

Каков оптимальный противокаменная барьер? Рассуждения на основе передового опыта



Устройство гибких противокаменных барьеров является наиболее быстрым и дешевым при возможности достижения той же степени защиты, что и при создании других сооружений, защищающих от камнепадов. Имеется две тенденции в создании фундаментов их стоек и анкерных креплений. Что же лучше – жесткие или «мягкие» (деформируемые) фундаменты? В статье на практическом примере показано, что, как ни странно, защитная функция «минималистичных» деформируемых фундаментов может значительно превзойти ожидания при воздействиях выше проектных.

Аналитическая служба «Геоинфо»
info@geoinfo.ru

При освоении территорий со сложным рельефом особенно часто приходится учитывать неблагоприятные природные воздействия, к числу которых относятся и камнепады, которые могут иметь весьма разрушительные последствия. Для обеспечения безопасной эксплуатации автомобильных, железных и канатных дорог, пешеходных троп, зданий и других инженерных объектов, подвергающихся такой опасности, необходимо создание противокаменных сооружений, которые должны не только выполнять защитную функцию, но и быть достаточно экономичными и долговечными, а также не вредить окружающей среде.

В соответствии с действующими нормативными документами РФ для защиты от камнепадов и обвалов могут служить *удерживающие сооружения* (защитные покрытия из торкрет-бетона, набрызг-бетона, аэроцемя, анкерные крепления, прилегающие к склонам канатно-сетчатые системы с анкерными креплениями и др.) или *улавливающие конструкции* (стенки, габионы, дамбы, траншеи, гибкие барьеры и др.), а также противообвальные галереи.

Выбор типа защитного сооружения и его проектирование зависят от геолого-геоморфологических условий местности, возможной высоты и траектории падения скальных обломков, экологических требований, экономических возможностей и пр.

Гибкие противокаменные барьеры

Особого внимания заслуживают такие улавливающие системы, как *гибкие (динамические) противокаменные барьеры*, устройство которых является наиболее быстрым и дешевым при возможности достижения той же степени защиты, что и при создании других защитных конструкций (рис. 1, 2). К тому же они позволяют легко заменять их отдельные элементы, не портят внешний вид склонов, оказывают минимальное влияние на экологию местности и их можно устанавливать даже на тех участках, на которых невозможно строительство других противокаменных сооружений.

