчетном землетрясении, конструкция может понести ущерб, но она еще может быть восстановлена.

Как показано на фиг. 1Е, максимальное абсолютное ускорение конструкции с маятниковой опорой скольжения без трения, но с оптимизированным вязкостным демпфированием (сравни кривую маятника с оптимизированным вязкостным демпфированием), далее именуемой маятниковой опорой скольжения с оптимизированным вязкостным демпфированием, является линейным и зависящим от пикового ускорения грунта. Эта кривая отражает идеальную изоляцию конструкции пассивным изолятором. Однако сочетание маятниковой опоры скольжения с оптимизированным вязкостным демпфером является дорогостоящим, и по этой причине на практике используются фрикционные маятниковые опоры скольжения.

На фиг. 1Е помимо кривой маятниковой опоры скольжения с оптимизированным вязкостным демпфированием показана типичная кривая максимальных абсолютных ускорений конструкции с фрикционной маятниковой опорой скольжения (сравни кривую фрикционной маятниковой опоры). Видно, что изолирующие характеристики традиционных конструктивных опор не изменяются линейно в зависимости от пикового ускорения грунта. Соответственно, фрикционные маятниковые опоры скольжения по своим характеристикам в целом не могут приближаться к маятниковой

опоре скольжения с оптимизированным вязкостным демпфированием при большом числе величин пиковых ускорений грунта.

Соответственно, задачей проектирования или оптимизации фрикционной маятниковой опоры скольжения должна являться адаптация геометрии и величин трения маятниковой опоры скольжения таким образом, чтобы максимальное абсолютное ускорение конструкции при определенной величине пикового ускорения грунта демонстрировало характеристики, сходные с маятниковой опорой скольжения с оптимизированным вязкостным демпфированием.

Как уже описано выше, у маятниковой опоры скольжения одинарного типа (смотри фиг. 1А) вторая пластина 2 скольжения с ее второй основной поверхностью 20 скольжения необходима для вращения ползуна 3. С целью обеспечить максимально плавное вращение ползуна вторую основную поверхность 20 скольжения смазывают, чтобы она имела очень низкий коэффициент трения (часто от 0,4% до 1,5%), и это трение не должно являться частью трения с первой основной поверхности 10 скольжения. Таким образом, изолирующие характеристики маятниковой опоры скольжения одинарного типа (смотри фиг. 1А) определяются исключительно кривизной и трением первой основной поверхности 10 скольжения.

В качестве дополнительного усовершенствовании опоры одинарного типа, показанной на фиг. 1А, известна маятниковая опора скольжения двойного типа (далее – опора двойного типа), которая показана на фиг. 1 и также известна как ползун с двумя криволинейными контурами поверхности.

Как и опора одинарного типа; опора двойного типа имеет первую пластину 1 скольжения с первой основной поверхностью 10 скольжения, вторую пластину 2 скольжения со второй основной поверхностью 20 скольжения, ползун 3 и два скользящих элемента 4.

Однако в отличие от опоры одинарного типа, вторая основная поверхность 20 скольжения идентична первой основной поверхности 10 скольжения с точки зрения эффективного радиуса и коэффициента трения. С целью гарантировать одинаковую длительность изолирующих циклов у опор одинарного типа (позиция 5 на фиг. 1А) и двойного типа (позиция 5 на фиг. 1В) сумма двух эффективных радиусов опоры двойного типа выбирается равной эффективному радиусу опоры одинарного типа. Поскольку для опоры двойного типа обычно выбираются два одинаковых эффективных радиуса и два одинаковых коэффициента трения, все перемещение опоры двойного типа равномерно распределяется по ее основным поверхностям 10 и 20 скольжения.

Соответственно, каждая максимальная траектория скользящего движения по основным поверхностям 10 и 20 скольжения опоры двойного типа составляет приблизительно половину траектория скользящего движения по основной поверхности 10 скольжения опоры одинарного типа, что делает опору двойного типа более компактной.

Дополнительным усовершенствованием опоры 5 двойного типа, показанной на фиг. 1b, является опора двойного типа с сочленением, показанная на фиг. 1C (далее - опора двойного типа с сочленением), у которой ползун 3 состоит из двух частей 3a и 3b, образующих сочленение. Опора двойного типа с сочленением известна как сочлененный ползун с двумя криволинейными контурами поверхности. Аналогично опоре двойного типа без сочленения (фиг. 1B), опора двойного типа с сочленением (фиг. 1C) имеет первую пластину 1 скольжения с первой основной поверхностью 10 скольжения, вторую пластину 2 скольжения со второй основной поверхностью 20 скольжения, ползун 3 и несколько скользящих элементов 4.

В отличие от опоры 5 двойного типа без сочленения, опора двойного типа с сочленением делит ползун 3 на две части 3a и 3b, которые контактируют друг с другом посредством скользящего элемента 4a.

Аналогично второй основной поверхности 20 скольжения опоры одинарного типа, это деление служит обеспечению оптимального контакта между ползуном 3 или его частями 3a и 3b на первой основной поверхности 10 скольжения и на второй основной поверхности 20 скольжения.

Следовательно, изолирующие характеристики опоры двойного типа с сочленением преимущественно определяются поверхностями контакта пластин 1 и 2 скольжения с соответствующими частями 3a и 3b ползуна.

Наконец, на фиг. 1D показано дополнительное усовершенствование маятниковой опоры скольжения в форме так называемого "тройного фрикционного маятника" 5 (далее – опора тройного типа).

Опора тройного типа имеет первую пластину 1 скольжения с первой основной поверхностью 10 скольжения, вторую пластину 2 скольжения со второй основной поверхностью 20 скольжения, а также ползун 3 и различные скользящие элементы 4. Как и опора двойного типа с сочленением, ползун 3 опоры тройного типа также имеет первую часть 3a и вторую часть 3b.

В отличие от опоры двойного типа с сочленением, две части 3a и 3b ползуна опоры тройного типа находятся не в непосредственном контакте друг с другом, а связаны посредством дополнительных частей 3c и 3d, а также соответствующих

скользящих элементов 4. Две другие части 3с и 3d ползуна связаны посредством сочлененной сферической поверхности, аналогичной поверхности сочлененного ползуна опоры двойного типа с сочленением.

Поскольку в случае опоры тройного типа преобладающее изолирующее действие маятниковой опоры скольжения также возникает на основных поверхностях 10 и 20 скольжения, задание ее размеров основано на задании размеров двух основных поверхностей 10 и 20 скольжения опоры двойного типа с сочленением.

Как уже описано выше со ссылкой на фиг. 1Е, все рассмотренные выше известные маятниковые опоры скольжения (одинарного и двойного типа без сочленения) имеют нелинейные изолирующие характеристики, зависящие от пикового ускорения грунта. Известные из техники опоры двойного типа с сочленением не способны поглощать пиковое ускорение грунта, а опоры тройного типа имеют почти линейные характеристики при пиковых ускорениях грунта от очень низких до средних величин, но не при пиковых ускорениях грунта от средних до максимальных величин.

Таким образом, соответствующие маятниковые опоры скольжения должны оптимизироваться, исходя из определенной величины пикового ускорения грунта, но при величинах пикового ускорения грунта, которые не соответствуют величине, использованной для оптимизации, маятниковая опора скольжения имеет сравнительно плохие изолирующие характеристики. В частности, при величинах пикового ускорения грунта в случае максимального расчетного землетрясения, коэффициент трения маятниковой опоры скольжения, оптимизированный из расчета проектного землетрясения, с одной стороны, вызывает относительно слабый изолирующее действие, а, с другой стороны, относительно большое перемещение опоры, из-за чего опора является большой и, следовательно, дорогостоящей.

Следовательно, в основу настоящего изобретения положена задача создания маятниковой опоры скольжения, а также способа задания размеров такой маятниковой опоры скольжения, за счет чего в процессе эксплуатации конструкция, изолированная маятниковой опорой скольжения, испытывает меньшие нагрузки, чем в случае традиционных известных маятниковых опор скольжения.

Решение этой задачи обеспечивается за счет маятниковой опоры скольжения по п. 1 и способа задания размеров по п. 12. Выгодные дополнительные варианты осуществления изобретения заявлены в зависимых п.п. 2-11, также п.п. 13-15.

Маятниковая опора скольжения согласно изобретению отличается тем, что первая основная поверхность скольжения первой пластины скольжения рассчитана на первую

расчетную нагрузку, а вторая основная поверхность скольжения второй пластины скольжения рассчитана на вторую расчетную нагрузку, при этом первая расчетная нагрузка отличается от второй расчетной нагрузки.

Термин "расчетная нагрузка" в данном случае относится, в частности, к конкретной величине пикового ускорения грунта при соответствующем землетрясении.

Путем проектирования эффективных радиусов и коэффициентов трения двух основных поверхностей скольжения, исходя из различных расчетных нагрузок, обеспечивается дополнительное приближение изолирующих характеристик маятниковой опоры скольжения при всех пиковых ускорениях грунта вплоть до величины пикового ускорения грунта в случае максимального расчетного землетрясения к характеристикам маятниковой опоры скольжения с оптимизированным вязкостным демпфированием, что было бы возможно, если бы вся маятниковая опора скольжения была рассчитана лишь на одну конкретную расчетную нагрузку, как в случае известных из техники маятниковых опор скольжения. Это позволяет получать значительно улучшенные изолирующие характеристики маятниковой опоры скольжения даже при пиковом ускорении грунта за пределами предполагаемой величины пикового ускорения грунта в случае проектного землетрясения без непропорционального увеличения максимального перемещения опоры.

Первая основная поверхность скольжения преимущественно рассчитана на первую расчетную нагрузку с величиной пикового ускорения грунта, которая соответствует самой большой величине пикового ускорения грунта при максимальном расчетном землетрясении и самой меньшей величине пикового ускорения грунта при проектном землетрясении. За счет этого значительно улучшаются изолирующие характеристики маятниковой опоры скольжения при землетрясениях с величинами пикового ускорения грунта, значительно превышающими величину пикового ускорения грунта при проектном землетрясении, что значительно снижает потенциальный ущерб конструкции при этих величинах пикового ускорения грунта по сравнению с традиционными опорами. Помимо этого, экономятся расходы на ремонт конструкции после землетрясения с величиной пикового ускорения грунта, превышающей величину пикового ускорения грунта при проектном землетрясении.

Вторая основная поверхность скольжения может быть рассчитана на вторую расчетную нагрузку, при которой величины пикового ускорения грунта являются равными или меньшими, чем величины пикового ускорения грунта при проектном

землетрясении. Это позволяет улучшать изолирующее действие маятниковой опоры скольжения при землетрясениях с меньшими величинами пикового ускорения грунта, чем величины пикового ускорения грунта при проектном землетрясении, по сравнению с традиционной опорой одинарного или двойного типа. За счет этого при землетрясениях с малыми величинами пикового ускорения грунта могут ослабляться напряжения, испытываемые соответствующей конструкцией. Следовательно, может значительно уменьшаться или даже исключаться возникновение симптомов усталости конструкции вследствие землетрясений с малыми величинами пикового ускорения грунта.

Также полезно, чтобы меньший из коэффициентов трения двух основных поверхностей скольжения, в частности, обычно коэффициент со второй основной поверхности скольжения был настолько высоким, чтобы гарантировать заданное минимальное сопротивление сдвигу маятниковой опоры скольжения. Минимальное сопротивление сдвигу в данном случае означает, что требуется определенное минимальное возбуждение, чтобы привести в действие маятниковую опору скольжения, т.е. заставить ползун перемещаться, по меньшей мере, по одной из двух основных поверхностей скольжения маятниковой опоры скольжения. За счет гарантированного заданного минимального сопротивления сдвигу также снижается износ маятниковой опоры скольжения, поскольку маятниковая опора скольжения не приходит в движение даже при малейшем возбуждении конструкции. Это является особо выгодным, если конструкция, изолированная маятниковой опорой скольжения, уже рассчитана на то, чтобы выдерживать землетрясения только с малыми величинами пикового ускорения грунта без ущерба или чрезмерной усталости.

На практике геометрия и/или характеристики трения обеих основных поверхностей скольжения дополнительно приводятся в соответствие друг другу таким образом, чтобы кривая результирующего абсолютного ускорения конструкции в зависимости от пикового ускорения грунта имела преимущественно линейный характер вплоть до величин пикового ускорения грунта при максимальном расчетном землетрясении. Под геометрией основных поверхностей скольжения подразумевается, например, эффективный радиус кривизны основных поверхностей скольжения, а характеристики трения определяются, например, коэффициентами трения соответствующих основных поверхностей скольжения. За счет линейного характера кривой результирующего абсолютного ускорения конструкции в зависимости от пикового ускорения грунта изолирующие характеристики маятниковой опоры

скольжения могут еще больше приближаться к изолирующим характеристикам маятниковой опоры скольжения с оптимизированным вязкостным демпфированием и тем самым улучшаться по сравнению с традиционными известными опорами скольжения, которые имеют нелинейную кривую абсолютного ускорения конструкции в зависимости от пикового ускорения грунта.

В частности, геометрия и/или характеристики трения обеих основных поверхностей скольжения могут приводиться в соответствие друг другу таким образом, чтобы кривая результирующего абсолютного ускорения конструкции в зависимости от пикового ускорения грунта была ближе к кривой результирующего абсолютного ускорения у конструкции с маятниковой опорой скольжения с оптимизированным вязкостным демпфированием, чем у конструкции с традиционными маятниковыми опорами скольжения. Это объясняется, в частности, тем, что величины результирующего абсолютного ускорения конструкции являются в среднем меньшими при величинах пикового ускорения грунта вплоть до величин пикового ускорения грунта при максимальном расчетном землетрясении, чем у традиционных известных опор скольжения, или более близкими к соответствующей величине у маятниковой опоры скольжения с оптимизированным вязкостным демпфированием. Так, маятниковая опора скольжения в идеале ближе к маятниковой опоре скольжения с оптимизированным вязкостным демпфированием, чем традиционные маятниковые опорам скольжения во всем интервале применимых величин пикового ускорения грунта и, следовательно, ближе к идеальному изолирующему действию, чем традиционные маятниковые опоры скольжения.

