

Гибкие противоселевые барьеры: из опыта компании Trumer Schutzbauten



Для инженерной защиты железных и автомобильных дорог и других объектов от небольших селей (объемами менее нескольких десятков кубических метров) все чаще применяют гибкие противоселевые барьеры. Их устанавливают в нешироких селевых руслах (обычно до 30 м) с четко выраженными бортами, что является достаточно надежным и при этом более экономичным, чем устройство в таких местах земляных дамб или капитальных железобетонных сооружений. К сожалению, в России пока еще недостаточно опыта использования гибких селеулавливающих систем, поэтому для отечественных специалистов очень важна информация из зарубежных публикаций.

Предлагаем вниманию читателей обзор материалов доклада А. Бехлера, Д. Йонина и Г. Штельцера «Гибкие противоселевые барьеры: создание улавливающего обломочный материал ограждения на ручье Гладвин», сделанного на 11-м Ежегодном симпозиуме по оползням и инженерной защите склонов в июне 2012 года [1]. Авторы этого доклада являются сотрудниками канадского представительства австрийской компании Trumer Schutzbauten, Министерства транспорта и инфраструктуры Британской Колумбии (Канада) и компании Trumer Schutzbauten (Австрия) соответственно.

Консультационную помощь редакции при подготовке этой статьи оказали специалисты российского представительства австрийской компании Trumer Shutzbauten – одного из лидеров на рынке услуг в сфере инженерной защиты территорий.

Аналитическая служба
info@geoinfo.ru

Одним из типов селезащитных сооружений, которые набирают популярность в последние годы, являются гибкие сетчатые барьеры, улавливающие обломочный материал. В отличие от своих жестких аналогов (решеток, земляных и бетонных дамб) эти системы

предназначены для поглощения энергии, создаваемой фронтом селевого потока, посредством пластической деформации и в то же время для разделения твердых наносов и воды. Кроме того, задерживаемый грубообломочный материал уменьшает градиент русла потока выше сетчатого барьера и снижает скорость движения новых порций твердой селевой составляющей.

Этот тип конструкций был разработан на основе гибких противокампнепадных и снегоудерживающих (противолавинных) систем. При правильном проектировании эти системы весьма эффективны как защитные сооружения, а их монтаж проводится в существенно более короткие сроки. Кроме того, что немаловажно, их стоимость значительно ниже, чем у капитальных сооружений. А также нужно упомянуть экологичность таких конструкций и возможность их установки в местах, труднодоступных для строительства более массивных защитных систем.

Канадские и австрийские инженеры А. Бехлер, Д. Йонин и Г. Штельцер в своем докладе «Гибкие противоселевые барьеры: создание улавливающего обломочный материал ограждения на ручье Гладвин», сделанном на 11-м Ежегодном симпозиуме по оползням и инженерной защите склонов в июне 2012 года [1], описали установку новой (для 2012 г.) гибкой селеулавливающей системы Debris Catcher, разработанной в австрийской компании Trumer Schutzbauten, поперек селевого русла ручья Гладвин (или 5,5-Милевого ручья), борта которого с обеих сторон сложены коренной породой. Длина ограждения в этом месте составила примерно 30 м, высота – более 6 м.

Кратко рассмотрим содержание вышеуказанного доклада.

Место установки барьера Debris Catcher находится чуть выше пересечения ручья Гладвин с Трансканадским шоссе (Шоссе 1) в 10 км к востоку от города Литтон в западноканадской провинции Британская Колумбия. Водосборный бассейн ручья занимает площадь около 4,6 кв. км. Его верховья находятся примерно на 3 км выше по течению от шоссе. Примерно на 225 м ниже по склону от автомобильной магистрали (с потерей высоты около 45 м) указанный водоток пересекает трассу Канадской тихоокеанской железной дороги, а еще на 160 м ниже (с потерей высоты около 60 м) он впадает в реку Томпсон (рис. 1, 2). Обычно (не во время весенних или дождевых паводков) ручей имеет ширину от 1 до 1,5 м и глубину около 20 мм. Местные жители используют ручей у вершины конуса выноса в качестве источника питьевой воды.



Рис. 1. Водосборный бассейн ручья Гладвин и расположение улавливающего крупнообломочный материал барьера Debris Catcher [1]



Рис. 2. Вид на запад вдоль Шоссе 1 в месте пересечения его ручьем Гладвин [1]

Ручей Гладвин проходит под шоссе через бетонную водопропускную трубу диаметром 1,2 м, оборудованную бетонным порталным оголовком и стальной решеткой. Воздушные линии электропередачи и телефонной связи расположены у края дорожного покрытия с той стороны дороги, где склон уходит вверх. На рассматриваемом участке есть несколько жилых домов, которые отделены от ручья выступающим гребнем коренной породы.

