

Испытан новый сетчатый противолавинный барьер



Предлагаем вниманию читателей обзор материалов доклада «Полномасштабные испытания противолавинного барьера Snowcatcher в долине Штубай» [4], сделанного сотрудниками австрийской компании Trumer Schutzbauten и сотрудничающих с ней фирм Э. Глейшером, Г. Штельцером, Д. Илмером и А. Бехлером на Международном симпозиуме по защите от снежных лавин и других быстрых гравитационных потоков, который проходил 3–5 апреля 2019 года в исландском городе Сиглюфьордур.

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

Аналитическая служба «Геоинфо»
info@geoinfo.ru

Введение

В Исландии в последние десятилетия стал активно развиваться горнолыжный и прочий туризм, поэтому там повысился интерес к инженерной защите от опасных

склоновых процессов и в том числе регулярно проводятся Международные симпозиумы по защите от снежных лавин и других быстрых гравитационных потоков. На этих симпозиумах часто выступают представители австрийской компании Trumer Schutzbauten и сотрудничающих с ней фирм, которые занимаются изготовлением, продажей и установкой сетчатых защитных сооружений. В прошлом году ими был сделан доклад «Полномасштабные испытания противолавинного барьера Snowcatcher в долине Штубай» [4], который должен представлять интерес для тех, кто занимается инженерной защитой горнолыжных курортов и прочих объектов не только в Австрийских Альпах, но и в горных районах России. Рассмотрим материалы этого доклада. Сейчас еще не зима, но, как говорится, «готовь сани летом...».

Одним из типов противолавинных (снегоулавливающих) сооружений, широко используемых в последнее время, являются гибкие сетчатые барьеры. Сначала их, как и многие другие некапитальные сооружения, использовали в основном в зонах зарождения лавин. Но позже была предложена идея применения таких конструкций и в зонах транзита лавин для сокращения дальности их выброса.

Одним из преимуществ построения защитных сооружений на пути движения лавин является сокращение длины сооружения и соответствующих затрат, поскольку зона транзита часто бывает намного уже зоны зарождения, по крайней мере в некоторых местах. При определенных условиях на основании результатов инженерных изысканий и точных расчетов на пути возможного схода лавин бывает дешевле и экологичнее построить гибкий сетчатый барьер, а не дамбу или другое капитальное сооружение.

Если сетчатые противокаменные барьеры устраиваются с целью поглощения высоких энергий точечных ударов, то при создании противолавинных барьеров надо учитывать, что при сходе лавины воздействие будет оказано на гораздо большую площадь и в течение более длительного периода времени. Поэтому для защиты от лавин требуются отдельные расчеты, проекты и испытания, хотя в целом противолавинные, камнеулавливающие и противоселевые гибкие барьеры устроены сходным образом [1, 3, 4].

Не так давно был разработан новый сетчатый противолавинный барьер под названием Snowcatcher («Уловитель снега»). Он рассчитан на сокращение дальности выброса небольших лавин [4].

Устройство противолавинного барьера Snowcatcher

Сетчатый противолавинный барьер Snowcatcher был спроектирован так, чтобы выдерживать динамическое давление до 50 кН/м^2 , то есть противостоять воздействию лавин объемом до 7000 м^3 с плотностью снега до 300 кг/м^3 .

Барьер Snowcatcher состоит из таких основных частей, как:

- трехшарнирные опорные конструкции: стойки с подкосами в форме греческой буквы «лябда» (λ), которые имеют шарнирные соединения главными балок с подкосами, а также главных балок и подкосов с опорными пластинами (рис. 1, 2); устойчивость опорных конструкций поддерживается боковыми тросами-оттяжками;
- несущие тросы (верхние, нижние и промежуточные), которые проходят через направляющие приспособления на главных балках опорных конструкций и на которых подвешивается сетка; несущие тросы прикрепляются на концах барьера

к боковым грунтовым анкерам; на несущих тросах имеются амортизирующие (тормозные) элементы, которые расширяются при определенном уровне воздействия и ограничивают усилия в тросах и анкерах во время воздействия лавины;

- стальная «омега-сетка» (сетка Omega) с размером ячеек 185 мм, сплетенная из проволоки диаметром 9 мм;
- полые стержневые грунтовые анкеры ИВО R51 длиной примерно по 9 м, необходимые для передачи нагрузок от тросов и опорных конструкций на грунтовое основание.