Также выгодно, чтобы геометрия и/или характеристики трения обеих основных поверхностей скольжения были приведены в соответствие друг другу таким образом, чтобы траектория скольжения ползуна по второй основной поверхности скольжения была значительно большей или приблизительно равной траектории скольжения ползуна по первой основной поверхности скольжения при второй расчетной нагрузке, т.е. при меньших пиковых ускорениях грунта, и траектория скольжения ползуна по первой основной поверхностью скольжения была меньшей или большей, чем по второй основной поверхности скольжения при первой расчетной нагрузке, т.е. при пиковых ускорениях грунта от высоких до максимальных. За счет этого можно разделять действие обеих основных поверхностей скольжения. Это также позволяет, например, уменьшать способность перемещаться и тем самым размеры всей маятниковой опоры скольжения, что несколько уменьшает максимальное возможное изолирующее

действие опоры согласно изобретению, но по-прежнему обеспечивает лучшее изолирующее действие, чем у традиционной опоры одинарного или двойного типа. Чтобы четко разделять действие обеих основных поверхностей скольжения и сводить к минимуму способность опоры перемещаться, на одной из основных поверхностей скольжения может использоваться ограничительное кольцо. Следует в прямой форме отметить, что это ограничительное кольцо не ограничивает общую способность опоры перемещаться.

Выгодно, чтобы первая основная поверхность скольжения имела первый эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},1}$ , а вторая основная поверхность скольжения имела второй эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},2}$ , при этом сумма  $R_{\text{eff},1}$  и  $R_{\text{eff},2}$ , по меньшей мере, в 1,4 раза превышает эффективный радиус кривизны маятниковой опоры скольжения только с одной криволинейной основной поверхностью скольжения.

Сумма  $R_{\text{eff},1}$  и  $R_{\text{eff},2}$  предпочтительно в 1,4-2,0 раза превышает эффективный радиус кривизны маятниковой опоры скольжения только с одной криволинейной основной поверхностью скольжения.

Сумма  $R_{\text{eff},1}$  и  $R_{\text{eff},2}$  также предпочтительно более чем в 2 раза превышает эффективный радиус кривизны маятниковой опоры скольжения только с одной криволинейной основной поверхностью скольжения. В данном случае предпочтительно, чтобы способность перемещаться маятниковой опоры скольжения не превышала способность перемещаться маятниковой опоры скольжения только с одной криволинейной основной поверхностью скольжения или маятниковых опор скольжения с двумя одинаковыми криволинейными основными поверхностями скольжения, т.е. опор двойного типа, эффективный радиус кривизны у которых составляет приблизительно 0,2485 квадрата желаемой длительности изолирующего цикла  $T_{\text{ISO}}$  в секундах у конструкции, защищаемой маятниковой опорой скольжения, имеющей всего одну или две идентичные криволинейные основные поверхности скольжения (одинарного или двойного типа).

Первая основная поверхность скольжения предпочтительно имеет первый эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},1}$ , а вторая основная поверхность скольжения имеет второй эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},2}$ , при этом каждый радиус  $R_{\text{eff},1}$  и  $R_{\text{eff},2}$  составляет, по меньшей мере, 0,7 величины эффективного радиуса кривизны маятниковой опоры скольжения только с одной криволинейной основной поверхностью скольжения.

Каждый радиус  $R_{\text{eff},1}$  и  $R_{\text{eff},2}$  также предпочтительно составляет более 0,7 величины эффективного радиуса кривизны маятниковой опоры скольжения, имеющей только одну криволинейную основную поверхность скольжения.

Особо выгодно, чтобы первая основная поверхность скольжения имела эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},1}$  который приблизительно равен радиусу кривизны маятниковой опоры скольжения только с одной криволинейной основной поверхностью скольжения, а вторая основная поверхность скольжения имела второй эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},2}$ , который составляет от 0,75 до 2, в частности, от 0,90 до 1,5 величины первого эффективного радиуса кривизны  $R_{\text{eff},1}$  и особо предпочтительно равен первому эффективному радиусу кривизны  $R_{\text{eff},1}$ . Эта конфигурация может легко достигаться на основе опоры одинарного типа путем корректировки радиуса кривизны второй основной поверхности скольжения, но отличается от конфигурации соответствующей опоры двойного типа без сочленения тем, что, как уже описано выше, эффективные радиусы кривизны обеих основных поверхностей скольжения у опоры двойного типа в сумме лишь соответствуют эффективному радиусу кривизны первой основной поверхности скольжения опоры одинарного типа, а радиус кривизны первой основной поверхности скольжения уже не соответствует эффективному радиусу кривизны первой основной поверхности скольжения опоры одинарного типа. Расчет прочности и тем самым результирующей геометрии, а также изготовление опоры скольжения согласно изобретению значительно упрощены, поскольку, например, могут использоваться две одинаковые пластины скольжения, что значительно сокращает расходы как при расчете прочности, так и при изготовлении опоры скольжения.

Также выгодно, чтобы первый эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},1}$  первой основной поверхности скольжения в метрах составлял около 0,25 квадрата желаемой длительности изолирующего цикла  $T_{\text{ISO}}$  в секундах у конструкции, защищаемой маятниковой опорой скольжения. Длительностью изолирующего цикла  $T_{\text{ISO}}$  является цикл колебаний конструкции с маятниковой опорой скольжения. Это задание размеров первого эффективного радиуса кривизны  $R_{\text{eff},1}$  первой основной поверхности скольжения обеспечивает особо выгодное изолирующее действие для конструкции за счет первой основной поверхности скольжения, рассчитанной на большие пиковые ускорения грунт, чем при проектном землетрясении.

Выгодно, чтобы первая основная поверхность скольжения имела первый коэффициент трения  $\mu_1$  с ползуном, который является приблизительно таким же

высоким, как у маятниковой опоры скольжения только с одной криволинейной основной поверхностью скольжения, а вторая основная поверхность скольжения имела второй коэффициент трения  $\mu_2$  с ползуном, который находится в интервале трения со смазочным материалом и составляет, в частности, от 0,2% до 2,0%, предпочтительно от 0,4% до 1,5%, особо предпочтительно от 0,6% до 1,25%. За счет этой выгодной конструкции вторая основная поверхность скольжения обеспечивает хорошие изолирующие характеристики маятниковой опоры скольжения, в особенности, в случае сейсмических толчков небольшой амплитуды.

Также выгодно, чтобы первая основная поверхность скольжения имела первый коэффициент трения  $\mu_1$  с ползуном, который является приблизительно таким же высоким, как у маятниковой опоры скольжения, имеющей только одну криволинейную основную поверхность скольжения, а вторая основная поверхность скольжения имела второй коэффициент трения  $\mu_2$ , меньший, чем  $\mu_1$ , и составляющий от около 0,2% до 1,7%, когда вторая основная поверхность скольжения смазана, и от около 2% до 3,5%, когда вторая основная поверхность скольжения не смазана. Тем самым обеспечивается минимальное сопротивление сдвигу.

Выгодно, чтобы вторая основная поверхность скольжения имела ограничительное средство для ограничения способности ползуна перемещаться по второй основной поверхности скольжения. В частности, ограничительное средство выполнено в виде кольцевого упора. За счет применения такого ограничительного средства на второй основной поверхности скольжения или на второй пластине скольжения можно отделять действие первой основной поверхности скольжения при амплитудах отклонения, превышающих способность ползуна перемещаться по второй основной поверхности скольжения, от действия второй основной поверхности скольжения. Это позволяет ограничивать способность ползуна перемещаться по второй основной поверхности скольжения, в частности, в случае сильных сейсмических возбуждений, в результате чего опора скольжения может иметь меньшие конструктивные размеры, чем при отсутствии ограничительного средства.

Особо выгодно, чтобы ограничительное средство было сконструировано таким образом, чтобы способность  $D_2$  ползуна перемещаться по второй основной поверхности скольжения была значительно меньшей или равной способности  $D_1$  ползуна перемещаться по первой основной поверхности скольжения. Так, размеры соответствующей маятниковой опоры скольжения преимущественно определяются способностью ползуна перемещаться по первой основной поверхности скольжения,

что позволяет конструировать маятниковую опору скольжения сходной по размерам с соответствующей опорой одинарного типа.

Кроме того, особо предпочтительно, чтобы способность  $D_2$  ползуна перемещаться по второй основной поверхности скольжения была ограничена 0,8, предпочтительно 0,5 величины способности  $D_1$  ползуна перемещаться по первой основной поверхности скольжения. Это дополнительное ограничение способности ползуна перемещаться по второй основной поверхности скольжения позволяет избегать избыточных общих перемещений опоры, которые вызваны суммой перемещений по первой основной поверхности скольжения и по второй основной поверхности скольжения, и тем самым экономить пространство для установки и снижать производственные затраты.

Способность  $D_2$  ползуна перемещаться по второй основной поверхности скольжения предпочтительно составляет от 1,0 до 0,25, предпочтительно от 1,0 до 0,7 величины способности  $D_1$  ползуна перемещаться по первой основной поверхности скольжения.

Наконец, выгодно, чтобы способность ползуна перемещаться по второй основной поверхности скольжения составляла, по меньшей мере, 0,1, в частности, по меньшей мере, 0,2 величины способности ползуна перемещаться по первой основной поверхности скольжения. За счет этого минимального требования к способности ползуна перемещаться по второй основной поверхности скольжения вторая основная поверхность скольжения может осуществлять свое действие, по меньшей мере, в определенном интервале отклонений и тем самым также способна в достаточной степени влиять на изолирующие характеристики всей маятниковой опоры скольжения.

Наконец, ограничительное средство предпочтительно сконструировано таким образом, чтобы преимущественно ограничивать общую способность перемещаться маятниковой опоры скольжения величиной способности перемещаться маятниковой опоры только с одной основной поверхностью скольжения. Кроме того, ограничительное средство предпочтительно сконструировано таким образом, чтобы общая способность перемещаться маятниковой опоры скольжения имела самое большее такую же величину и предпочтительно была меньшей, чем способность перемещаться маятниковой опоры скольжения только с одной основной поверхностью скольжения или маятниковой опоры скольжения с двумя основными поверхностями скольжения одинаковой криволинейной формы (как у опоры двойного типа). За счет этого размеры готовой маятниковой опоры скольжения не превышают размеры соответствующей опоры одинарного типа и, соответственно, она может легко

применяться взамен, например, существующей маятниковой опоры скольжения одинарного типа без дополнительных конструктивных изменений.

Важно, что ползун имеет две части, которые находятся в поверхностном контакте друг с другом посредством криволинейной поверхности скольжения. Первая часть ползуна находится в контакте с первой основной поверхностью скольжения, а вторая часть ползуна находится в контакте со второй основной поверхностью скольжения. Это разделение ползуна на две части с использованием вспомогательной поверхности скольжения позволяет обеспечивать нахождение соответствующих поверхностей скольжения ползуна в контакте с двумя основными поверхностями скольжения независимо от перемещений по двум основным поверхностям скольжения и тем самым разделять перемещения по двум основным поверхностям скольжения. Таким образом, части ползуна образуют узел, который предпочтительно способен разделять траектории скольжения по двум поверхностям скольжения или пластинам скольжения. В одном из особо предпочтительных вариантов осуществления маятниковая опора скольжения имеет различные траектории скольжения, различные коэффициенты трения и различные эффективные радиусы двух основным поверхностям скольжения.

Особо выгодно, чтобы вспомогательная поверхность скольжения ползуна имела такие свойства трения, чтобы третий коэффициент трения  $\mu_3$  между обеими частями ползуна являлся как можно меньшим, предпочтительно значительно меньшим, чем первый коэффициент трения  $\mu_1$ , и, в частности, имел величину менее приблизительно 2,0% (верхнее значение  $\mu_2$  при трении со смазочным материалом), предпочтительно менее 1,5%, особо предпочтительно от 0,6% до 1,25%. За счет этого особого выбора коэффициента трения вспомогательной поверхности скольжения ползуна вспомогательная поверхность скольжения обеспечивает необходимое вращение маятниковой опоры скольжения без оказания влияния на изолирующие характеристики маятниковой опоры скольжения.

Что не менее важно, желательно, чтобы радиусы кривизны и свойства трения основных поверхностей скольжения маятниковой опоры скольжения устанавливались таким образом, чтобы маятниковая опора скольжения имела погрешность повторного центрирования максимально 30%, в частности, максимально 20%, особо предпочтительно максимально 10%. За счет этого изолирующее действие маятниковой опоры скольжения будет иметь изолирующие характеристики, сходные с характеристиками маятниковой опоры скольжения даже после предыдущего приведения в действие маятниковой опоры скольжения. За счет этого маятниковая

опора скольжения имеет преимущественно сходное изолирующее действие на протяжении нескольких приведений в действие, и предыдущие приведения в действие маятниковой опоры скольжения не оказывают отрицательного влияния на ее изолирующие характеристики свыше приемлемого уровня.

Способ согласно изобретению задания размеров соответствующей маятниковой опоры скольжения отличается тем, что первая основная поверхность скольжения первой пластины скольжения рассчитана на первую расчетную нагрузку, а вторая основная поверхность скольжения второй пластины скольжения рассчитана на вторую расчетную нагрузку, которая отличается от первой расчетной нагрузки.

Преимуществом получаемой маятниковой опоры скольжения над традиционными маятниковыми опорами скольжения является то, что ее изолирующие характеристики улучшены не только при величинах пикового ускорения грунта в случае проектного землетрясения, но также при величинах пикового ускорения грунта, превышающих эти величины пикового ускорения грунта.

Ползун имеет две части, которые находятся в поверхностном контакте друг с другом посредством криволинейной поверхности скольжения, при этом первая часть ползуна находится в контакте с первой основной поверхностью скольжения, а вторая часть ползуна находится в контакте со второй основной поверхностью скольжения. Образованный тем самым узел предпочтительно способен разделять траектории скольжения по двум поверхностям скольжения или пластинам скольжения. В одном из особо предпочтительных вариантов осуществления способа задания размеров маятниковая опора скольжения имеет различные траектория скольжения, различные коэффициенты трения и различные эффективные радиусы двух основных поверхностей скольжения.

Выгодно, чтобы первая основная поверхность скольжения была рассчитана на расчетную нагрузку с величиной пикового ускорения грунта, которая соответствует самое большее величине пикового ускорения грунта при максимальном расчетном землетрясении и самое меньшее величине пикового ускорения грунта при проектном землетрясении. За счет этого даже в случае землетрясений с величинами пикового ускорения грунта между соответствующими значениями при проектном землетрясении и при максимальном расчетном землетрясении соответствующим образом сконструированная маятниковая опора скольжения демонстрирует улучшенные изолирующие характеристики и вследствие этого преимущественно поглощает нагрузки на предусмотренную конструкцию, вызываемые такими землетрясениями.