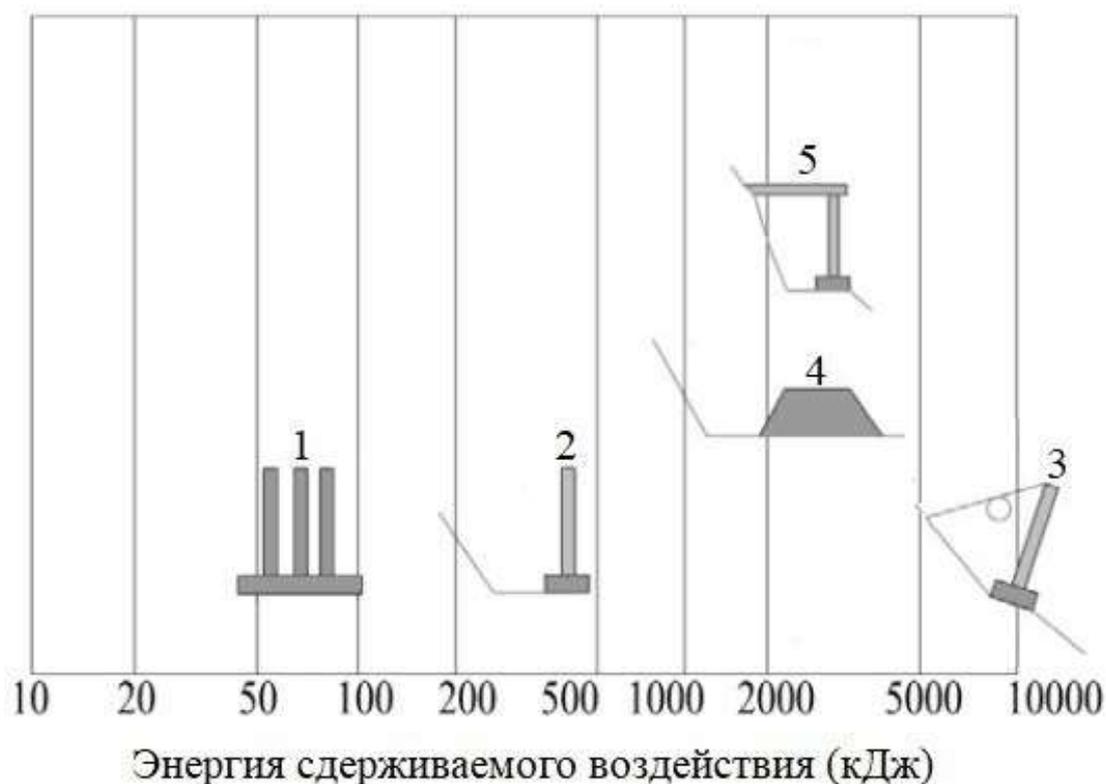


Рис. 1. Приблизительная энергия сдерживаемого воздействия для некоторых типов противокаменных сооружений (по [2]): 1 – сетчатое ограждение с вертикальными стойками; 2 – гибкий барьер без удерживающих тросов (до 2000 кДж); 3 – гибкий барьер с удерживающими тросами (до 10000 кДж – идут разработка и тестирование); 4 – дамба; 5 – бетонная галерея



Рис. 2. Внешний вид варианта гибкого противокаменного барьера [2]

Самые мощные гибкие барьеры способны поглощать энергию ударов до 8000 кДж, что сопоставимо с падением скального блока весом 20 т со скоростью более 100 км/ч (рис. 3). Более того, идут разработки и тестирование систем, которые смогут сдерживать удары до 10000 кДж.

Экономичность их создания по сравнению с железобетонными защитными сооружениями можно продемонстрировать следующим образом. Для строительства 1 м, например, противокаменной дамбы, рассчитанной на максимальную нагрузку 8000 кДж, требуется около 100 т конструкционного материала, а для 1 м гибкого барьера, способного выдержать такое же воздействие, необходима только 1 т материалов.



Рис. 3. Испытания улавливающего гибкого барьера на удар бетонного блока [2]

Все составляющие такой системы защиты территории, как гибкий противокаменный барьер, включены в работу и взаимодействуют друг с другом. Проектируется она по методу предельных состояний (основные расчетные положения

приведены в СП 116.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов»). Верные расчеты на основе надежных данных инженерных изысканий и геотехнического мониторинга территории, правильное проектирование и качественное строительство обеспечивают создание барьеров с необходимым сочетанием прочности, гибкости и массы конструкций для обеспечения достаточной защиты при любых камнепадных воздействиях, которые возможны на соответствующем участке.

Основными элементами такой системы являются (рис. 4, 5):

- 1) высокопрочная стальная сетка (с разными конструкциями, формой и размером ячеек), выполняющая функцию улавливания попадающих в нее обломков скальных пород;
- 2) несущие стальные тросы, на которые натягивается сетка, служащие для равномерного переноса усилий к опорам, элементам фундамента и оттяжкам опор (в каждой секции горизонтальные тросы натягиваются сверху и снизу между соседними опорами; иногда устраиваются и вертикальные канаты, параллельные опорам; секции сетки соединяются между собой при помощи специальных соединительных скоб);
- 3) шарнирные опоры – металлические стойки из двутавровых балок, обычно устанавливаемые перпендикулярно поверхности склона с использованием в их основаниях шарниров, которые позволяют разгрузить опоры и анкеры от изгибающих и отрывных усилий и более равномерно распределить возникающие нагрузки по всем элементам системы;
- 4) оттяжки опор – натяжные металлические тросы, которые устраиваются выше по склону (но иногда и по обе стороны) и служат для передачи усилий от стоек грунтовым анкерам;
- 5) амортизирующие (тормозные) элементы – элементы различной конструкции на несущих тросах или оттяжках опор, служащие для поглощения энергии воздействия обломков скальных пород;
- 6) опорные пластины – верхние элементы фундаментов, на которых закрепляются опоры (и в некоторых случаях нижние несущие тросы);
- 7) анкеры (буроинъекционные или тросовые с гибкими оголовками) – несущие элементы, передающие нагрузку от опор и оттяжек на грунт основания.