Все составляющие гибкого сетчатого противолавинного барьера и его грунтовое основание включены в работу и взаимодействуют друг с другом.

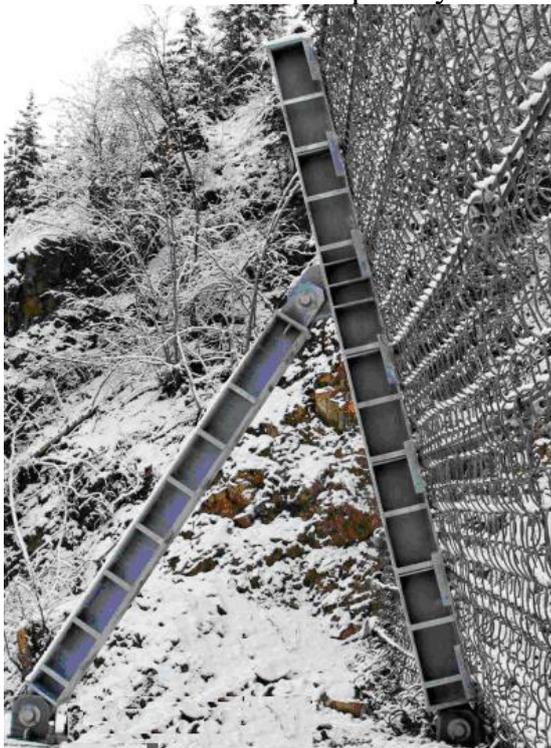


Рис. 1. Трехшарнирная лямбда-образная опорная конструкция барьера [5]

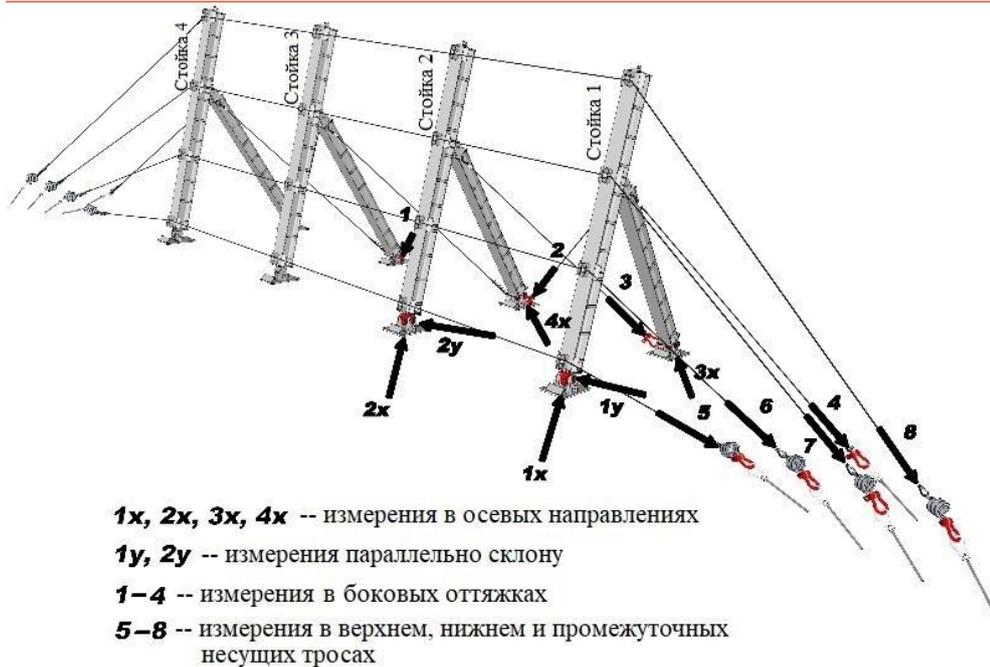


Рис. 2. Места расположения датчиков нагрузки и направления измеряемых усилий в конструкциях сетчатого противолавинного барьера Snowcatcher. Барьер изображен без сетки [4]