Имеет смысл, чтобы вторая основная поверхность скольжения была рассчитана на вторую расчетную нагрузку с величиной пикового ускорения грунта меньшей или равной величине пикового ускорения грунта при проектном землетрясении. Это позволяет, в том числе, предотвращать ущерб, который наносится повторяющимися землетрясениями с небольшими величинами пикового ускорения грунта и который, в конечном счете, может выражаться, в частности, в форме феноменов усталости.

Кроме того, по меньшей мере, меньший коэффициент трения одной из двух основных поверхностей скольжения, в частности, коэффициент со второй основной поверхности скольжения может выбираться таким образом, чтобы обеспечивать заданное минимальное сопротивление сдвигу маятниковой опоры скольжения. Это позволяет избегать приведения в действие маятниковой опоры скольжения в случае слабого землетрясения и тем самым избегать чрезмерного износа маятниковой опоры скольжения. Как уже описано выше, это является особо выгодным, если соответствующая конструкция уже рассчитана на то, чтобы выдерживать такие слабые землетрясения без серьезного ущерба, а маятниковая опора скольжения предназначена в основном для защиты от землетрясений со значительно большими сейсмическими возбуждениями. Это также может значительно снижать затраты на обслуживание маятниковой опоры скольжения.

Кроме того, имеет смысл, чтобы геометрия и/или характеристики трения обеих основных поверхностей скольжения были приведены в соответствие друг другу таким образом, чтобы кривая результирующего абсолютного ускорения конструкции в зависимости от пикового ускорения грунта имела преимущественно линейный характер вплоть до величин пикового ускорения грунта при максимальном расчетном землетрясении. Линейное поведение результирующего абсолютного ускорения в зависимости от пикового ускорения грунта приближено к поведению результирующего абсолютного ускорения конструкции в зависимости от пикового ускорения грунта у маятниковой опоры скольжения с оптимизированным вязкостным демпфированием и тем самым к идеальному поведению. Соответственно, характеристики сконструированной маятниковой опоры скольжения могут легко рассчитываться, с одной стороны, и оптимизироваться, исходя из идеального поведения маятниковой опоры скольжения с оптимизированным вязкостным демпфированием, с другой стороны.

Выгодно, чтобы геометрия и/или характеристики трения обеих основных поверхностей скольжения были приведены в соответствие друг другу таким образом,

чтобы кривая результирующего абсолютного ускорения конструкции в зависимости от пикового ускорения грунта была ближе к кривой результирующего абсолютного ускорения конструкции у маятниковой опоры скольжения с оптимизированным вязкостным демпфированием, чем у традиционных маятниковых опор скольжения. Такая маятниковая опора скольжения заданных размеров по своим изолирующим характеристикам находится ближе к маятниковым опорам скольжения с оптимизированным вязкостным демпфированием, чем традиционные известные опоры и тем самым демонстрирует, в частности, в целом улучшенные изолирующие характеристики при соответствующих пиковых ускорениях грунта.

Кроме того, имеет смысл, чтобы геометрия и/или характеристики трения обеих основных поверхностей скольжения были приведены в соответствие друг другу таким образом, чтобы траектория скольжения ползуна по второй основной поверхности скольжения значительно превышала или была приблизительно такой же, как и траектория скольжения по первой основной поверхности скольжения в случае второй расчетной нагрузки, т.е. при меньших величинах пикового ускорения грунта, и чтобы траектория скольжения ползуна по первой основной поверхности превышала или была меньшей, чем траектория скольжения по второй основной поверхности скольжения в случае первой расчетной нагрузки, т.е. при больших величинах пикового ускорения грунта. Как уже указано выше, тем самым изолирующее действие первой основной поверхности скольжения может отделяться от действия второй основной поверхности скольжения, особенно, в случае сильных сейсмических возбуждений, чтобы иметь возможность лучше приспособлять общие изолирующие характеристики маятниковой опоры скольжения, а также уменьшать требуемое пространство для установки маятниковой опоры скольжения.

На первой стадии способа задания размеров определяют первый эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},1}$  и первую величину трения  $\mu_1$  для первой основной поверхностью 10 скольжения, исходя из того, что маятниковая опора 5 скольжения имеет только одну основную поверхность скольжения, выбирают второй эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},2}$  для второй основной поверхности 20 скольжения таким образом, чтобы он составлял от 0,75 до 2, предпочтительно от 0,75 до 1,5 величины радиуса кривизны первой основной поверхности 10 скольжения, и выбирают второй коэффициент трения  $\mu_2$  для второй основной поверхностью 20 скольжения таким образом, чтобы он составлял от 0,2% до 2,0%, предпочтительно от 0,4% до 1,5%, более предпочтительно от 0,6% до 1,25% (в интервале трения со смазочным материалом), или

был меньшим или равным первому эффективному коэффициенту трения  $\mu_1$ , чтобы обеспечить заданное минимальное сопротивление сдвигу. Второй коэффициент трения  $\mu_2$  может составлять, по меньшей мере, 0,75 величины первого коэффициента трения  $\mu_1$  или быть немного меньшим или равным первому коэффициенту трения  $\mu_1$ , за счет чего обеспечивается заданное минимальное сопротивление сдвигу. Это позволяет получать маятниковую опору скольжения с улучшенными изолирующими характеристиками по сравнению с традиционными маятниковыми опорами скольжения даже при меньших величинах пикового ускорения грунта, чем величины пикового ускорения грунта в случае проектного землетрясения.

Для второй основной поверхностью скольжения предпочтительно выбирается второй эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},2}$ , преимущественно равный первому эффективному радиусу кривизны  $R_{\text{eff},1}$ .

Для  $R_{\text{eff},1}$  и  $R_{\text{eff},2}$  предпочтительно выбирается величина, составляющая, по меньшей мере, 0,7 величины эффективного радиуса кривизны предполагаемой маятниковой опоры скольжения только с одной криволинейной основной поверхностью скольжения.

Для  $R_{\text{eff},1}$  и  $R_{\text{eff},2}$  предпочтительно выбирается величина, составляющая более 0,7 величины эффективного радиуса кривизны предполагаемой маятниковой опоры скольжения только с одной криволинейной основной поверхностью скольжения.

Для второй основной поверхностью скольжения, если она является смазанной, предпочтительно выбирается второй коэффициент трения  $\mu_2$ , составляющий от 0,2% до 2,0%, предпочтительно от 0,4% до 1,5%, более предпочтительно от 0,6% до 1,25%, и в случае несмазанной второй основной поверхности скольжения применяется таким образом, чтобы обеспечивалось минимальное сопротивление сдвигу, при этом коэффициент трения  $\mu_2$  является меньшим, чем коэффициент трения  $\mu_1$ .

Помимо этого, на второй стадии способа задания размеров путем нелинейного динамического моделирования конструкции с маятниковой опорой скольжения с учетом обеих основных поверхностей скольжения, по меньшей мере, при одной величине пикового ускорения грунта, но, в частности, при всех ожидаемых величинах пикового ускорения грунта от очень малых вплоть до величин пикового ускорения грунта в случае максимального расчетного землетрясения свойства с первой основной поверхности скольжения и геометрические свойства второй основной поверхностью скольжения могут согласовываться таким образом, чтобы получать характеристики максимального абсолютного ускорения конструкции и/или максимального

перемещения опоры в максимальной степени пропорциональные поведению пикового ускорения грунта с меньшими величинами, чем до согласования основных поверхностей скольжения. Соответственно, изолирующие характеристики маятниковой опоры скольжения, полученные на первой стадии проектирования, могут дополнительно подстраиваться под оптимальные характеристики маятниковой опоры скольжения с оптимизированным вязкостным демпфированием.

В способе задания размеров предпочтительно должны соблюдаться следующие правила: величина  $\mu_2$  является меньшей, чем величина  $\mu_1$ , а величина  $D_2$  является меньшей или равной величине  $D_1$ .

Особо выгодно, чтобы первый эффективный радиус кривизны  $R_{\text{эф},1}$  второй коэффициент трения  $\mu_2$  оставались постоянными на второй стадии проектирования. Это позволяет, с одной стороны, облегчать согласование обеих основных поверхностей скольжения путем ограничения регулируемых параметров, а, с другой стороны, исключать возможность того, что маятниковая опора скольжения должна быть полностью перепроектирована и, соответственно, больше не отвечает первоначально заданным условиям.

На третьей стадии способа задания размеров определяют максимальную требуемую способность  $D_1$  ползуна перемещаться по первой основной поверхности скольжения маятниковой опоры скольжения как оптимальную на второй стадии и устанавливают для маятниковой опоры скольжения. Наконец, на этой стадии ограничивают требуемое пространство для установки маятниковой опоры скольжения относительно первой основной поверхности скольжения, что является выгодным для проверки задания размеров спроектированной маятниковой опоры скольжения и их корректировки при необходимости.

Также выгодно чтобы на второй стадии проектирования за величину второго коэффициента трения  $\mu_2$  принималась величина, типичная при трении со смазочным материалом, в частности, от 0,2% до 2%, предпочтительно от 0,2% до 1,7%, предпочтительно от 0,4% до 1,5%, особо предпочтительно от 0,5% до 1,0%. За счет этого условия соответствующая маятниковая опора скольжения может гарантировать достаточную изоляцию, в особенности, в случае слабых землетрясений с низким пиковым ускорением грунта. Это главным образом имеет целью защитить строение от усталости или ущерба, вызываемого слабыми, но часто происходящими сейсмическими толчками.

На четвертой стадии способа задания размеров устанавливают для второй способности  $D_2$  ползуна перемещаться по второй основной поверхности скольжения величину, меньшую или равную величине первой способности  $D_1$  ползуна перемещаться по первой основной поверхности скольжения. Это позволяет ограничивать размеры маятниковой опоры скольжения размерами первой основной поверхности скольжения и тем самым эффективно использовать доступное пространство для установки.

Наконец, выгодно, чтобы на первой стадии способа задания размеров первый эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},1}$  и первый коэффициент трения  $\mu_1$  определялись методом спектра линейного отклика согласно стандарту DIN EN 15129:2010. Преимуществом этого метода является то, что он уже известен и прошел проверку, что означает, что не требуется разработка новых методов. Кроме того, он, по меньшей мере, частично обеспечивает сравнимость спроектированной маятниковой опоры скольжения с другими маятниковыми опорами скольжения, спроектированными согласно стандарту.

Далее со ссылкой на чертежи описаны выгодные варианты осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 2 схематически показана маятниковая опора скольжения согласно первому выгодному варианту осуществления изобретения.

На фиг. 3 схематически показана маятниковая опора скольжения согласно второму выгодному варианту осуществления изобретения.

На фиг. 4А показана диаграмма зависимости максимального абсолютного ускорения, возникающего в конструкции, от пикового ускорения грунта (ПУГ) для маятниковой опоры скольжения, спроектированной согласно первому варианту осуществления способа задания размеров (смотри кривую для адаптивной маятниковой опоры Mauger), в сравнении с уже известными сопоставимыми опорами (смотри кривые для фрикционной маятниковой опоры и маятниковой опоры с оптимизированным вязкостным демпфированием).

На фиг. 4В показана диаграмма зависимости максимальной горизонтальной воспринимаемой нагрузки от пикового ускорения грунта (ПУГ) для маятниковой опоры скольжения, спроектированной согласно первому варианту осуществления способа задания размеров (смотри кривую для адаптивной маятниковой опоры Mauger), в сравнении с уже известными сопоставимыми опорами (смотри кривые для

фрикционной маятниковой опоры и маятниковой опоры с оптимизированным вязкостным демпфированием).

На фиг. 4С показана диаграмма зависимости максимального общего перемещения опоры от пикового ускорения грунта (ПУГ) для маятниковой опоры скольжения, спроектированной согласно первому варианту осуществления способа задания размеров (смотри кривую для адаптивной маятниковой опоры Mauger), в сравнении с уже известными сопоставимыми опорами (смотри кривые для фрикционной маятниковой опоры и маятниковой опоры с оптимизированным вязкостным демпфированием).

На фиг. 4D показана диаграмма зависимости остаточного общего перемещения опоры от пикового ускорения грунта (ПУГ) для маятниковой опоры скольжения, спроектированной согласно первому варианту осуществления способа задания размеров (смотри кривую для адаптивной маятниковой опоры Mauger), в сравнении с уже известными сопоставимыми опорами (смотри кривые для фрикционной маятниковой опоры и маятниковой опоры с оптимизированным вязкостным демпфированием).

На фиг. 5А показана диаграмма зависимости максимального абсолютного ускорения, возникающего в конструкции, от пикового ускорения грунта (ПУГ) для маятниковой опоры скольжения, спроектированной согласно второму варианту осуществления способа задания размеров (смотри кривую для адаптивной маятниковой опоры Mauger), в сравнении с уже известными сопоставимыми опорами (смотри кривую для фрикционной маятниковой опоры).

На фиг. 5В показана диаграмма зависимости максимальной горизонтальной воспринимаемой нагрузки от пикового ускорения грунта (ПУГ) для маятниковой опоры скольжения, спроектированной согласно второму варианту осуществления способа задания размеров (смотри кривую для адаптивной маятниковой опоры Mauger), в сравнении с уже известными сопоставимыми опорами (смотри кривую для фрикционной маятниковой опоры).

На фиг. 5С показана диаграмма зависимости максимального общего перемещения опоры от пикового ускорения грунта (ПУГ) для маятниковой опоры скольжения, спроектированной согласно второму варианту осуществления способа задания размеров (смотри кривую для адаптивной маятниковой опоры Mauger), в сравнении с уже известными сопоставимыми опорами (смотри кривую для фрикционной маятниковой опоры).

На фиг. 5D показана диаграмма зависимости погрешности повторного центрирования (остаточного общего перемещения опоры) от пикового ускорения грунта (ПУГ) для маятниковой опоры скольжения, спроектированной согласно второму варианту осуществления способа задания размеров (смотри кривую для адаптивной маятниковой опоры Maurer), в сравнении с уже известными сопоставимыми опорами (смотри кривую для фрикционной маятниковой опоры).