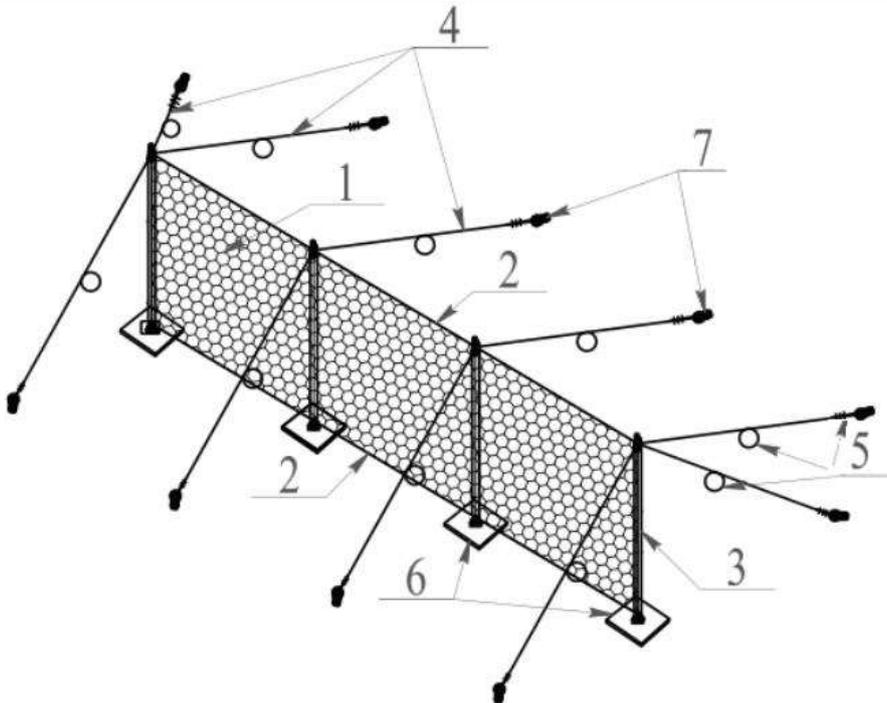


Рис. 4. Схема варианта гибкого противокаменного барьера [2]: 1 – высокопрочная стальная сетка; 2 – несущие стальные тросы; 3 – опора; 4 – оттяжки; 5 – амортизирующие (тормозные) элементы; 6 – опорные пластины; 7 – анкерные крепления

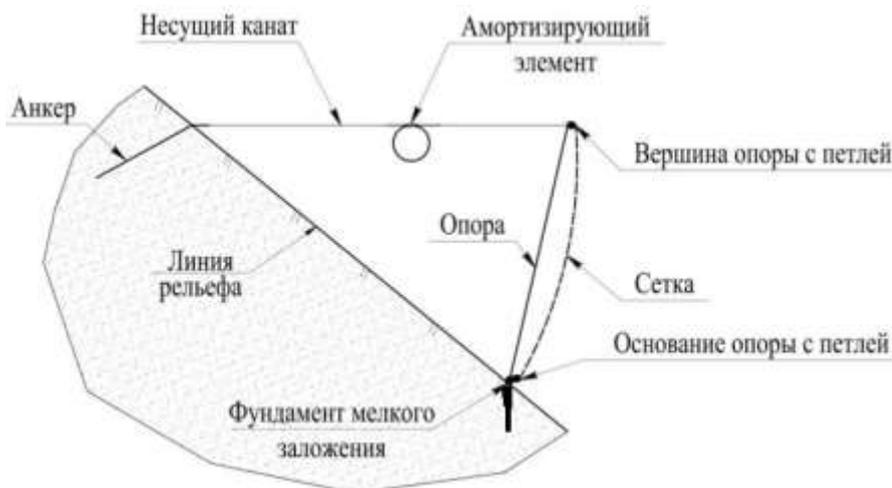


Рис. 5. Вариант гибкого противокаменного барьера в поперечном разрезе [2]

Основная задача гибкого противокаменного барьера – остановить движение обломков скальных пород. Такая система должна поглотить всю кинетическую энергию камня в момент удара. Ударная нагрузка воспринимается металлической сеткой и передается через тросы, опоры и оттяжки на фундаменты и анкеры, а оттуда – на грунтовое основание. При этом максимальные упругие и пластические деформации конструкций не должны превышать допустимых значений, а остаточная полезная высота барьера после максимального воздействия не должна быть меньше,

чем было рассчитано при проектировании (обычно не менее 50% от первоначальной высоты).