Испытания противолавинного барьера Snowcatcher

Для анализа эффективности новой меры защиты от небольших лавин в зонах транзита было необходимо выполнить полномасштабные полевые испытания. Для этого была выбрана обращенная на восток узкая зона транзита лавин в долине Штубай – примерно в 35 км от альпийского горнолыжного курортного города Инсбрук, являющегося столицей Тироля (западной федеральной провинции Австрии). Барьер Snowcatcher для испытаний расположили в легкодоступном месте рядом с лесной дорогой поперек указанной зоны транзита на высоте 1300 м над уровнем моря (рис. 3). Зона зарождения сходящих здесь лавин находится между 2000 и 2400 м над уровнем моря. Их объемы в месте установки барьера иногда достигают 35 тыс. куб. м, но чаще всего бывают меньше.

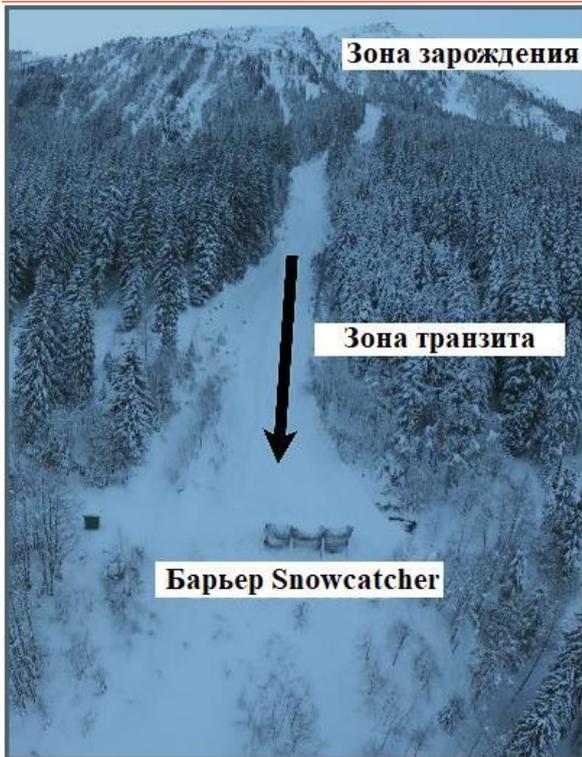


Рис. 1. Место испытаний сетчатого противолавинного барьера Snowcatcher [4]

В месте испытаний было установлено 4 лямбда-образные опорные конструкции (см. рис. 2, 3) с шагом 4 м. В результате общая длина барьера Snowcatcher получилась равной 12 м. Высота основной опорной балки опорной конструкции, через которую проходят несущие сеть тросы, равна 5,3 м. Угол наклона этой балки к поверхности земли составляет 85 град. при крутизне склона 25 град. В отличие от других используемых в настоящее время сетчатых сооружений, опорные конструкции барьера Snowcatcher не имеют оттяжек, идущих вверх по склону (имеются только боковые оттяжки), что позволяет убирать лавинные отложения, задержанные барьером, с помощью машин.

Разные элементы построенного барьера Snowcatcher были снабжены датчиками динамических нагрузок, чтобы исследовать усилия, возникающие в конструкциях при воздействиях лавин. Две лямбда-образные опорные конструкции (стойка 1 с краю и стойка 2 посередине на рис. 3) были оснащены четырьмя осевыми датчиками нагрузки. Стрелки на рисунке 3 показывают направления измерения усилий в конструкциях. На тросах системы было установлено 8 датчиков натяжения (измерительных скоб). Данные со всех датчиков собирали регистрирующие устройства с частотой 100 Гц.

Также сбоку от барьера были установлены 2 видеокамеры для записи взаимодействия лавин с сооружением – на расстояниях 30 и 250 м от него. Скорость записи обеими камерами составляла 100 кадров в секунду.

Далее авторы доклада [4] рассматривают результаты измерений и наблюдений за барьером при сходах двух лавин, различавшихся по размерам, объемам и взаимодействиям с противолавинным сооружением (по направлениям ударов и взаимодействующим поперечным сечениям, что зависело от разницы в траекториях лавин из-за предыдущих отложений).