На фиг. 2 и 3 схематически показана маятниковая опора 5 скольжения согласно одному из особо выгодных вариантов осуществления настоящего изобретения. Как и опора двойного типа с сочленением, описанная выше со ссылкой на фиг. 1C, проиллюстрированная маятниковая опора 5 скольжения содержит первую пластину 1 скольжения с первой основной поверхностью 10 скольжения, вторую пластину 2 скольжения со второй основной поверхностью 20 скольжения, ползун 3, разделенный на две части 3a и 3b, и различные скользящие элементы 4 и 4a. Первая часть 3a ползуна находится в поверхностном контакте с первой основной поверхностью 10 скольжения первой пластины 1 скольжения посредством скользящего элемента 4, а вторая часть 3b ползуна находится в поверхностном контакте со второй основной поверхностью 20 скольжения второй пластины 2 скольжения посредством другого скользящего элемента 4. Обе части 3a и 3b ползуна находятся в поверхностном контакте друг с другом посредством скользящего элемента 4a. Единственным различием между примерами, проиллюстрированными на фиг. 3 и на фиг. 2, является то, что маятниковая опора 5 скольжения на фиг. 3 имеет ограничительное средство 6 на второй пластине 2 скольжения, ограничивающее способность ползуна 3 перемещаться по второй основной поверхности 20 скольжения и сконструированное в данном случае, в частности, как ограничительное кольцо.

На этом этапе следует прояснить, что ограничительное средство 6 является особо выгодным при определенных расчетных нагрузках, но не является обязательным для создания маятниковой опоры скольжения согласно настоящему изобретению. Необходимо также прояснить, что ограничительное средство 6 не ограничивает общую способность опоры перемещаться, поскольку ограничительное средство 6 в максимальной степени ограничивает максимальное перемещение по одной из двух основных поверхностей скольжения.

Как уже описано выше, сумма эффективных радиусов кривизны основных поверхностей 10 и 20 скольжения соответствует эффективному радиусу кривизны первой основной поверхности 10 скольжения маятниковой опоры скольжения двойного

типа с сочленением. Кроме того, коэффициенты трения обеих основных поверхностей 10 и 20 скольжения опоры двойного типа с сочленением являются одинаковыми. Это означает, что обе основные поверхности 10 и 20 скольжения опоры двойного типа с сочленением конструктивно одинаковы и, соответственно, обе основные поверхности 10 и 20 скольжения рассчитаны на одинаковую расчетную нагрузку. Это имеет целью равномерно распределять перемещение, которое совершает маятниковая опора скольжения между обеими основными поверхностями 10 и 20 скольжения, за счет чего горизонтальное пространство, необходимое для установки опоры одинарного типа, уменьшается приблизительно наполовину.

В отличие от этого, маятниковые опоры 5 скольжения, показанные на фиг. 2 и 3, имеют основные поверхности 10 и 20 скольжения, рассчитанные на две различные расчетные нагрузки. Это означает, что в отличие от опоры двойного типа с сочленением, две основные поверхности 10 и 20 скольжения отличаются друг от друга, по меньшей мере, своими радиусами кривизны и/или коэффициентами трения.

В примерах осуществления, проиллюстрированных на фиг. 2 и фиг. 3, радиус кривизны и коэффициент с первой основной поверхности 10 скольжения преимущественно соответствует радиусу кривизны и коэффициенту с первой основной поверхности 10 скольжения соответствующей опоры 5 одинарного типа. Так, радиус кривизны соответствующей первой основной поверхности скольжения почти в два раза превышает радиус кривизны соответствующей опоры двойного типа с сочленением. Кроме того, соответствующая вторая основная поверхность 20 скольжения в проиллюстрированных выгодных вариантах осуществления имеет эффективный радиус кривизны, который преимущественно соответствует эффективному радиусу кривизны первой основной поверхности 10 скольжения и в два раза превышает радиус кривизны второй основной поверхности 20 скольжения соответствующей опоры двойного типа с сочленением. Коэффициент трения соответствующей второй основной поверхности 20 скольжения также является значительно меньшим, чем коэффициент трения соответствующей первой основной поверхности 10 скольжения, и находится в интервале трения со смазочным материалом, т.е. от 0,2% до 2%, в данном случае, например, равен 1,0%.

Следовательно, маятниковые опоры 5 скольжения, показанные на фиг. 2 и фиг. 3, отличаются от соответствующей опоры двойного типа с сочленением, известной из техники, в частности, величинами радиусов кривизны соответствующей первой основной поверхности 10 скольжения и соответствующей второй основной

поверхности 20 скольжения, а также коэффициентом трения соответствующей второй основной поверхностью 20 скольжения.

Соответствующая первая основная поверхность 10 скольжения рассчитана на величины пикового ускорения грунта при проектном землетрясении, а соответствующая вторая основная поверхность 20 скольжения рассчитана на меньшую величину пикового ускорения грунта, чем при проектном землетрясении.

При возбуждении одной из опор 5 скольжения, схематически показанных на фиг. 2 и фиг. 3, сначала ползун 3 перемещается по соответствующей второй основной поверхности 20 скольжения второй пластины 2 скольжения (например, влево), преимущественно сохраняя свое положение относительно первой пластины 1 скольжения.

В случае маятниковой опоры 5 скольжения с ограничительным средством 6 на основной поверхности 20 скольжения происходит приблизительно следующее (смотри фиг. 3). Как только ползун 3 достигает ограничительного средства 6, он больше не может перемещаться в этом направлении (т.е. влево) по пластине 2 скольжения 2, поэтому при достаточной силе возбуждения перемещение ползуна 3 происходит по первой основной поверхности 10 скольжения первой пластины 1 скольжения, пока не будет достигнута точка обращения возбуждения. Как только точка обращения возбуждения достигнута, и возбуждение обращено в противоположном направлении, сначала ползун 3 перемещается по второй основной поверхности 20 скольжения пластины скольжения 2 (вправо) до другой стороны ограничительного средства 6. Как только ползун 3 снова достигает ограничительного средства 6, он больше не способен перемещаться относительно второй пластины 2 скольжения. С этого момента остающееся возбуждение задерживается перемещением ползуна 3 по первой основной поверхности 10 скольжения первой пластины 1 скольжения. Этот сценарий повторяется, пока возбуждение не прекратится, и ползун снова не займет центральное положение или положение, максимально близкое к соответствующему центру обеих пластин 2 и 1 скольжения.

В случае маятниковой опоры 5 скольжения без ограничительного средства на основной поверхности 20 скольжения происходит приблизительно следующее (смотри фиг. 2). Ползун также перемещается относительно второй основной поверхности 20 скольжения, как только сила трения со второй основной поверхности 20 скольжения становится равной общей силе трения с первой основной поверхности 10 скольжения, которой является сумма силы трения со второй основной поверхности 20 скольжения и

градиента силы трения с криволинейным контуром второй основной поверхности 20 скольжения. Это состояние также может возникать в случае маятниковой опоры 5 скольжения с ограничительным кольцом в зависимости от эффективных радиусов кривизны и коэффициентов трения обеих основных поверхностей 10 и 20 скольжения. В этом случае ползун лишь позднее достигает ограничительного средства на основной поверхности 20 скольжения. Основным различием между маятниковой опорой 5 скольжения с ограничительным средством и маятниковой опорой 5 скольжения без ограничительного средства является то, что в первом случае максимальное перемещение опоры при максимальном расчетном землетрясении является несколько меньшим, чем во втором случае, а изолирующее действие в первом случае несколько хуже, чем во втором случае, но по-прежнему значительно лучше, чем у традиционной маятниковой опоры скольжения одинарного или двойного типа.

В отличие от перемещения опоры согласно изобретению, которое ограничено в основном перемещением одной из двух пластин скольжения, у традиционной опоры двойного типа с сочленением любое возникающее перемещение равномерно распределяется по обеим основным поверхностям 10 и 20 скольжения. Это приводит к ухудшению изолирующих характеристик при большинстве возможных пиковых ускорениях грунта в случае возможных землетрясений. За счет основных поверхностей 10 и 20 скольжения, сконструированных с учетом различных расчетных нагрузок, соответствующая маятниковая опора 5 скольжения рассчитана не только на определенную величину пикового ускорения грунта, но и на широкий интервал возможных величин пикового ускорения грунта, и тем самым ее общие изолирующие характеристики являются более близкими к характеристикам маятниковой опоры скольжения с оптимизированным вязкостным демпфированием и, следовательно, лучшими в широком интервале возможных величин пикового ускорения грунта.

Далее описаны два примера способа задания размеров соответствующих маятниковых опор скольжения, и приведено сравнение созданной маятниковой опоры скольжения с соответствующей традиционной маятниковой опорой скольжения одинарного типа.

Сначала, осуществляется расчет параметров маятниковой опоры скольжения на основе конструкции соответствующей опоры одинарного типа. Вычисляется радиус кривизны  $R_{\text{eff},1}$  первой основной поверхности скольжения, исходя из предполагаемой длительности изолирующего цикла  $T_{\text{iso}}$ , согласно следующей формуле:

$$R_{\text{eff},1} = g \times (T_{\text{iso}}/2\pi)^2$$

Полученный радиус соответствует радиусу первой основной поверхности скольжения соответствующей опоры одинарного типа.

Затем определяется коэффициент трения  $\mu_1$  для первой основной поверхности скольжения с радиусом  $R_{\text{eff},1}$ , исходя из опоры одинарного типа, для величины пикового ускорения грунта при предполагаемом проектном землетрясении путем динамического моделирования с оптимизацией к минимальному абсолютному ускорению конструкции. В качестве альтернативы, коэффициент трения  $\mu_1$  для первой основной поверхности скольжения также может определяться методом спектра линейного отклика. Затем выбирается радиус  $R_{\text{eff},2}$  второй основной поверхности скольжения, равный радиусу  $R_{\text{eff},1}$  первой основной поверхности скольжения, и устанавливается величина коэффициента трения  $\mu_2$  второй основной поверхности скольжения, типичная для трения со смазочным материалом. Кроме того, рассчитывается максимальная способность ползуна перемещаться по двум основным поверхностям скольжения при максимальном расчетном землетрясении.

Эти стадии являются этапами предварительного проектирования параметров маятниковой опоры скольжения и являются идентичными для обоих примеров описанного способа согласно изобретению.

Для данной первой конструкции основной поверхности скольжения маятниковой опоры скольжения используются соответствующие параметры маятниковой опоры скольжения одинарного типа.

В проиллюстрированных примерах предполагается, что величина пикового ускорения грунта при проектном землетрясении составляет  $4 \text{ м/сек}^2$ , а величина пикового ускорения грунта при максимальном расчетном землетрясении составляет  $6 \text{ м/сек}^2$ , т.е. 150% величины пикового ускорения грунта при проектном землетрясении. Кроме того, должна поддерживаться длительность изолирующего цикла 3,5 секунды. В результате оптимизации коэффициента трения  $\mu_1$  для первой основной поверхности 10 скольжения с учетом минимального абсолютного ускорения конструкции  $4 \text{ м/сек}^2$  при пиковых ускорениях грунта в настоящем примере получают коэффициент трения 3,0%. Способность перемещаться  $d = 0,3 \text{ м}$ , требуемая для первой основной поверхности 10 скольжения, может рассчитываться, исходя из способности перемещаться опоры одинарного типа при величине пикового ускорения грунта в случае максимального расчетного землетрясения.

После создания первого предварительного проекта маятниковой опоры скольжения предполагаемые основные поверхности скольжения должны приводиться в

соответствие друг другу таким образом, чтобы маятниковая опора скольжения отвечала определенным граничным условиям. В первом примере задачей является достижение почти линейных изолирующих характеристик при минимальных абсолютных ускорениях конструкции.

Исходя из первого проекта, устанавливается второй эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},2}$  равный первому эффективному радиусу кривизны  $R_{\text{eff},1}$ , и устанавливается величина второго коэффициента трения  $\mu_2$  при трении со смазочным материалом от 0,2% до 2%, в данном примере 0,75%.

После этого коэффициент трения  $\mu_1$  первой основной поверхности скольжения, эффективный радиус  $R_{\text{eff},2}$  второй основной поверхности скольжения и способность  $D_2$  ползуна перемещаться по второй основной поверхности скольжения варьируются во всем интервале применимых величин пикового ускорения грунта до достижения минимально возможного, по меньшей мере, в среднем, абсолютного ускорения конструкции и максимально линейных изолирующих характеристик. Наконец, определяется требуемая способность  $D_1$  ползуна перемещаться по первой основной поверхности скольжения, которая, в частности, зависит от величины пикового ускорения грунта при максимальном расчетном землетрясении.

В результате оптимизация в данном примере коэффициент трения  $\mu_1$  первой основной поверхности скольжения составляет 3,5%, оба радиуса кривизны  $R_{\text{eff},1}$  и  $R_{\text{eff},2}$  обеих основных поверхностей скольжения являются одинаковыми и соответствуют радиусу кривизны соответствующей опоры одинарного типа, коэффициент трения  $\mu_2$  второй основной поверхности скольжения составляет 0,85%, а необходимая способность  $D_2$  ползуна перемещаться по второй основной поверхности скольжения составляет 0,130 м. Ограничение способности ползуна перемещаться по второй основной поверхности скольжения достигается конструктивно за счет ограничительного средства, предусмотренного у маятниковой опоры скольжения.

Наконец, на фиг. 4А-4D показаны диаграммы, на которых характеристики маятниковой опоры скольжения, спроектированной описанным выше способом, сравниваются с характеристиками соответствующей опоры одинарного типа и соответствующей маятниковой опоры скольжения с оптимизированным вязкостным демпфированием.

На фиг. 4А показано абсолютное ускорение конструкции в зависимости от пикового ускорения грунта (ПУГ). При сравнении соответствующих кривых видно, что маятниковая опора скольжения, спроектированная описанным выше способом (смотри

кривую для адаптивной маятниковой опоры Mauger), имеет почти линейную кривую абсолютного ускорения конструкции в зависимости от пикового ускорения грунта. Кроме того, соответствующие величины абсолютного ускорения конструкции являются ясно меньшими, чем соответствующие величины у соответствующей маятниковой опоры одинарного типа (смотри кривую для фрикционной опоры). Кроме того, видно, что полученные величины абсолютного ускорения конструкции для маятниковой опоры скольжения, спроектированной согласно описанному варианту осуществления, в среднем значительно ближе к величинам маятниковой опоры скольжения с оптимизированным вязкостным демпфированием (смотри кривую для маятниковой опоры с оптимизированным вязкостным демпфированием), чем соответствующие величины у соответствующей опоры одинарного типа. Следовательно, маятниковая опора скольжения, размеры которой заданы согласно описанному варианту осуществления настоящего изобретения, имеет лучшие изолирующие характеристики, чем у соответствующей опоры одинарного типа, в результате чего маятниковая опора скольжения, размеры которой заданы согласно изобретению может лучше подавлять напряжения, испытываемые конструкцией.