Необходимость установки противоселевого барьера была продиктована тем, что в результате схода по меньшей мере трех селей по ручью Гладвин за 6 лет (с 2008 по 2012 г.) Шоссе 1 на указанном участке перекрывалось отложениями обломочного материала

(наблюдался также ряд селей поменьше). Сход самого крупного из этих потоков 13 марта 2007 года привел к тому, что на шоссе осталось около 2 тыс. куб. м селевых отложений. Конус выноса имел толщину до 1 м (рис. 3). Наносы состояли в основном из песка, гравия, булыжников и угловатых валунов диаметром в основном менее 0,6 м и органического древесного обломочного материала. Отложения варьировали от хорошо до плохо отсортированных. Полевые наблюдения показали, что скорость движения обломочного материала была довольно низкой – около 3 м/с. Подобные события на рассматриваемом участке происходили в результате снеготаяния весной или после сильных дождей летом.



Рис. 3. Перспективный аэрофотоснимок селевого материала, отложенного на Шоссе 1 в марте 2007 года [1]

Таким образом, водосборный бассейн ручья Гладвин подвержен селям и наводнениям. Оцененный коэффициент Мелтона (Melton, 1957), характеризующий эту подверженность, составил 0,61–0,65, что соответствует минимальному уровню для селевых событий. Однако некоторые альтернативные системы классификации селей (например, Wilford et al. 2004) позволяют предположить, что на рассматриваемом участке возможны достаточно крупные подобные события.

Установка селезащитного сооружения Debris Catcher проводилась по заказу Министерства транспорта и инфраструктуры Британской Колумбии (Канада). Целью этих работ было снижение воздействия селевых потоков на Шоссе 1 и на инженерные коммуникации вдоль него путем улавливания барьером обезвоженного селевого материала и образования своего рода дамбы выше защитной конструкции для задержания или гашения энергии следующих селевых волн. Естественно, этот барьер требует мониторинга и расчистки места его установки после селевых событий.

Следует отметить, что сначала рассматривались и другие решения, в том числе новый мост, земляной или бетонный бассейн для улавливания обломочного материала, защитные дамбы, построенные во множестве мест вверх по руслу ручья, стандартная стальная или алюминиевая решетка для удержания обломочного материала и др. В конце концов было выбрано гибкое улавливающее обломочный материал ограждение как наиболее выгодный вариант для данного конкретного места (с ограниченной площадью и хорошо

выраженными бортами долины ручья) с учетом достаточного потенциального объема удерживаемого материала, быстрого монтажа и невысокой стоимости сооружения.

На основании объемов недавних селевых отложений на шоссе министерство выбрало плановый улавливающий объем гибкого барьера равным 3 тыс. куб. м. Это защитное сооружение рассматривалось как временное, позволявшее дополнительно рассмотреть долгосрочные защитные меры и в то же время повышавшее безопасность для шоссе, инфраструктуры и путешествующих людей.

Чтобы максимизировать потенциальный объем улавливаемого селевого материала, было выбрано оптимальное положение барьера примерно в 20 м выше по течению ручья от шоссе. Ширина долины в этом месте составляет около 30 м, ее борта сложены прочной коренной породой, что было благоприятно для установки предложенных фланговых анкеров в целях закрепления барьера по краям селевого русла. На основе установленного потенциального объема улавливаемого селевого материала на данном участке была выбрана высота ограждения, равная 6 м.

После этого были оценены параметры динамической и статической нагрузки на барьер с учетом его размеров и результатов полевых наблюдений после максимальных по величине селевых событий на ручье Гладвин.

Поскольку основная работа защитного барьера в данном месте нацелена на частые небольшие сели, а не на одно крупное событие, усилия при сценарии статического нагружения стали доминирующими критериями проектирования сооружения для конкретных рассматриваемых условий. По этому сценарию защитная конструкция не должна разрушаться при достижении проектного (полного) объема задержанного селевого материала. Барьер был спроектирован с учетом распределенной нагрузки с треугольным характером изменений по его высоте – при 0 кН/кв. м вверху и 60 кН/кв. м внизу. Это соответствует весу материала 20 кН/куб. м (или массе 2 т/куб. м) с боковым коэффициентом трения 0,5.