Лавина, сошедшая 13.01.2019 в 14:42

Сильный снегопад в зоне зарождения привел к сходу снежно-пылевой лавины, которая ударила в барьер Snowcatcher (рис. 4). Видеоролики, записанные более близко расположенной камерой, показали скорость фронта лавины 25–30 м/с перед тем, как облако снежной пыли ударило в барьер. Турбулентность и движение снега по бокам сооружения привели к плохой видимости, поэтому оценка скорости лавины после взаимодействия с барьером была невозможна. Тем не менее видеозапись с более далеко расположенной камеры показала отклоняющее и замедляющее воздействие барьера, хотя поверхность сетки и оставалась проницаемой для частиц снега. Объем лавинных отложений был оценен примерно в 1000 куб. м.



Рис. 4. Последовательные кадры схода снежно-пылевой лавины 13 января 2019 года: а – приближение лавины; б – взаимодействие лавины с барьером; в – лавинные отложения, задержанные барьером [4]

Максимальное усилие натяжения в тросах составило 33 кН (рис. 5, а). Наибольшие силы сжатия были измерены осевым датчиком 3х в основании подкоса опорной конструкции 1 – они достигли 63 кН (рис. 5, б, см. рис. 2). Датчик 5 был поврежден лавиной, поэтому результатов измерений с него не было получено.

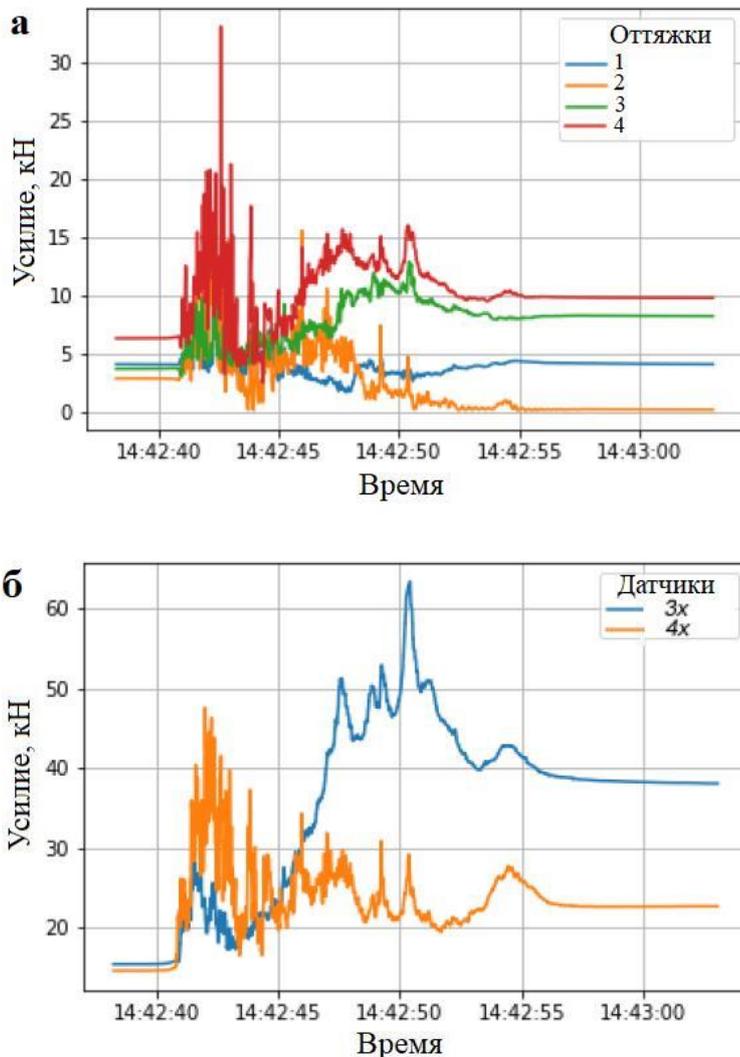


Рис. 5. Результаты измерения усилий в конструкциях барьера Snowcatcher при взаимодействии со снежно-пылевой лавиной, сошедшей 13 января 2019 года: а – силы натяжения в боковых оттяжках; б – силы сжатия в основаниях подкосов лямбда-образных опорных конструкций [4]

Лавина, сошедшая 14.01.2019 в 4:34

Второе исследованное лавинное событие произошло рано утром. Из-за темноты в это время не было получено видеоданных. Объем лавинных отложений был оценен примерно в 5000 куб. м, то есть он был в 5 раз больше, чем в предыдущем случае. Кроме того, в этой лавине кроме снега было много обломанных веток, которые заблокировали поверхность сетки, быстро сделав ее непроницаемой для частиц снега (рис. 6, 7).