На фиг. 4В показана максимальная горизонтальная воспринимаемая нагрузка на соответствующие опоры в зависимости от пикового ускорения грунта. Поскольку соответствующие кривые имеют близкое сходство с кривыми, показанными на фиг. 3А, выводы, сделанные выше со ссылкой на фиг. 3А, также можно преимущественно отнести к максимальным горизонтальным воспринимаемым нагрузкам.

На фиг. 4С показана диаграмма максимального перемещения опоры в зависимости от пикового ускорения грунта для соответствующих опор. Видно, что максимальное перемещение опоры, спроектированной согласно изобретению, при максимальном расчетном землетрясении является значительно меньшим, чем у традиционной маятниковой опоры скольжения одинарного или двойного типа.

На фиг. 4D показана диаграмма, иллюстрирующая погрешность повторного центрирования для описанных выше опор в зависимости от пикового ускорения грунта. Из диаграммы видно, что при погрешности повторного центрирования соответствующим образом спроектированной маятниковой опоры скольжения немного выше 10%, величина пикового ускорения грунта составляет, в частности, 3 м/сек<sup>2</sup>. Таким образом, погрешность повторного центрирования маятниковой опоры скольжения, размеры которой заданы согласно описанному варианту осуществления изобретения, при этой величине пикового ускорения грунта является более высокой,

чем у соответствующей опоры одинарного типа или маятниковой опоры скольжения с оптимизированным вязкостным демпфированием. Однако погрешность повторного центрирования не превышает предельную величину 50% и даже является значительно меньшей, чем эта предельная величина. Эта увеличенная погрешность повторного центрирования более чем компенсируется описанными выше оптимизированными характеристиками максимального абсолютного ускорения конструкции, максимальной горизонтальной воспринимаемой нагрузки и максимального перемещения маятниковой опоры скольжения, спроектированной согласно описанному варианту осуществления, и является значительно меньшей, чем предельная величина 50%, что означает, что сравнительно незначительное ухудшение является вполне приемлемым в данном случае.

Задачей второго примера способа задания размеров согласно изобретению является не достижение какого-либо перемещения конструкции при низких нагрузках, а достижение приблизительно линейных характеристик с минимальным абсолютным ускорением конструкции при нагрузках, превышающих величины пикового ускорения грунта.

Исходя из описанного выше первого конструирования маятниковой опоры скольжения, с учетом величин, полученных для соответствующей маятниковой опоры скольжения одинарного типа, устанавливается второй эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},2}$  равный первому эффективному радиусу кривизны  $R_{\text{eff},1}$  и устанавливается второй коэффициент трения  $\mu_2$ , равный 3,0%, чтобы гарантировать требуемое минимальное сопротивление сдвигу 3% при вертикальной нагрузке на опору (идентичное 3% абсолютного ускорения в g).

Затем в процессе согласования свойств обеих основных поверхностей скольжения задаются оба коэффициента трения  $\mu_1$  и  $\mu_2$ , радиус кривизны  $R_{\text{eff},2}$  второй основной поверхности скольжения и способность ползуна перемещаться по второй основной поверхности скольжения, исходя из граничных условий, согласно которым маятниковая опора скольжения не должна приводиться в действие вплоть до определенной величины возбуждения и должна иметь приблизительно линейные характеристики абсолютного ускорения конструкции в зависимости от пикового ускорения грунта. Эта оптимизация также осуществляется путем динамического моделирования конструкции с маятниковыми опорами скольжения.

В данном случае результаты оптимизации показывают, что коэффициент трения  $\mu_1$  первой основной поверхности скольжения и коэффициент трения  $\mu_2$  второй

основной поверхности скольжения должны составлять 3,0%, а эффективные радиусы первой основной поверхности скольжения и второй основной поверхности скольжения  $R_{eff,1}$  и  $R_{eff,2}$  равны эффективному радиусу соответствующей опоры одинарного типа. Не требуется ограничивать способность ползуна перемещаться по второй основной поверхности скольжения.

Как и на фиг. 4A-4D, на фиг. 5A-5D показано максимальное абсолютное ускорение конструкции, максимальная горизонтальная воспринимаемая нагрузка, максимальная горизонтальная воспринимаемая нагрузка, максимальное перемещение опоры и погрешность повторного центрирования в зависимости от пикового ускорения грунта.

Как видно из диаграмм на фиг. 5A и 5B, величины максимального абсолютного ускорения конструкции, а также максимальной горизонтальной воспринимаемой нагрузки у маятниковой опоры скольжения, размеры которой заданы согласно второму варианту осуществления (смотри кривые для адаптивной маятниковой опоры Maurer), являются значительно меньшими, чем у соответствующей маятниковой опоры скольжения одинарного типа (смотри кривые для фрикционной маятниковой опоры). Это значит, что маятниковая опора скольжения, сконструированная согласно второму варианту осуществления, имеет улучшенные изолирующие характеристики по сравнению с соответствующей опорой одинарного типа.

На диаграмме на фиг. 5C проиллюстрировано, что максимальные перемещения маятниковой опоры скольжения, размеры которой заданы согласно второму варианту осуществления из расчета малых величин пикового ускорения грунта, преимущественно идентичны максимальным перемещениям с соответствующей опорой одинарного типа, но достигнуто значительное меньшее максимальное перемещение опоры, в особенности, при больших величинах пикового ускорения грунта. Помимо снижения затрат на изготовление маятниковой опоры за счет снижения затрат на материалы, меньшие перемещения опоры позволяют использовать меньшее пространство для установки соответствующей маятниковой опоры скольжения и тем самым также обеспечивать более эффективное использование доступного пространства для установки.

Диаграмма на фиг. 5D показывает, что усовершенствования с точки зрения максимального абсолютного ускорения конструкции и максимальной горизонтальной воспринимаемой нагрузки приводят к увеличению погрешностей повторного центрирования. Однако возникающие погрешности повторного центрирования при

всех применимых величинах пикового ускорения грунта являются явно меньшими, чем предельная величина 50% и лишь незначительно превышают величины погрешности у соответствующей маятниковой опоры скольжения одинарного типа. Однако это незначительное увеличение погрешности повторного центрирования более чем компенсируется улучшением изолирующих характеристик маятниковой опоры скольжения, что касается максимальных абсолютных ускорений конструкции и максимальных горизонтальных воспринимаемых нагрузок.

Разумеется, что также возможны другие условия корректировки или оптимизации обеих основных поверхностей скольжения, позволяющие значительно лучше приспособлять получаемую маятниковую опору скольжения к большому числу различных требований, чем традиционную маятниковую опору скольжения, и обеспечивать ряд преимуществ, таких как снижение производственных затрат, уменьшение требуемого пространства для установки и снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт.

Это создает множество возможностей корректировки и оптимизации как при проектировании маятниковой опоры скольжения как таковой, так и при задании соответствующих размеров.

## Список позиций

- 1: первая пластина скольжения
- 2: вторая пластина скольжения
- 3: ползун
- 3a, 3b, 3c, 3d: часть ползуна
- 4, 4a, 4b: скользящий элемент
- 5: маятниковая опора скольжения
- 10: первая основная поверхность скольжения
- 20: вторая основная поверхность скольжения

## Формула изобретения (публикация WO 2018/149828)

1. Маятниковая опора (5) скольжения для защиты конструкции от динамических напряжений вследствие преимущественно горизонтального сейсмического возбуждения, имеющая первую пластину (1) скольжения, вторую пластину (2) скольжения и ползун (3), подвижно установленный между обеими пластинами скольжения, при этом каждая из двух пластин скольжения имеет криволинейную основную поверхность (10, 20) скольжения, а ползун (3) находится в поверхностном контакте с первой основной поверхностью (10) скольжения первой пластины (1) скольжения и со второй основной поверхностью (20) скольжения второй пластины (2) скольжения, отличающаяся тем, что первая основная поверхность (10) скольжения рассчитана на первую расчетную нагрузку, а вторая основная поверхность (20) скольжения рассчитана на вторую расчетную нагрузку, которая отличается от первой расчетной нагрузки.

2. Маятниковая опора (5) скольжения по п. 1, отличающаяся тем, что первая основная поверхность (10) скольжения рассчитана на первую расчетную нагрузку с величиной пикового ускорения грунта (ПУГ), которая соответствует самое большее величине ПУГ при максимальном расчетном землетрясении (МРЗ) и самое меньшее величине ПУГ при проектном землетрясении (ПЗ).

3. Маятниковая опора (5) скольжения по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что первая основная поверхность скольжения имеет первый эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},1}$  а вторая основная поверхность скольжения имеет второй эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},2}$ , при этом сумма  $R_{\text{eff},1}$  и  $R_{\text{eff},2}$ , по меньшей мере, в 1,4 раза превышает эффективный радиус кривизны маятниковой опоры скольжения, имеющей только одну криволинейную основную поверхность скольжения.

4. Маятниковая опора (5) скольжения по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что первая основная поверхность (10) скольжения имеет первый эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},1}$ , а вторая основная поверхность (20) скольжения имеет второй эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},2}$ , при этом каждый  $R_{\text{eff},1}$  и  $R_{\text{eff},2}$  составляют, по меньшей мере, 0,7 величины эффективного радиуса кривизны маятниковой опоры скольжения, имеющей только одну криволинейную основную поверхность скольжения.

5. Маятниковая опора (5) скольжения по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что первая основная поверхность (10) скольжения имеет первый

эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},1}$  который является приблизительно таким же большим, как у маятниковой опоры скольжения только с одной криволинейной основной поверхностью скольжения, а вторая основная поверхность (20) скольжения имеет второй эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},2}$ , который составляет от 0,75 до 2, в частности, от 0,90 до 1,5 величины первого эффективного радиуса кривизны  $R_{\text{eff},1}$  и особо предпочтительно равен первому эффективному радиусу кривизны  $R_{\text{eff},1}$ .

6. Маятниковая опора (5) скольжения по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что первый эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},1}$  первой основной поверхности (10) скольжения в метрах соответствует приблизительно 0,25 квадрата желаемой длительности изолирующего цикла  $T_{\text{ISO}}$  в секундах у конструкции, защищаемой маятниковой опорой (5) скольжения.

7. Маятниковая опора (5) скольжения по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что первая основная поверхность (10) скольжения имеет первый коэффициент трения  $\mu_1$  с ползуном (3), который является приблизительно таким же высоким, как у маятниковой опоры (5) скольжения, имеющей только одну криволинейную основную поверхность скольжения, а вторая основная поверхность (20) скольжения имеет второй коэффициент трения  $\mu_2$ , меньший, чем  $\mu_1$  и составляющий от около 0,2% до 1,7%, когда вторая основная поверхность (20) скольжения смазана, и от около 2% до 3,5%, когда вторая основная поверхность (20) скольжения не смазана.

8. Маятниковая опора (5) скольжения по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что вторая основная поверхность (20) скольжения имеет ограничительное средство (6) для ограничения способности ползуна (3) перемещаться по второй основной поверхности (20) скольжения, при этом ограничительное средство (6), в частности, сконструировано как кольцевой упор и не ограничивает общую способность опоры перемещаться.

9. Маятниковая опора (5) скольжения по п. 8, отличающаяся тем, что ограничительное средство (6) выполнено таким образом, что способность  $D_2$  ползуна перемещаться (3) по второй основной поверхности (20) скольжения является предпочтительно меньшей или равной способности  $D_1$  ползуна перемещаться (3) по первой основной поверхности (10) скольжения.

10. Маятниковая опора (5) скольжения по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что ползун (3) имеет две части (3a, 3b), которые находятся в поверхностном контакте друг с другом посредством вспомогательной поверхности

скольжения, при этом первая часть (3a) ползуна находится в контакте с первой основной поверхностью (10) скольжения, а вторая часть (3b) ползуна находится в контакте со второй основной поверхностью (20) скольжения.

11. Маятниковая опора (5) скольжения по п. 10, отличающаяся тем, что маятниковая опора (5) скольжения имеет различные траектории скольжения, различные коэффициенты трения и различные эффективные радиусы обеих основных поверхностей скольжения.

12. Способ задания размеров маятниковой опоры (5) скольжения для защиты конструкции от динамических напряжений вследствие преимущественно горизонтального сейсмического возбуждения, имеющей, по меньшей мере, первую пластину (1) скольжения, вторую пластину (2) скольжения и ползун (3), подвижно установленный между обеими пластинами (1, 2) скольжения, при этом каждая из двух пластин скольжения имеет криволинейную основную поверхность (10, 20) скольжения, а ползун (3) находится в поверхностном контакте с первой основной поверхностью (10) скольжения первой пластины (1) скольжения и со второй основной поверхностью (20) скольжения второй пластины (2) скольжения, отличающийся тем, что первая основная поверхность (10) скольжения рассчитана на первую расчетную нагрузку, а вторая основная поверхность (20) скольжения рассчитана на вторую расчетную нагрузку, которая отличается от первой расчетной нагрузки.

13. Способ задания размеров по п. 12, отличающийся тем, что ползун (3) имеет две части (3a, 3b), которые находятся в поверхностном контакте друг с другом посредством вспомогательной поверхности скольжения, при этом первая часть (3a) ползуна находится в контакте с первой основной поверхностью (10) скольжения, а вторая часть (3b) ползуна находится в контакте со второй основной поверхностью (20) скольжения.

14. Способ задания размеров по п. 12 или 13, отличающийся тем, что первая основная поверхность (10) скольжения рассчитана на первую расчетную нагрузку с величиной пикового ускорения грунта (ПУГ), которая соответствует самое большее величине ПУГ при максимальном расчетном землетрясении (МРЗ) и самое меньшее величине ПУГ при проектном землетрясении (ПЗ).