На сегодняшний день устройство гибких противокампнепадных барьеров является одним из самых эффективных способов защиты территорий от камнепадов, несмотря на то что их недостатком является необходимость регулярного обслуживания, заключающегося прежде всего в извлечении «пойманных» камней [1, 2, 4, 5].

Изучение эффективности гибких противокампнепадных барьеров

Гибкие противокампнепадные барьеры уже не раз доказывали свою высокую эффективность и надежность. Технические решения по их устройству предлагаются многими компаниями, но, конечно, они нуждаются в дальнейшем изучении и развитии. Причем даже отрицательные примеры могут хорошо этому послужить. Например, на сайтах Ассоциации специалистов по геологическим опасностям (The Association of Geohazards Professionals – AGHP) и канадского представительства австрийской компании Trumer Schutzbauten GmbH рассмотрен следующий вопрос, подкрепленный интересным случаем из практики [6, 7].

Рассматриваемые системы эффективно используются по всему миру уже десятилетиями. Хотя основная концепция их создания все это время оставалась относительно неизменной, их конструкции все время развивались и теперь могут выдерживать гораздо более серьезные воздействия и поглощать гораздо большее количество энергии, чем поначалу. При этом существуют две тенденции в создании их фундаментов.

Первая – обеспечение прочности, жесткости и неподвижности фундаментов, опирания на них стоек, а также анкерных креплений с недопущением даже небольших деформаций этих элементов. Данная тенденция привела к довольно крупным и дорогостоящим решениям, что в значительной степени обесценило экономическую эффективность гибкой верхней части систем. Кроме того, если воздействие превысит проектное, такой барьер скорее всего выйдет из строя на границе между его гибкой верхней частью и жестким фундаментом и не удержит скальные обломки.

Вторая тенденция – повышение способности этих систем выдерживать большие деформации при минималистичном подходе к созданию стоек (с шарнирным опиранием), их фундаментов и анкерных креплений. И это позволило достичь очень эффективной работы барьеров. Самое интересное, что созданные таким образом системы в ряде случаев продемонстрировали надежность защиты от камнепадов, которая значительно превысила ожидаемую, то есть рассчитанную при проектировании. Это можно объяснить тем, что опоры во время ударов испытывали значительную деформацию, поглощая тем самым избыточную энергию.

Полезность «мягкого» фундамента для поддержки стоек рассмотрена в заметках [6, 7] на примере гибкого противокампнепадного барьера TS-1000-ZD высотой 5 м производства компании Trumer Schutzbauten GmbH (Австрия), спроектированного фирмой Tetra Tech EBA и установленного компанией Pacific Blasting and Demolition Ltd. в 2008 году на тихоокеанском побережье канадской Британской Колумбии. Проект этой системы, возможно, был выполнен на основе ошибочных результатов инженерных изысканий и недостаточного геотехнического мониторинга места строительства. Она была рассчитана на воздействия не более 1000 кДж, однако на нее

по крайней мере дважды воздействовали прямые удары крупных скальных блоков, значительно превысившие ожидаемые.

При устройстве этого барьера каждая стойка крепилась к очень маленькой (6 x 6 x 19 см) бетонной отмостке под опорной пластиной, под которой вместо жесткого фундамента использовалась трубчатая микросвая длиной 1 м в сочетании с двумя буроинъекционными грунтовыми анкерами R38N длиной по 5 м (при сильно выветренном и трещиноватом грунте и отсутствии выхода цементного раствора на поверхность).

В 2011 году произошло воздействие на барьер в результате ударов скатившихся скальных блоков диаметром около 2 м. При этом стойка из двутавровой балки HEA200 прогнулась и была расплющена. Компоненты, удерживавшие тросы (наконечники тросов, скобы, хомуты, тормозные элементы), также испытали серьезные деформации. Фундамент стойки был также поврежден: треснул бетон под опорной пластиной, погнулись оголовки буроинъекционных анкеров и трубчатая микросвая, сами анкеры также были слегка деформированы, а общее смещение фундамента составило около 2,5 см. Однако все скальные обломки были удержаны (рис. 6, 7). А ведь это воздействие более чем вдвое превысило максимально допустимую нагрузку на ограждение, принятую при проектировании!