Форма сооружения Debris Catcher, разработанная для площадки на ручье Гладвин, была основана на динамической противолавинной системе, разработанной в Европе под названием Snow Catcher (Rammer et al., 2009). Эта защитная система имеет лямда-образные (в виде греческой буквы λ) опорные конструкции, которые имеют шарнирные соединения между главными балками (опорами) и подкосами, а также с опорными плитами главных балок и подкосов (рис. 4). Длина каждой основной балки составила более 6 м, а ее масса – около 1,5 т. Длина каждого подкоса составила более 4 м, а его масса – около 0,5 т. Шарнирный штифт (шарнирный палец) имеет диаметр 10 см. Каждая опорная плита прикреплена к фундаментам четырьмя 50-миллиметровыми стержневыми анкерами из цельных прутков (в общей сложности их восемь на опору с подкосом). Все компоненты оцинкованы. Фундаменты опорных конструкций представляют собой железобетонные балки, каждая из которых закреплена в грунтовом основании десятью 51-миллиметровыми буроинъекционными анкерами длиной около 8 м, расположенными в шахматном порядке (см. рис. 4).

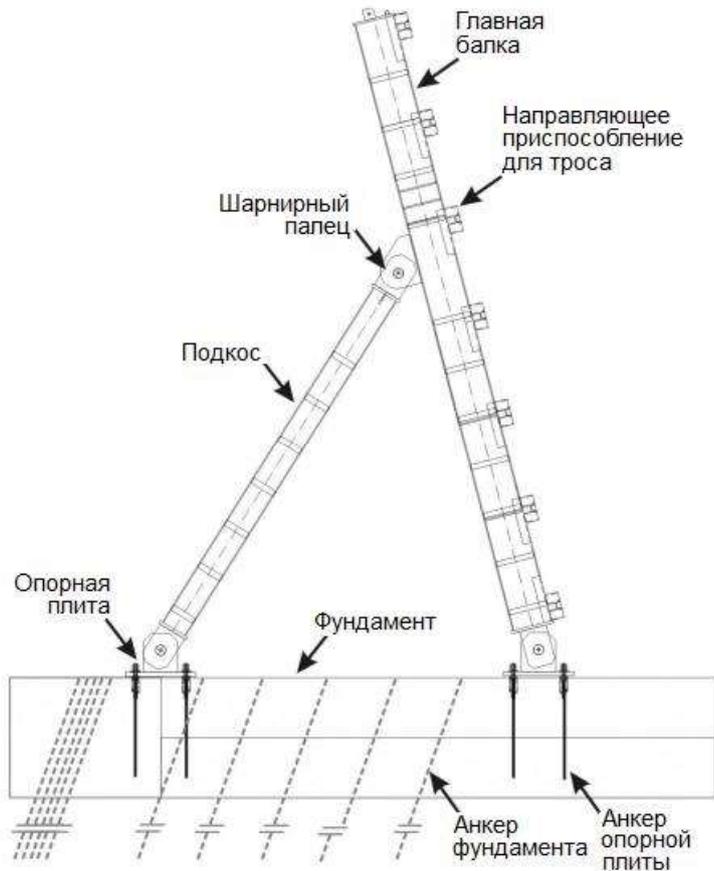


Рис. 4. Опорная конструкция с фундаментом для гибкого противоселевого барьера Debris Catcher [1]

Через 30-метровый промежуток между бортами селевого русла горизонтально натянуты 7 комплектов несущих стальных тросов с вертикальными интервалами между ними по 1 м (рис. 5). Каждый комплект содержит 2 стальных троса диаметром 24 мм, которые соединены посередине ширины русла (это нужно для временного разбирания защитной системы в средней части, чтобы обеспечить доступ для техники после селевых событий в целях удаления наносов выше барьера (рис. 6). – *Ред.*). Все несущие тросы имеют гальваническое покрытие из сплава цинка и алюминия высшего класса для максимальной защиты от коррозии. На каждой стороне селевого русла на них имеется по одному тормозному (амортизирующему) элементу AVT-phx, выполняющему функцию гасителя энергии. Тормозные элементы представляют собой специальные стальные витки, дающие возможность тросам удлиниться при динамическом воздействии. Закрепление каждого несущего троса в борту русла обеспечивается 29-миллиметровым тросовым анкером, вмонтированным в способную выдерживать нагрузку коренную породу на глубину как минимум 4 м.