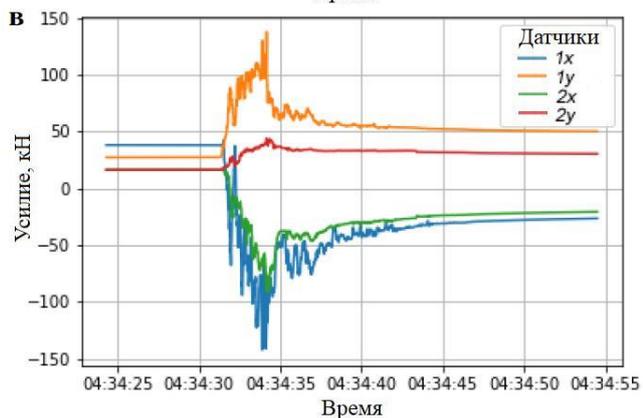
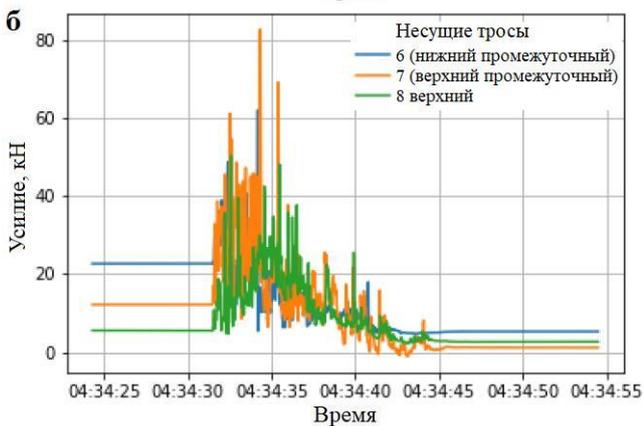
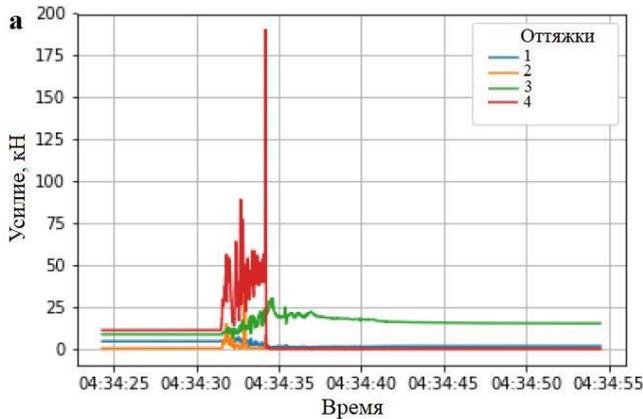
Рис. 6. Ветки со снегом, задержанные сеткой барьера при сходе лавины 14.01.2019 [4]



Рис. 7. Отложения лавины, задержанные барьером 14.01.2019 [4]

Максимальная деформация «омега-сетки» наблюдалась между лямбда-образными опорными конструкциями 1 и 2, а максимальное усилие возникло в опорной конструкции 2. Максимальная сила натяжения в боковых оттяжках составила 190 кН (рис. 8, а), а в верхнем, нижнем и промежуточном несущих тросах – 83 кН (рис. 8, б, см.

рис. 2). Такая разница объясняется в том числе отсутствием тормозных элементов на оттяжках и их наличием на несущих тросах (все тормозные элементы сработали и были долговременно напряжены). Во время лавинного события боковая оттяжка 4 разорвалась – вероятно, из-за взаимодействия со стволом дерева, присутствовавшего в теле лавины. Непосредственно перед разрывом усилие в этой оттяжке увеличилось с 40 до 190 кН в течение 10 миллисекунд (см. рис. 8, а).