15. Способ задания размеров по любому из п.п. 12-14, отличающийся тем, что на первой стадии определяется первый эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},1}$  и первая величина трения  $\mu_1$  для первой основной поверхности (10) скольжения, исходя из того, что маятниковая опора (5) скольжения имеет только одну основную поверхность

скольжения, и выбирается второй эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},2}$  для второй основной поверхности (20) скольжения, составляющий от 0,75 до 2, предпочтительно от 0,75 до 1,5 величины радиуса кривизны первой основной поверхности (10) скольжения, и выбирается второй коэффициент трения  $\mu_2$  для второй основной поверхностью (20) скольжения, составляющий от 0,2% до 2,0%, предпочтительно от 0,4% до 1,5%, более предпочтительно от 0,6% до 1,25%, или меньший или равный первому эффективному коэффициенту трения  $\mu_1$ , чтобы обеспечить заданное минимальное сопротивление сдвигу.

## Формула изобретения

1. Маятниковая опора (5) скольжения для защиты конструкции от динамических напряжений вследствие преимущественно горизонтального сейсмического возбуждения, имеющая первую пластину (1) скольжения, вторую пластину (2) скольжения и ползун (3), подвижно установленный между обеими пластинами скольжения, при этом каждая из двух пластин скольжения имеет криволинейную основную поверхность (10, 20) скольжения, а ползун (3) находится в поверхностном контакте с первой основной поверхностью (10) скольжения первой пластины (1) скольжения и со второй основной поверхностью (20) скольжения второй пластины (2) скольжения, отличающаяся тем, что первая основная поверхность (10) скольжения рассчитана на первую расчетную нагрузку, а вторая основная поверхность (20) скольжения рассчитана на вторую расчетную нагрузку, которая отличается от первой расчетной нагрузки, при этом первая и вторая расчетные нагрузки представляют конкретные величины пикового ускорения грунта при соответствующих землетрясениях.

2. Маятниковая опора (5) скольжения по п. 1, отличающаяся тем, что первая основная поверхность (10) скольжения рассчитана на первую расчетную нагрузку с величиной пикового ускорения грунта (ПУГ), которая соответствует самое большее величине ПУГ при максимальном расчетном землетрясении (МРЗ) и самое меньшее величине ПУГ при проектном землетрясении (ПЗ).

3. Маятниковая опора (5) скольжения по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что первая основная поверхность скольжения имеет первый эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},1}$  а вторая основная поверхность скольжения имеет второй эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},2}$ , при этом сумма  $R_{\text{eff},1}$  и  $R_{\text{eff},2}$ , по меньшей мере, в 1,4 раза превышает эффективный радиус кривизны маятниковой опоры скольжения, имеющей только одну криволинейную основную поверхность скольжения.

4. Маятниковая опора (5) скольжения по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что первая основная поверхность (10) скольжения имеет первый эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},1}$ , а вторая основная поверхность (20) скольжения имеет второй эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},2}$ , при этом каждый  $R_{\text{eff},1}$  и  $R_{\text{eff},2}$  составляют, по меньшей мере, 0,7 величины эффективного радиуса кривизны маятниковой опоры скольжения, имеющей только одну криволинейную основную поверхность скольжения.

5. Маятниковая опора (5) скольжения по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что первая основная поверхность (10) скольжения имеет первый эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},1}$  который является приблизительно таким же большим, как у маятниковой опоры скольжения только с одной криволинейной основной поверхностью скольжения, а вторая основная поверхность (20) скольжения имеет второй эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},2}$ , который составляет от 0,75 до 2, в частности, от 0,90 до 1,5 величины первого эффективного радиуса кривизны  $R_{\text{eff},1}$  и особо предпочтительно равен первому эффективному радиусу кривизны  $R_{\text{eff},1}$ .

6. Маятниковая опора (5) скольжения по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что первый эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},1}$  первой основной поверхности (10) скольжения в метрах соответствует приблизительно 0,25 квадрата желаемой длительности изолирующего цикла  $T_{\text{iso}}$  в секундах у конструкции, защищаемой маятниковой опорой (5) скольжения.

7. Маятниковая опора (5) скольжения по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что первая основная поверхность (10) скольжения имеет первый коэффициент трения  $\mu_1$  с ползуном (3), который является приблизительно таким же высоким, как у маятниковой опоры (5) скольжения, имеющей только одну криволинейную основную поверхность скольжения, а вторая основная поверхность (20) скольжения имеет второй коэффициент трения  $\mu_2$ , меньший, чем  $\mu_1$  и составляющий от около 0,2% до 1,7%, когда вторая основная поверхность (20) скольжения смазана, и от около 2% до 3,5%, когда вторая основная поверхность (20) скольжения не смазана.

8. Маятниковая опора (5) скольжения по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что вторая основная поверхность (20) скольжения имеет ограничительное средство (6) для ограничения способности ползуна (3) перемещаться по второй основной поверхности (20) скольжения, при этом ограничительное средство (6), в частности, сконструировано как кольцевой упор и не ограничивает общую способность опоры перемещаться.

9. Маятниковая опора (5) скольжения по п. 8, отличающаяся тем, что ограничительное средство (6) выполнено таким образом, что способность  $D_2$  ползуна перемещаться (3) по второй основной поверхности (20) скольжения является предпочтительно меньшей или равной способности  $D_1$  ползуна перемещаться (3) по первой основной поверхности (10) скольжения.

10. Маятниковая опора (5) скольжения по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что ползун (3) имеет две части (3a, 3b), которые находятся в поверхностном контакте друг с другом посредством вспомогательной поверхности скольжения, при этом первая часть (3a) ползуна находится в контакте с первой основной поверхностью (10) скольжения, а вторая часть (3b) ползуна находится в контакте со второй основной поверхностью (20) скольжения.

11. Маятниковая опора (5) скольжения по п. 10, отличающаяся тем, что маятниковая опора (5) скольжения имеет различные траектории скольжения, различные коэффициенты трения и различные эффективные радиусы обеих основных поверхностей скольжения.

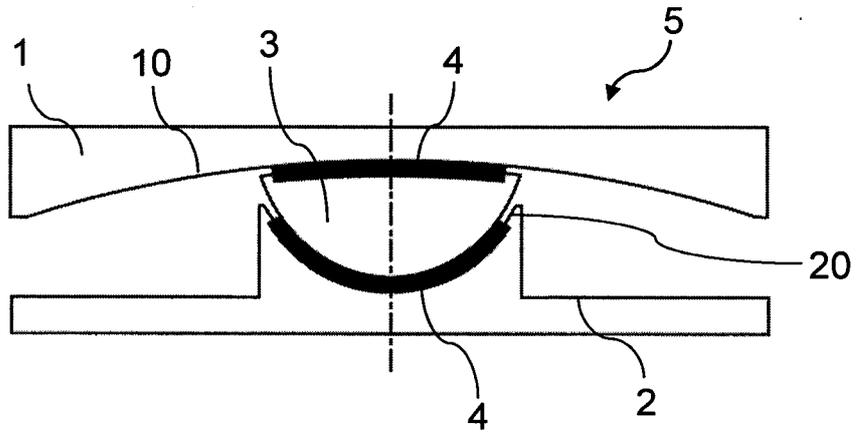
12. Способ задания размеров маятниковой опоры (5) скольжения для защиты конструкции от динамических напряжений вследствие преимущественно горизонтального сейсмического возбуждения, имеющей, по меньшей мере, первую пластину (1) скольжения, вторую пластину (2) скольжения и ползун (3), подвижно установленный между обеими пластинами (1, 2) скольжения, при этом каждая из двух пластин скольжения имеет криволинейную основную поверхность (10, 20) скольжения, а ползун (3) находится в поверхностном контакте с первой основной поверхностью (10) скольжения первой пластины (1) скольжения и со второй основной поверхностью (20) скольжения второй пластины (2) скольжения, отличающийся тем, что первая основная поверхность (10) скольжения рассчитана на первую расчетную нагрузку, а вторая основная поверхность (20) скольжения рассчитана на вторую расчетную нагрузку, которая отличается от первой расчетной нагрузки, при этом первая и вторая расчетные нагрузки представляют конкретные величины пикового ускорения грунта при соответствующих землетрясениях.

13. Способ задания размеров по п. 12, отличающийся тем, что ползун (3) имеет две части (3a, 3b), которые находятся в поверхностном контакте друг с другом посредством вспомогательной поверхности скольжения, при этом первая часть (3a) ползуна находится в контакте с первой основной поверхностью (10) скольжения, а вторая часть (3b) ползуна находится в контакте со второй основной поверхностью (20) скольжения.

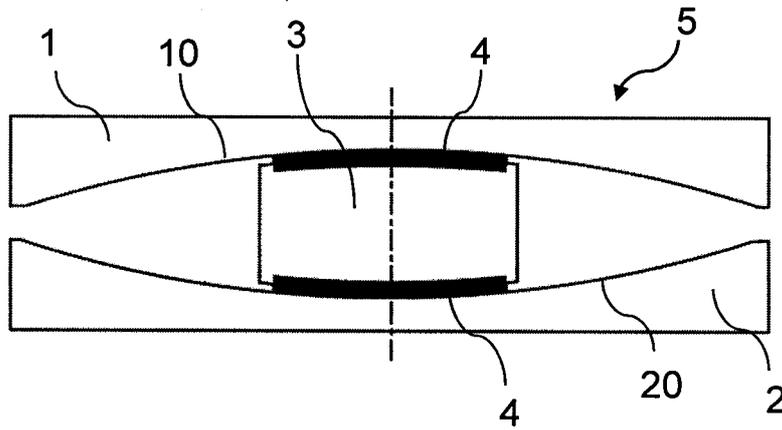
14. Способ задания размеров по п. 12 или 13, отличающийся тем, что первая основная поверхность (10) скольжения рассчитана на первую расчетную нагрузку с величиной пикового ускорения грунта (ПУГ), которая соответствует самое большее

величине ПУГ при максимальном расчетном землетрясении (МРЗ) и самое меньшее величине ПУГ при проектном землетрясении (ПЗ).

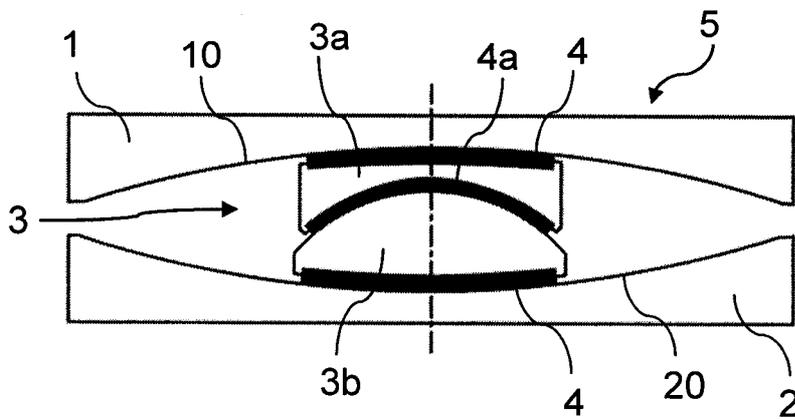
15. Способ задания размеров по любому из п.п. 12-14, отличающийся тем, что на первой стадии определяется первый эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},1}$  и первая величина трения  $\mu_1$  для первой основной поверхности (10) скольжения, исходя из того, что маятниковая опора (5) скольжения имеет только одну основную поверхность скольжения, и выбирается второй эффективный радиус кривизны  $R_{\text{eff},2}$  для второй основной поверхности (20) скольжения, составляющий от 0,75 до 2, предпочтительно от 0,75 до 1,5 величины радиуса кривизны первой основной поверхности (10) скольжения, и выбирается второй коэффициент трения  $\mu_2$  для второй основной поверхностью (20) скольжения, составляющий от 0,2% до 2,0%, предпочтительно от 0,4% до 1,5%, более предпочтительно от 0,6% до 1,25%, или меньший или равный первому эффективному коэффициенту трения  $\mu_1$ , чтобы обеспечить заданное минимальное сопротивление сдвигу.