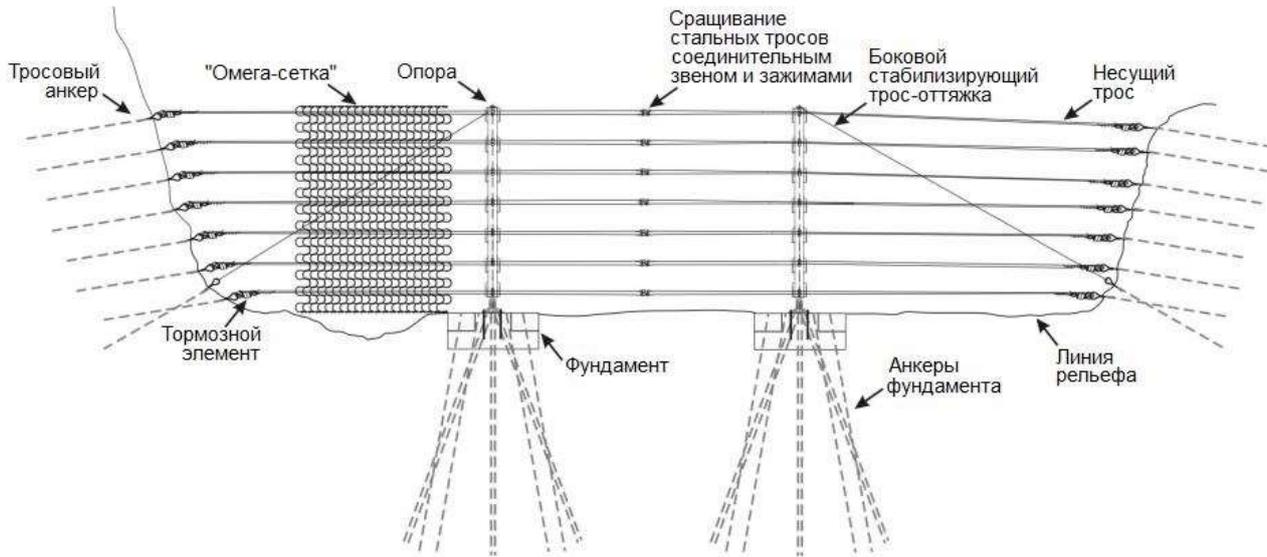


Рис. 5. Схематичное изображение размещения горизонтальных несущих тросов и прочих элементов гибкого противоселевого барьера Debris Catcher [1]



Рис. 6. Расчистка русла ручья от селевых отложений выше барьера [2]

Подвешиваемая на конструкцию плетеная «омега-сетка» состоит из волнообразно переплетенных стальных канатов спиральной свивки диаметром 10,5 мм (рис. 7 – Ред.), которые также имеют антикоррозионное гальваническое покрытие из сплава цинка и алюминия высшего класса. Канаты сетки, хотя и переплетаются, но не скреплены друг с другом, что делает ее чрезвычайно прочной и гибкой. Эффективный размер каждой ячейки при этом составляет 170 мм.



Рис. 7. Устройство «омега-сетки» крупным планом [2]

Следует отметить, что сетки, несущие тросы и тормозные элементы, входящие в защитную систему Debris Catcher, сходны с таковыми для аналогичного противокаменпадного барьера для защиты от динамических воздействий до 5000 кДж.

Проектирование и установка гибкого противоселевого барьера на рассматриваемом участке была выполнена весной 2011 года. Логистические проблемы включали обеспечение работы барьера в любую погоду, сохранение ручья Гладвин в ненарушенном виде, защиту водопровода, снабжающего водой местных жителей, и др.

Сначала были удалены 5 тыс. куб. м обломочного материала, накопившегося в долине ручья выше шоссе. Затем окончательно были выбраны места размещения опорных конструкций барьера в соответствии с техническими требованиями (прежде всего для обеспечения возможности удержания защитной системой до 3 тыс. куб. м материала в случае схода селей в будущем). После этого вдоль бортов селевого русла, сложенных коренной породой, были установлены тросовые анкеры для облегчения фиксации ограждения по бокам.

Для создания железобетонных фундаментов опорных конструкций подготовили выемки, сформировали стальные каркасы и протянули через них тросовые анкеры в защитных муфтах из ПВХ (для возможности натягивания их после заливки и затвердевания бетона) (рис. 8). Затем каркас залили бетонным раствором, а после его застывания натянули тросовые анкеры.



Рис. 8. Стальной каркас фундамента опорной конструкции и тросовые анкеры в муфтах из ПВХ до заливки бетонного раствора [1]

После закладки фундаментов опорных конструкций рядом с нижней частью будущего ограждения был установлен дренажный желоб, чтобы отводить в водопропускную трубу под шоссе избыточную воду, которая потенциально может переливаться через барьер.

