

## ЗАЩИТА ОТ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ «ГИБКИМИ» БАРЬЕРАМИ: ОПЫТ СОЧИ

**Баринов А.Ю.**

Директор представительства Geobrugg AG в России, к.г.н, Москва, info@geobrugg.ru

**Аннотация:** Строительство олимпийских объектов горного кластера велось в условиях территории, зажатой между хребтами Кавказских гор. В процессе работ неизбежно возникали проблемы инженерной защиты от опасных процессов, вызванных, прежде всего, нарушением стабильности склонов: оползней, обвалов, селевых потоков и др. Сжатые сроки строительства, вопросы экономической эффективности и ограниченное пространство дали мощный толчок внедрению инновационных технологий инженерной защиты, в частности, гибких барьеров на основе стальной сети и системы несущих канатов. Статья посвящена вопросам разработки, проектирования, монтажа и эксплуатации данных систем.

**Ключевые слова:** защита от селевых потоков, гибкий барьер для защиты от селей, Сочи

### Введение

Строительство олимпийских объектов горного кластера велось в условиях территории, зажатой между хребтами Кавказских гор. В процессе работ неизбежно возникали проблемы инженерной защиты от опасных процессов, вызванных, прежде всего, нарушением стабильности склонов: оползней, обвалов, селевых потоков и др. Сжатые сроки строительства, вопросы экономической эффективности и ограниченное пространство дали мощный толчок внедрению инновационных технологий инженерной защиты, в частности, гибких барьеров на основе стальной сети и системы несущих канатов. Статья посвящена вопросам разработки, проектирования, монтажа и эксплуатации данных систем.

### История создания гибких противоселевых барьеров

Несмотря на то что идея создания гибких противоселевых барьеров появилась в СССР еще в 1970-х годах [1], особого развития она не получила. В конце 20 века в Швейцарии компания Geobrugg AG – мировой лидер по производству гибких противокамнепадных барьеров – начала разработку барьеров для защиты от селей. Данная идея появилась в связи с многочисленными случаями воздействия на гибкие противокамнепадные барьеры селевых потоков.

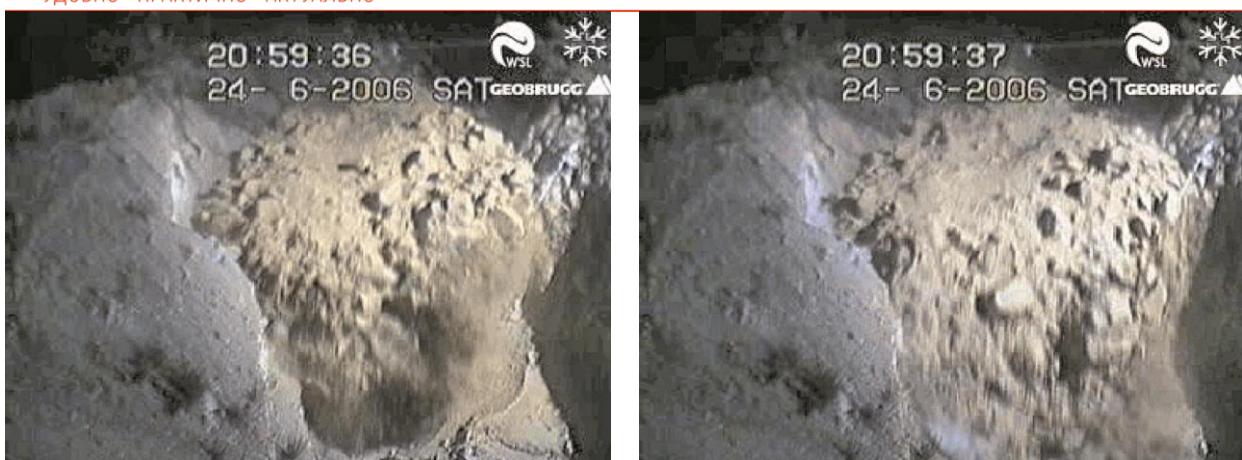
Многочисленные полномасштабные испытания и полевые тесты проводились в сотрудничестве с известными международными институтами (например, Швейцарским государственным институтом леса, снега и ландшафтов (WSL)). [2]. Основной площадкой для полевых испытаний был выбран тестовый полигон в г. Иллграбене (кантон Вале, Швейцария). Иллграбен – одна из самых селеопасных рек Швейцарских Альп, по которой сходят 4–6 селей в год. Она находится под постоянным контролем исследователей из WSL с 2000 г.: все селевые потоки фиксируются установленными в русле геофонами. Для регистрации высоты потока установлены лазерные измерители. Специальное оборудование для измерения массы селя позволяет также определить его плотность. Видеокамеры с ночным освещением фиксируют прохождение волн селевых потоков через створ, где установлен барьер, а датчики на несущих тросах определяют приходящуюся на него нагрузку.