Фиг. 1А

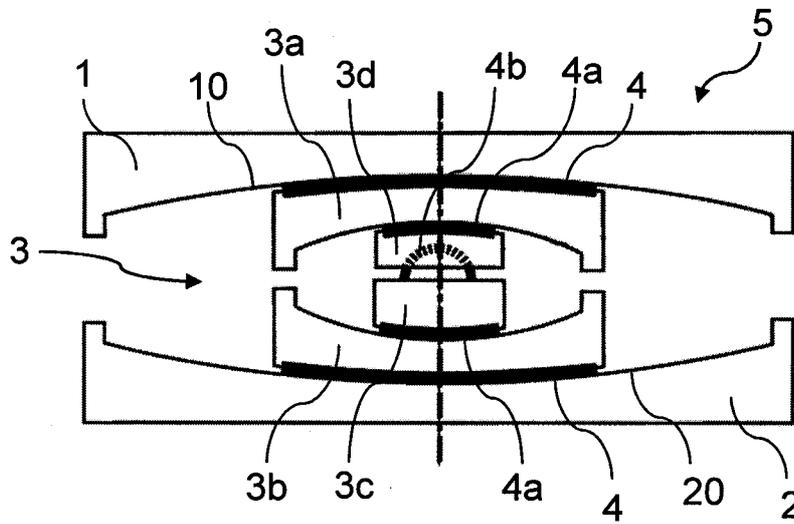


Фиг. 1В

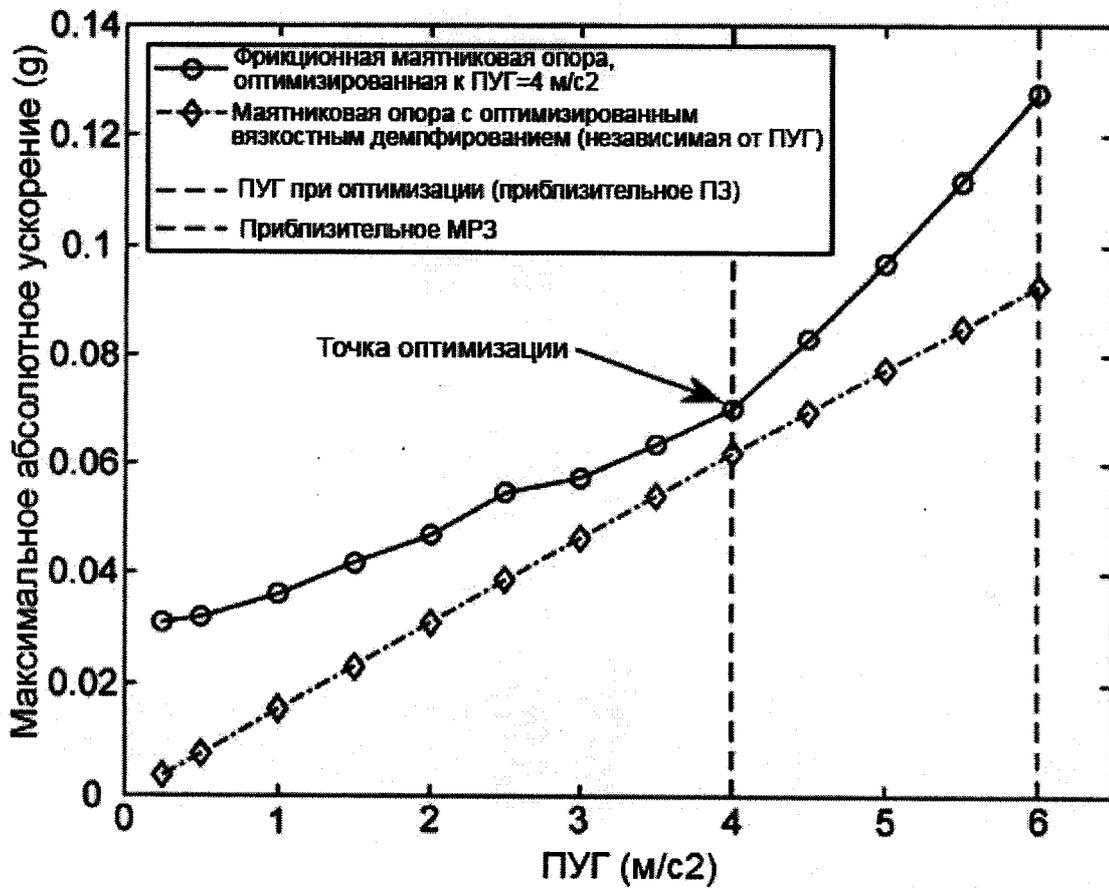


Фиг. 1С

Уровень техники

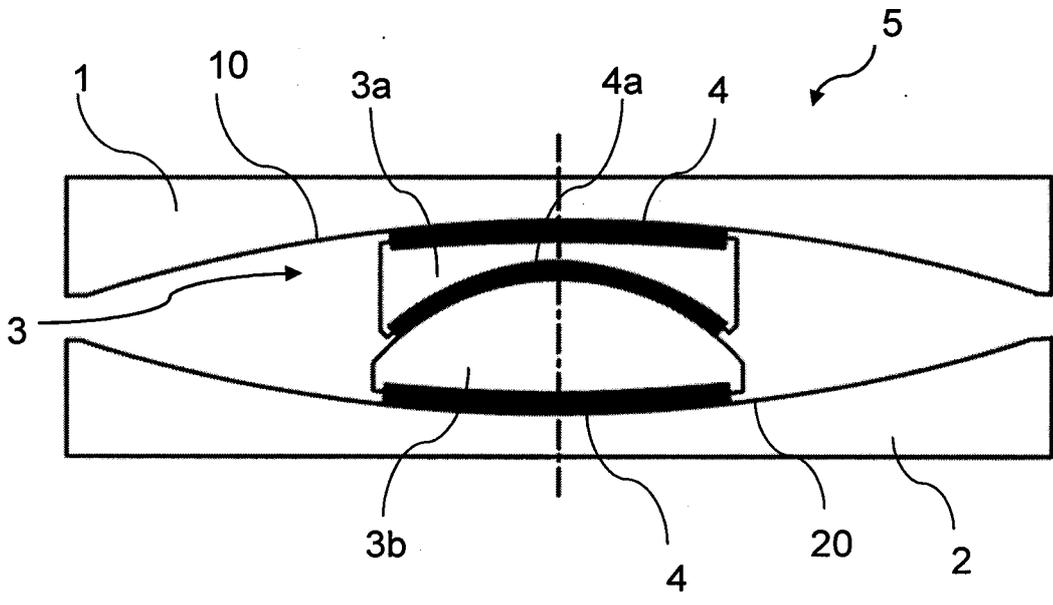


Фиг. 1D

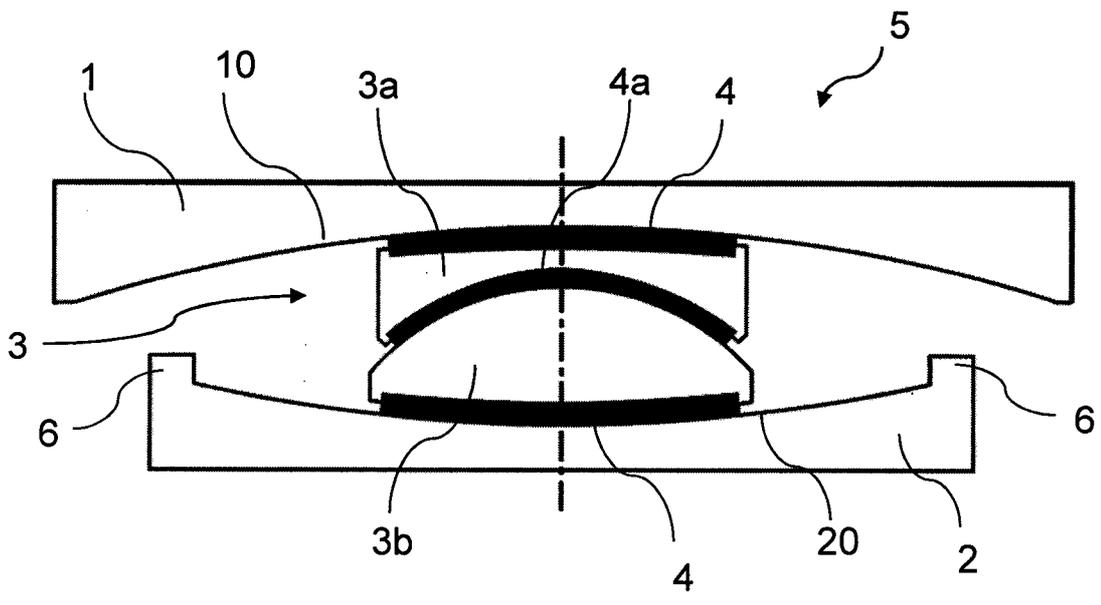


Фиг. 1E

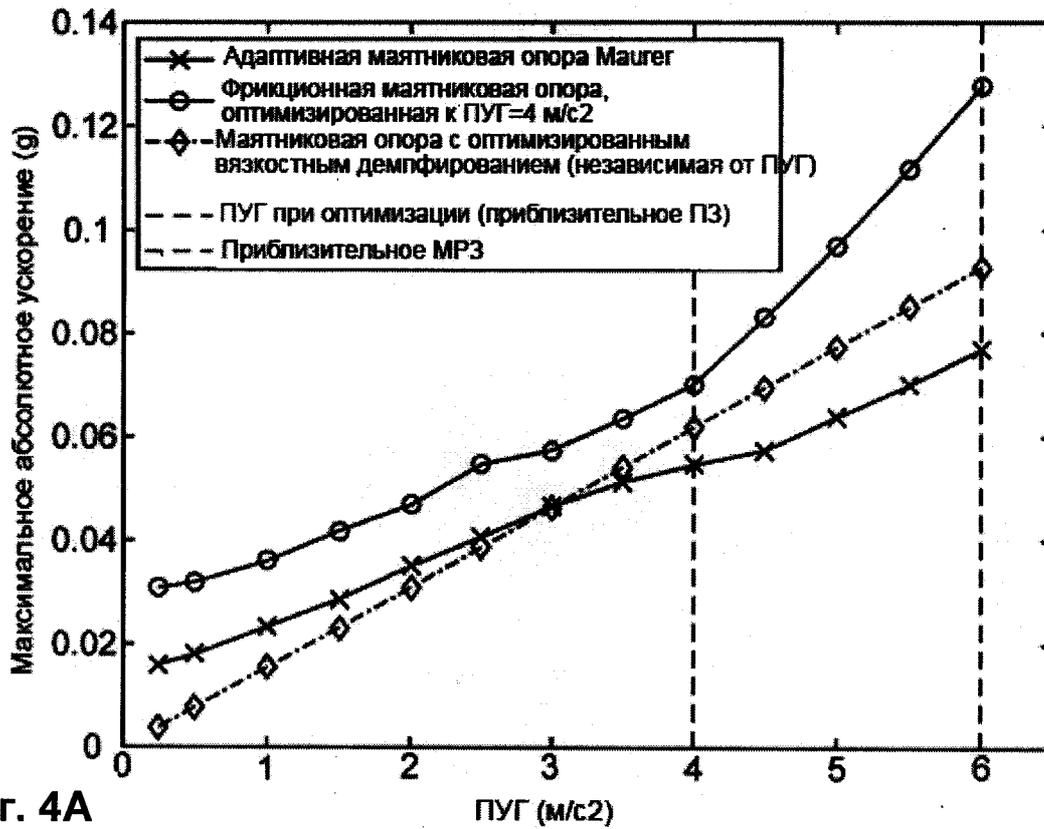
Уровень техники



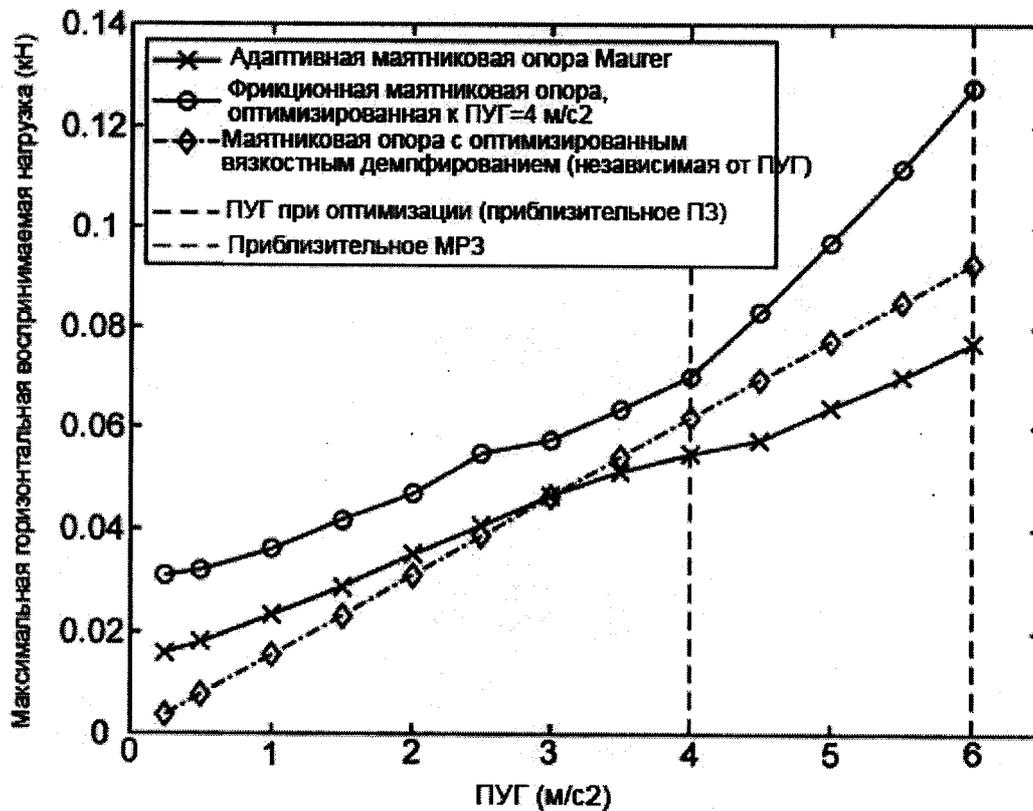
Фиг. 2