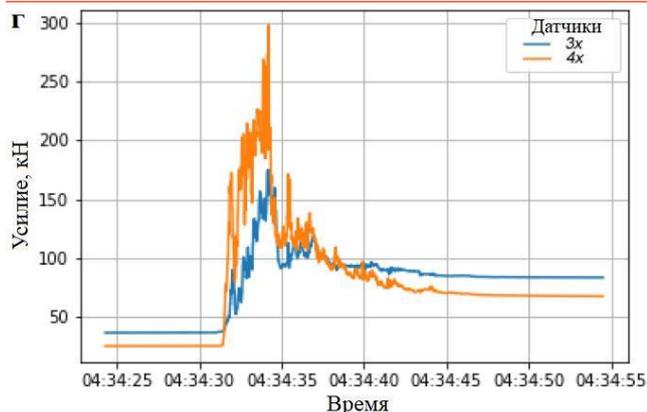


Рис. 8. Результаты измерения усилий в конструкциях барьера Snowcatcher при взаимодействии с лавиной, сошедшей 14 января 2019 года: а – силы натяжения в боковых оттяжках; б – силы натяжения в верхнем и промежуточных несущих тросах; в – осевые и параллельные склону усилия в датчиках 1 и 2; г – осевые усилия в датчиках 3 и 4 [4]

Осевые усилия, измеренные датчиками 1х и 2х, показали схожие результаты и имели отрицательный знак, что указывает на возникновение силы натяжения в главных балках опорных конструкций 1 и 2. При этом значения первых были значительно выше, чем величины вторых (рис. 8, в). Самые высокие значения для датчика 1х в осевом направлении и датчика 1у в параллельном склону направлении составили 142 и 137 кН соответственно (см. рис. 8, в). Датчик 4х показал гораздо более высокое усилие сжатия (298 кН) в опорной конструкции 2, чем датчик 3х (174 кН) в опорной конструкции 1 (рис. 6, г, см. рис. 2). Этот эффект можно приписать более высокому расположению точки приложения силы в стойке 2, чем в стойке 1.

ВЫВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Таким образом, в результатах измерений динамических усилий в разных элементах нового сетчатого противолавинного барьера Snowcatcher при воздействиях двух лавин в зоне транзита были выявлены существенные различия. Это было обусловлено в том числе разницей в размерах двух лавин и в направлениях их ударов. Более мощная вторая лавина привела к более высоким усилиям и даже к некоторым разрушениям в конструкциях барьера. Второй случай также показал, что наличие обломочного материала в лавине имеет большое значение при взаимодействии с барьером. Этот дополнительный обломочный материал блокирует поверхность сетки и предотвращает прохождение частиц снега через нее. Кроме того, его воздействие на барьер приводит к возникновению таких максимальных усилий, которые могут повредить части сооружения, особенно при отсутствии тормозных элементов.

Авторы доклада [4] отметили, что их исследование было одной из первых попыток лучше понять взаимодействие снежных лавин с гибкими сетчатыми барьерами, установленными в зонах транзита. Дальнейшие испытания и анализ усилий в разных элементах защитных сооружений, возникающих при воздействиях на них лавин, помогут в дальнейшей эволюции противолавинных сетчатых барьеров, а также в правильном проектировании и установке в зонах транзита уже имеющихся на рынке продуктов.

Если у читателей возник интерес к работе рассмотренных систем или необходимость в проектировании, производстве, монтаже и обслуживании сетчатых конструкций для защиты от опасных проявлений склоновых процессов, они всегда могут обратиться в российское представительство австрийской компании Trumer Schutzbauten – ведущего мирового производителя систем защиты от опасных природных процессов и явлений [2, 5] и одного из партнеров независимого электронного журнала «ГеоИнфо».