Затем была смонтирована надфундаментная часть гибкого противоселевого барьера (рис. 9). Сначала с помощью автокрана были установлены опорные конструкции. Затем по обе стороны от каждой из них и со сторон анкеров по бортам селевого русла были подвешены «омега-сетки». Через сетки и канатные проводники (специальные направляющие приспособления) были пропущены несущие тросы. Были установлены тормозные элементы и выполнено натягивание несущих тросов. На последнем этапе соседние секции сетки были прочно скреплены друг с другом. На весь монтаж надфундаментной части системы ушло около 3 дней.



Рис. 9. Смонтированный гибкий противоселевой барьер Debris Catcher [1]

Анкерные крепления для селезащитного барьера были разработаны компанией Wyllie & Norrish Rock Engineers. Монтаж системы был выполнен компаниями Pacific Blasting and Demolition и VSA Highway Maintenance.

В отличие от камнепадов и снежных лавин, селевые потоки достаточной величины трудно создать искусственно безопасным способом для тестирования барьеров без значительного масштабирования входных параметров. В связи с этим для получения и калибровки данных испытаний часто приходится полагаться на природные явления и на соответствующие результаты мониторинга, что позволяет усовершенствовать селезащитные системы или разрабатывать более эффективные их варианты.

Благодаря относительно высокой частоте схода селей и близости линий электропередачи и телефонной связи (с доступом в Интернет) выбранное место установки гибкого противоселевого барьера Debris Catcher на ручье Гладвин вполне подошло в качестве идеального тестового участка. Поэтому после монтажа сооружения был разработан набор аппаратуры для непрерывного мониторинга, включивший 8-канальную (для 7 пар несущих тросов и одного бокового стабилизирующего троса) систему тензометрических датчиков нагрузки, регистрирующих усилия в несущих тросах с частотой 1000 Гц, две инфракрасных камеры и два аварийных переключателя для подачи сигнала тревоги уже в момент начального импульса от надвигающегося селя. Результаты измерения усилий в несущих тросах и видеоизображения, полученные незадолго до и в течение всего селевого события, доступны через защищенное подключение к Интернету. В случае схода селя система также должна отправить уведомление исполнительным властям, что позволяет вовремя оценить ситуацию и предпринять необходимые действия.

Установка оборудования для мониторинга была завершена осенью 2011 года. После этого к моменту написания статьи в 2012 году по ручью Гладвин сошло несколько очень небольших селей, в результате чего в местах, расположенных по уровню ниже нижних несущих тросов, было отложено около 10–15 куб. м твердого селевого материала (рис. 10).



Рис. 10. Накопление некоторого количества обломочного материала в основании противоселевой системы Debris Catcher [1]

Предполагается, что рассматриваемая защитная система будет проверена и при более крупных селевых событиях. Тогда все полученные данные будут использоваться для дальнейшего совершенствования проекта гибкого противоселевого барьера Debris Catcher, что позволит дополнительно оптимизировать его стоимость и эффективность работы, причем, возможно, и на более широких участках. Также будут рассмотрены и возможности установки усовершенствованной системы Debris Catcher в случае менее выраженных бортов селеопасных русел и/или со слабыми (для анкеровки) коренными породами на бортах.

Источники

1. *Bichler A., Yonin D., Stelzer G.* Flexible debris flow mitigation: introducing the 5.5 Mile debris fence // *Landslides and Engineered Slopes: Protecting Society through Improved Understanding: Proceedings of the 11-th Annual Symposium on Landslides and Engineered Slopes, Banff, Canada, 3–8 June 2012* (edited by Eberhardt et al.). London: Taylor and Francis Group, 2012. P. 1209–1214.
2. http://www.trumer.su/ru/mur_5.html.

Заглавное фото: http://www.trumer.su/ru/mur_5.html.

Список литературы, использованной авторами доклада [1]

Melton, M.A. 1957. *An Analysis of the Relation Among Elements of Climate, Surface Properties and Geomorphology*. Office of Naval Research Department of Geology, Columbia University, New York, Technical Report, 11.

- Rammer, R, Stelzer, G. and Kern, M. 2009. Investigation on the effectiveness of the catch-fence Snowcatcher avalanche protection system. In Jürg Schweizer and Cornelia Gansner (ed.), *International Snow Science Workshop, Proceedings, Davos, 27 September – 2 October*. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL.
- Wilford, D.J., Sakals, M.E., Innes, J.L., Sidle, R.C., and Bergerud, W.A. 2004. Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. *Landslides*, 1: 61–66.