Конструкции были отремонтированы только в 2016 году, а до этого система даже в деформированном состоянии выдержала ряд других воздействий меньшей силы. После удаления камней заказчик решил повторно использовать все анкеры, заменив стойку, опорную плиту, две сетки и различные более мелкие детали.

В 2017 году соседний участок испытал еще более сильное воздействие от удара скальных блоков размером до 10 куб. м на 7 различных участках (рис. 8). Было разрушено 4 опорных пластины и выдернуто из земли несколько анкеров. Но и на этот раз все обломки были остановлены, хотя потом и потребовался более существенный ремонт.



Рис. 6. Деформация стойки гибкого противокаменпадного барьера Trumer в Канаде после воздействия крупных скальных блоков в 2011 году [6, 7]



Рис. 7. Состояние фундамента деформированной стойки гибкого противокамнепадного барьера Trumer в Канаде после воздействия крупных скальных блоков в 2011 году [6, 7]



Рис. 8. Результат воздействия крупных скальных блоков на гибкий противокамнепадный барьер Trumer в Канаде в 2017 году [6, 7]

Гибкая противокамнепадная система показала отличную эффективность

Таким образом, несмотря на недостатки проектирования из-за некачественных результатов инженерных изысканий, рассматриваемая система в Британской Колумбии поймала и удержала все попавшие в нее обломки скальных пород с энергией ударов, значительно превысивших ожидаемые (проектные), что вряд ли было бы возможно при жестких фундаментах опор.

Приведенные примеры хорошо продемонстрировали, что использование «минималистичного» деформируемого фундамента обеспечило создание гибкой противокамнепадной системы, работа которой превзошла ожидания.

Во всем мире было много и других случаев, которые также показали определенные преимущества использования гибких противокамнепадных барьеров и их «мягких» фундаментов.

Если у читателей возник интерес к работе подобных систем или необходимость в проектировании, производстве, монтаже и обслуживании противокампнепадных защитных сооружений, они всегда могут обратиться в российское представительство австрийской компании Trumer Schutzbauten GmbH – ведущего мирового производителя систем защиты от опасных природных процессов [3] и одного из партнеров независимого электронного журнала «ГеоИнфо».

Список литературы

1. Защита от камнепадов // Геострой. Дата последнего обращения: 26.03.2019. URL: <http://www.npo-geostroy.ru/uslugi/zashhita-ot-kamnepadov>.
2. *Мариничев М.Б., Макушева А.В.* Защита территорий от камнепадных процессов. Краснодар: Изд-во Кубанского государственного аграрного университета имени И.Т. Трубилина, 2017. URL: <https://kubsau.ru/upload/iblock/5f6/5f6c0669129362aaa3dae96b0c868c5e.pdf>.
3. ООО "ТРУМЕР ШУТЦБАУТЕН РУС" / TRUMER SCHUTZBAUTEN GMBH // Дата последнего обращения: 26.03.2019. URL: <https://www.geoinfo.ru/brand/trumer-shchutcbauten-rus-trumer-schutzbauten-gmbh/>.
4. Противокампнепадные барьеры – защита от камнепадов // СК «ИнжГеоКом». Дата последнего обращения: 26.03.2019. URL: <https://i-g-k.ru/index.php/inzhernaya-zashchita-territorii/protivokamnepadnye-barery>.
5. Противокампнепадный барьер // Геобарьер. Дата последнего обращения: 26.03.2019. URL: <https://www.geobarrier.ru/rockbarrier>.
6. Injection anchors prove their worth // Trumer.ca. The last accessed date: 26.03.2019. URL: <https://trumer.ca/featured/impact-1/>.
7. Technical note: to deform or not to deform: that is the question! // The Association of Geohazard Professionals. 31.10.2018. URL: <https://geohazardassociation.org/to-deform-or-not-to-deform-that-is-the-question/>.

Заглавное фото: http://www.trumerschutzbauten.com/en/ste_rockfall.html.