ИСТОЧНИКИ

1. Гибкие противоселевые барьеры: из опыта компании Trumer Schutzbauten // Geoinfo.ru. 27.02.2020. URL: geoinfo.ru/product/analiticheskaya-sluzhba-geoinfo/gibkie-protivoselevye-barery-iz-opyta-kompanii-trumer-schutzbauten-42258.shtml.
2. ООО «ТРУМЕР ШУТЦБАУТЕН РУС» // TRUMER SCHUTZBAUTEN GMBH. Дата последнего обращения: 18.05.2020. URL: geoinfo.ru/brand/trumer-shchutzbauten-rus-trumer-schutzbauten-gmbh/.
3. Оптимальный противокамнепадный барьер. Рассуждения на основе передового опыта // Geoinfo.ru. 08.04.2019. URL: geoinfo.ru/product/analiticheskaya-sluzhba-geoinfo/optimalnyj-protivokamnepadnyj-barer-rassuzhdeniya-na-osnove-peredovogo-opyta-40577.shtml.
4. Gleirscher E., Stelzer G., Illmer D., Bichler A. Snowcatcher – full-scale test site in the Stubai Valley // Proceedings of the International Symposium on Mitigative Measures against Snow Avalanches and Other Rapid Gravity Mass Flows, Siglufjörður, Iceland, April 3–5, 2019. vedur.is/gogn/snjoflod/varnarvirki/snow2019abstracts/Snow2019_Gleirscher_Illmer_Stelzer_Bichler_eabstract.pdf.
5. Natural Hazard Protection // TRUMER Schutzbauten. The last access date: 20.05.2020. URL: trumer.ca/wp-content/uploads/2017/03/Trumer-Natural-Hazard-Protection.pdf.

Заглавное фото: trumer.ca/wp-content/uploads/2017/03/Trumer-Natural-Hazard-Protection.pdf [5]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗОВАННОЙ АВТОРАМИ ДОКЛАДА [4]

- Baillifard, M.-A., 2007. Interaction Between Snow Avalanches and Catching Dams. (PhD thesis) ETH Zurich.
- Bichler, A., Yonin, D., Stelzer, G., 2012. Flexible debris flow mitigation: introducing the 5.5 mile debris fence. Landslides and Engineered Slopes: Protecting Society Through Improved Understanding, pp. 1209–1214.
- Domaas, U., Harbitz, C., Bakkehøi, H., 2002. The EU CADZIE database for extreme and deflected snow avalanches. Nat. Hazard. Earth Syst. Sci., 2, 227–238.
- Gleirscher, E., Fischer, J.-T., 2013. Retarding avalanches in motion with net structures. Cold Regions Science and Technology.
- Gottardi, G., Govoni, L., 2010. Full-scale modelling of falling rock protection barriers. RockMech. Rock. Eng., 43(3), 261–274.

- Hákonardóttir, K. M., 2004. The Interaction Between Snow Avalanches and Dams. (PhD thesis). University of Bristol, School of Mathematics, Bristol, England.
- Johannesson, T., Gauer, P., Issler, D., Lied, K. (eds.), 2009. The design of avalanche protection dams. Recent practical and theoretical developments. European Commission. Directorate General for Research (M. Barbolini, U. Domaas, C. B. Harbitz, T. Jóhannesson, P. Gauer, D. Issler, K. Lied, T. Faug, M. Naaim, F. Naaim-Bouvet, K. M. Hákonardóttir and L. Rammer).
- Margreth, S., Roth, A., 2008. Interaction of flexible rockfall barriers with avalanches and snow pressure. *Cold Reg. Sci. Technol.*, 51, 168–177.
- Peila, D., Ronco, C., 2009. Technical note: design of rockfall net fences and the new ETAG 027 European guideline. *Nat. Hazard. Earth Syst. Sci.*, 9(4), 1291–1298.
- Pudasaini, S.P., Hutter, K., 2007. *Avalanche Dynamics: Dynamics of Rapid Flows of Dense Granular Avalanches*. Springer, Berlin, New York.
- Rainer, E., Rammer, L., Wiatr, T., 2008. Snow loads on defensive snow net systems. International Symposium on Mitigative Measures against Snow Avalanches, Egilsstaðir, Iceland.
- Rudolf-Miklau, F., Sauermoser, S. (Eds.). (2011). *Handbuch Technischer Lawinenschutz*. John Wiley & Sons.
- Volkwein, A., 2005. Numerical simulation of flexible rockfall protection systems. *Proc. Computing in Civil Engineering*.