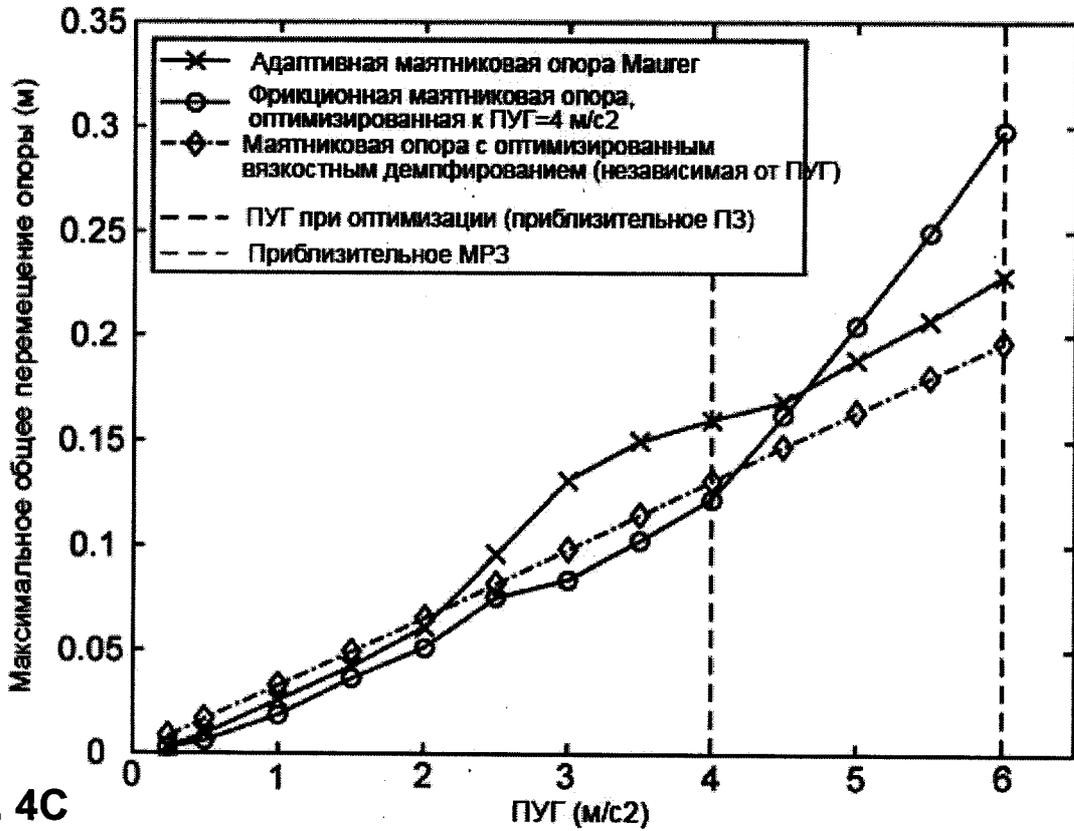
Фиг. 3



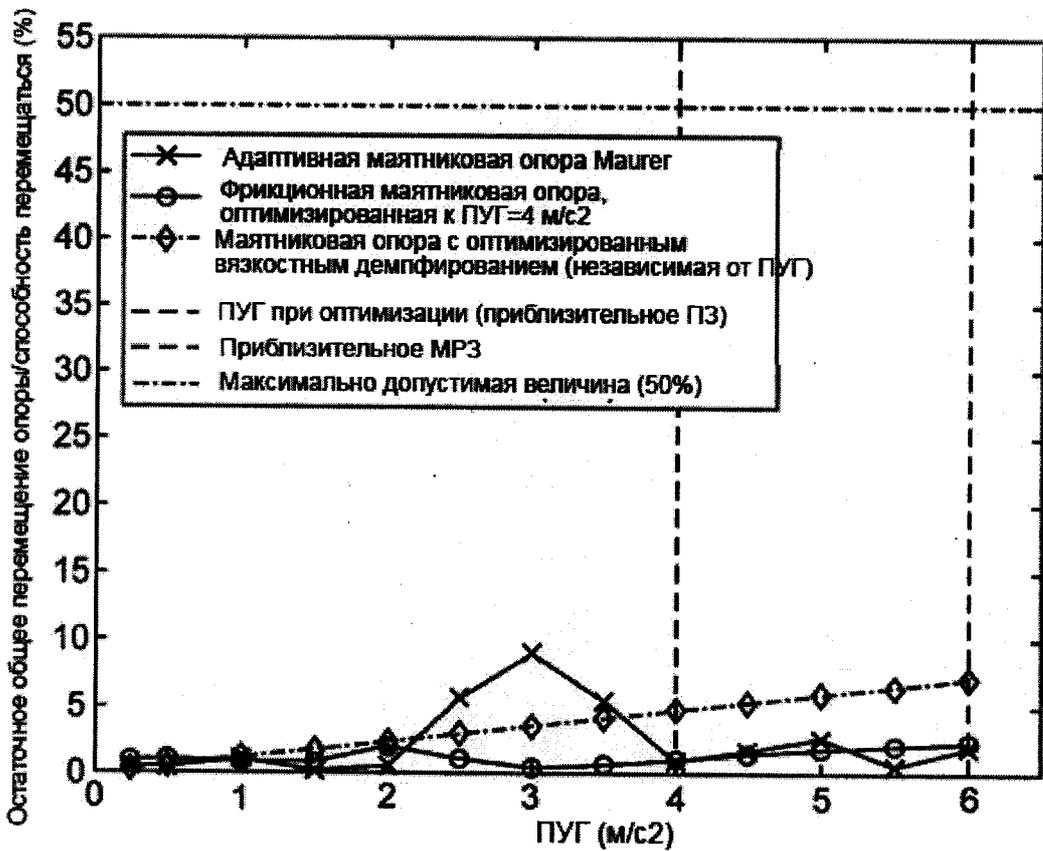
Фиг. 4А



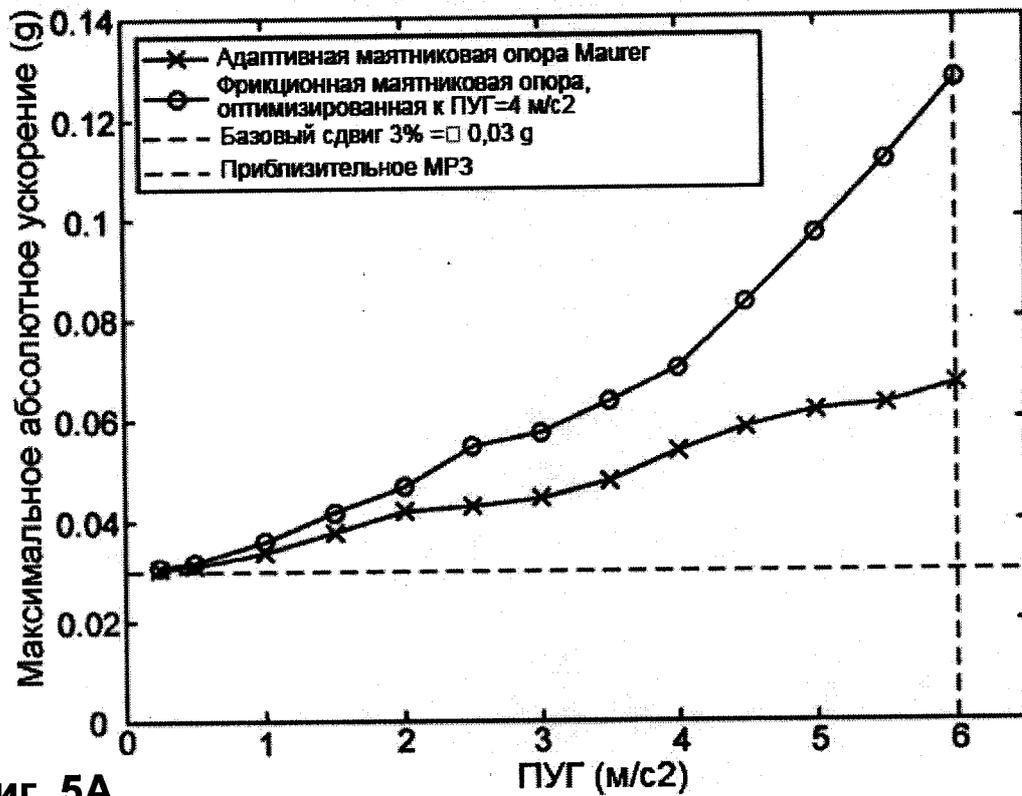
Фиг. 4В



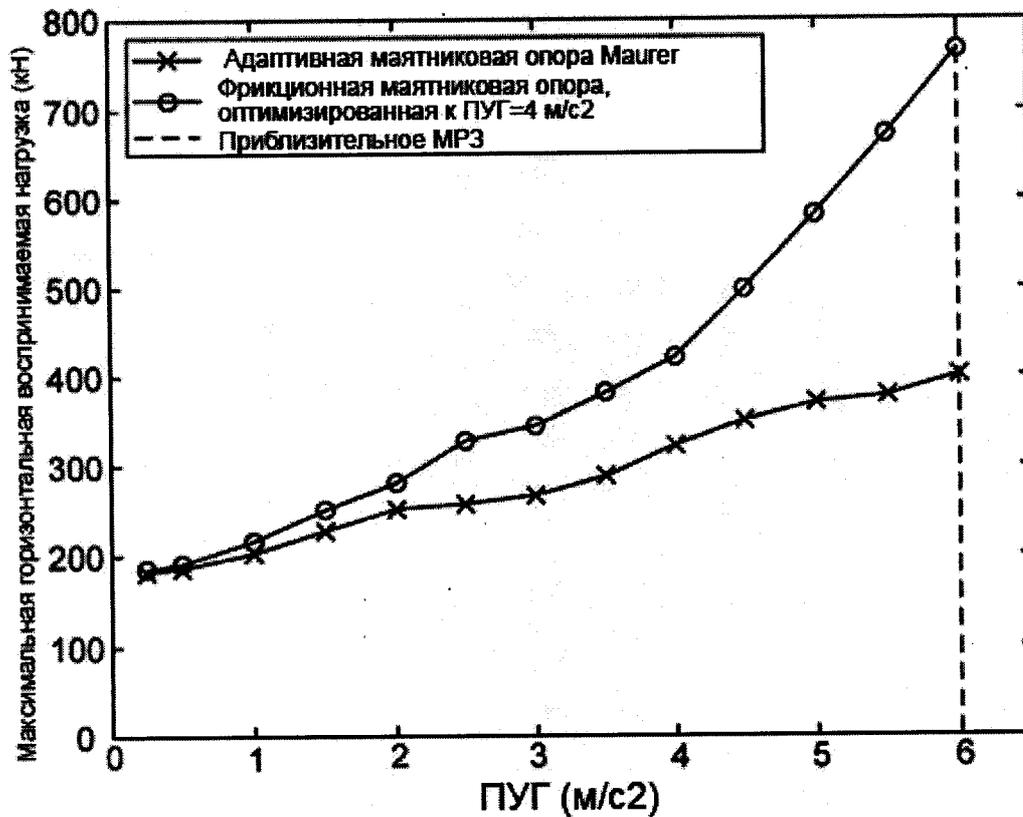
Фиг. 4С



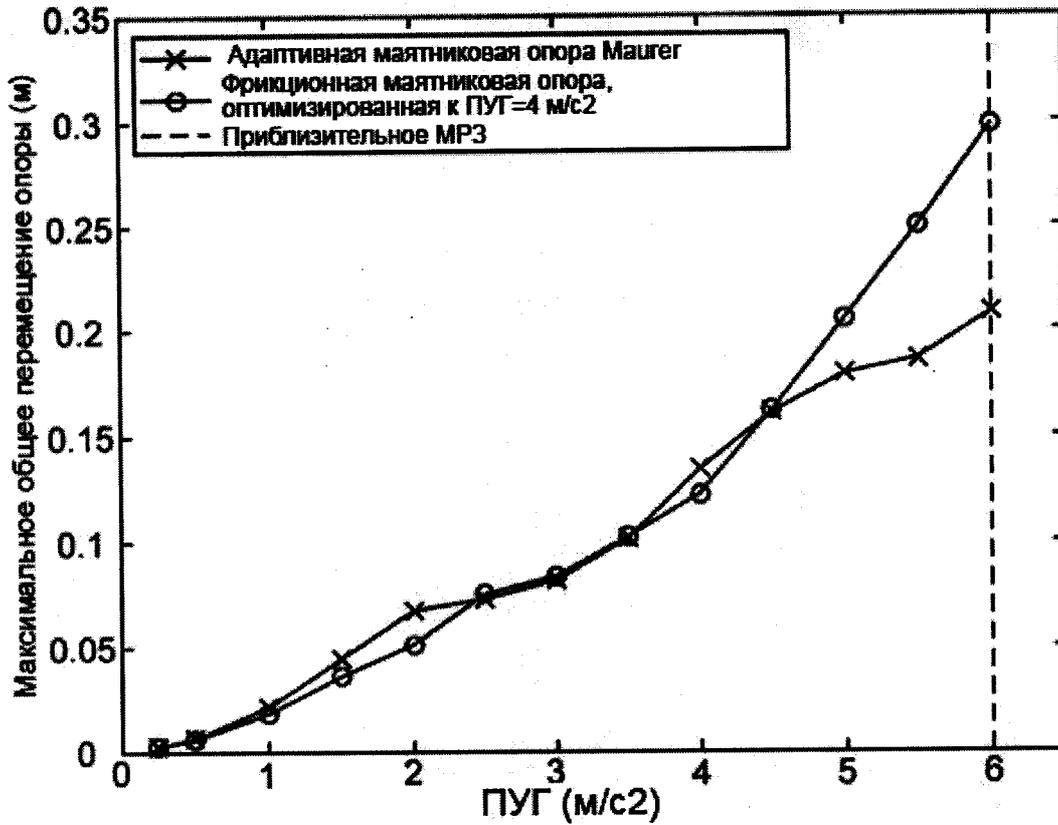
Фиг. 4D



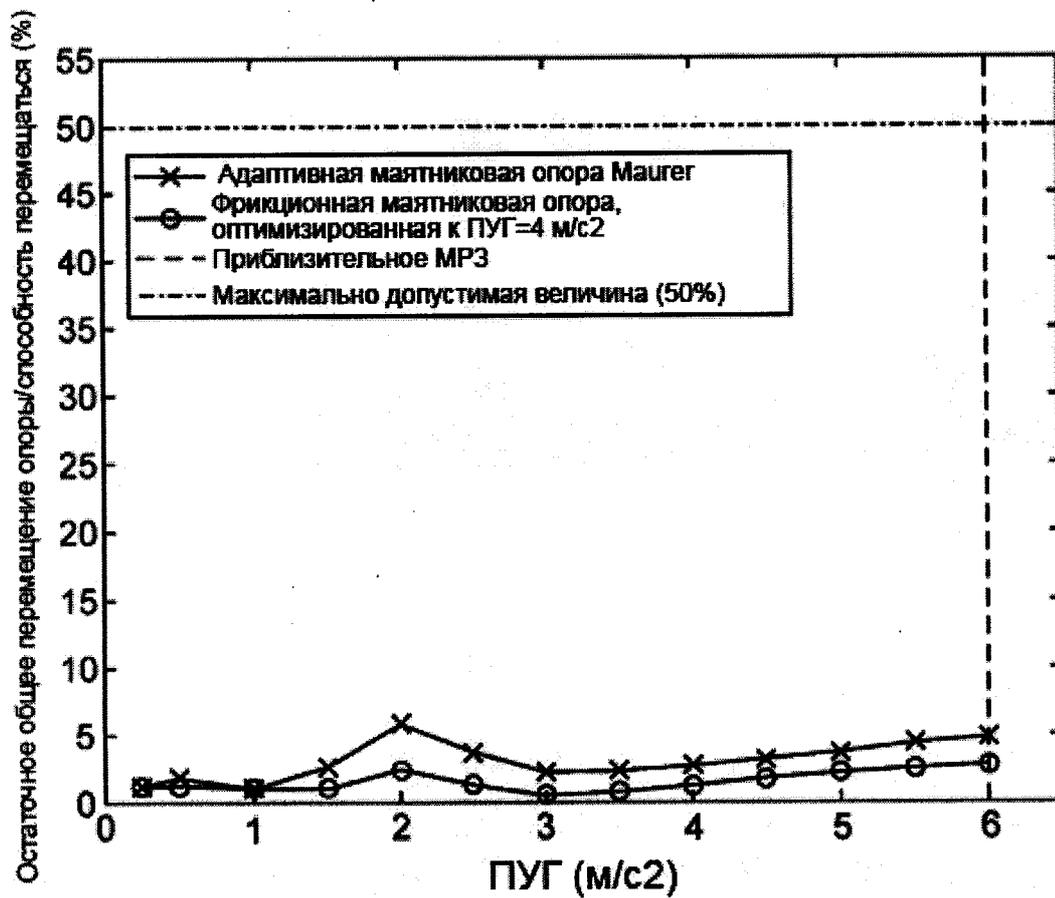
Фиг. 5А



Фиг. 5В



Фиг. 5С



Фиг. 5D