**Рис.1.** Селевой стационар WSL на р. Иллграбене. В верхней части снимка – лазерный измеритель уровня. На несущие канаты барьера установлены тензометры

В конце апреля 2006 г. всего за одну неделю (вместе с подготовкой склонов) в русле р. Иллграбена был установлен противоселевой барьер на основе сетки с кольцевыми ячейками ROCCO®. Уже 18 мая 2006 этот барьер выдержал воздействие селевого потока с объемом наносов около 1 000 м<sup>3</sup>. После его заполнения селевой поток продолжил перетекать через него без какого-либо вреда для конструкции. К октябрю барьер подвергся воздействию уже пяти селей с общим объемом выносов около 10 000 м<sup>3</sup>.





**Рис. 2.** Фрагменты видеозаписи, сделанной с помощью высокоскоростной камеры селевого стационара в г. Иллграбене. Новая волна селя перетекает через заполненный барьер

Тесты с перетеканием селевой массы через заполненный барьер доказали, что серии таких последовательно установленных конструкций способны сдерживать значительно большие объемы материала при скорости течения потока до 6 м/с. Это подтвердилось полевыми испытаниями в русле ручья Мерденсон (кантон Вале, Швейцария), где были установлены три барьера.

Противоселевые барьеры являются мощными конструкциями, способными противостоять огромному давлению селевых потоков. Правильно спроектированные барьеры образуют эффективную многофункциональную защитную систему.

Компанией Geobrugg совместно с институтом WSL разработаны две компьютерные программы – FARO и DEBFLOW, позволяющие рассчитать требуемые параметры барьеров в зависимости от характеристик селевого потока и рельефа.

Программа FARO основана на модели конечных элементов и предоставляет проектировщику надежный инструмент для моделирования. С ее помощью можно моделировать воздействие на барьер не только селей, но и камнепадов, лавин и снежных оползней [3].

Программа DEBFLOW позволяет проектировщикам выбрать подходящую конструкцию гибкого барьера для конкретного створа. Она основана на десятках полномасштабных испытаний и результатах лабораторных исследований и тщательно откалибрована для определения реакции и взаимодействия всех компонентов противоселевых барьеров Geobrugg. Надежность этой программы неоднократно апробирована на практике.

Более подробно с методикой DEBFLOW и основными принципами работы гибких противоселевых барьеров можно ознакомиться в трудах института WSL [4, 5].

Разработанные модели, заложенные в программные оболочки, позволяют проектировщикам выполнять расчеты параметров гибких противоселевых барьеров Geobrugg с учетом характеристик конструкции, действующих нагрузок и требуемых коэффициентов запаса прочности. Важно, что модели и конструкции этих барьеров испытаны и откалиброваны в полномасштабных тестах, что позволяет говорить о высокой точности производимых расчетов и высокой надежности конструкций [6].

### **Опыт применения гибких противоселевых барьеров Geobrugg AG в Сочи**

В России гибкие противоселевые барьеры были впервые применены на объектах горного кластера олимпийской стройки. В общем случае, реализация каждого проекта подразделялась на описанные ниже этапы

Для проектирования барьеров использовались результаты инженерно-геологических и инженерно-гидрометеорологических изысканий, а также информация о селевых явлениях, полученная в дополнительных изысканиях, выполненных специалистами Лаборатории лавин и селей МГУ, СО ДВГИ ДВО РАН и др.

На стадии подготовки проекта инженеры-проектировщики произвели расчет требуемого количества и параметров противоселевых барьеров в бесплатной сертифицированной онлайн-программе DEBFLOW, доступной всем желающим и умеющим с ней работать на сайте <http://applications.geobrugg.com> (рис. 3) Результаты расчетов сверялись со специалистами Geobrugg AG и, при необходимости, корректировались.

#### Входные параметры

Тип и плотность селя					
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	
Тип селевого потока (типичный или грязевый)	Тип	типичный	типичный	типичный	
Плотность селевой массы	$\rho =$	2000	2200	2200	[ $\text{kg/m}^3$ ]
Вес селевой массы	$\gamma =$	19.6	21.6	21.6	[ $\text{kN/m}^3$ ]
Содержание жидкой составляющей	$w =$	0.39	0.27	0.27	-
Объем селя и количество волн					
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	
Совокупный объем селя (вкл. воды)	$V_{\text{tot}} =$	5000	1000	1000	[ $\text{m}^3$ ]
количество волн	$N =$	3	3	3	-
Объем волны (средний)	$V_N =$	1667	333	333	[ $\text{m}^3$ ]
Объем первой волны (рекомендованный)	$V_{N1,rec} =$	2500	500	500	[ $\text{m}^3$ ]
Объем первой волны (выбранный)	$V_{N1} =$	2500	3000	3000	[ $\text{m}^3$ ]
Пиковый расход					
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	
Пиковый расход (по Rickenmann)	$Q_{p,rec} =$	60.4	69.6	69.6	[ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
Пиковый расход (выбранный)	$Q_p =$	60	50	50	[ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
Коэффициент надежности					
Общий коэффициент надежности	$SF =$	1.2			
Сводная таблица результатов					
Сводная таблица результатов					
Мульти-уровневая система защиты	№	Коэффициент надежности	Проверка	Удерживаемый объем	
GEOBRUGG VX160-H6	№ 1	1.28	соответствует!	1492 [ $\text{m}^3$ ]	

Рис. 3. Окно программы DEBFLOW-Online

Для прохождения Главгосэкспертизы (г.Москва) были предоставлены все необходимые сертификаты, а также результаты вычислений в сертифицированной программе DEBFLOW. Дополнительно предоставлялись отчеты об испытаниях барьеров независимыми организациями.

При подготовке рабочего проекта на место предполагаемого строительства барьеров выезжали инженеры компании Geobrugg AG, которые, совместно со специалистами проектной и подрядной организаций выбирали точное место установки барьеров и проводили разметку точек крепления несущих канатов (точек расположения анкеров) (рис. 4).



Рис. 4. Разметка точек крепления несущих канатов

Типовые чертежи противоселевых конструкций были предоставлены компанией-производителем и адаптированы к российским нормам проектирования проектной организацией.

Монтаж конструкций осуществлялся в два этапа. На первом этапе были выполнены бурение и установка анкеров, а также монтаж фундаментов. На втором этапе проводился собственно монтаж наземной части конструкции. Опыт показал, что бригада из 4-6 человек прошедшая инструктаж специалистов Geobrugg AG способна полностью смонтировать барьер за 1-3 дня в зависимости от сложности и местоположения конкретной конструкции.

Уже через несколько недель после монтажа, один из барьеров подвергся воздействию селевого потока объемом около 1000 м<sup>3</sup>. Барьер сработал в штатном режиме, защитив нижележащую олимпийскую дорогу от повреждений (рисунок 5)..



Рис. 5. Первый в современной истории России гибкий противоселевой барьер производства Geobrugg AG, удержавший селевую массу.

#### **Опыт применения других гибких противоселевых барьеров в Сочи**

Технология создания гибких противоселевых барьеров, зародившаяся в СССР и вынувшаяся в России после многих лет совершенствования в Швейцарии только на вид является простой. Селевые потоки - крайне опасное явление со слабо предсказуемыми современными методами параметрами. При воздействии селевого потока на сооружение возникают огромные нагрузки, действующие на все узлы конструкции. Полностью просчитать эти нагрузки, их комбинации, реакцию элементов системы на них - практически невозможно. Именно поэтому компания Geobrugg AG уделяет большое внимание испытаниям своих барьеров в сборе на селевом стационаре, где эти конструкции подвергаются воздействию селей по несколько раз в год.

Вполне естественным является желание некоторых проектных организаций спроектировать аналогичные конструкции для защиты от селевых потоков. Однако в условиях полного отсутствия опыта, и, главное, возможности испытать конструкции в реальных условиях, результаты весьма плачевны, что хорошо иллюстрирует рисунок. На приведенной ниже вы копировали из проекта видно, что общая идея и чертеж внешне похожи Geobrugg AG, однако, специалистам очевидно, что за этим чертежом не стоит никаких натурных испытаний и хотя бы сколько-нибудь серьёзного моделирования. Остается только удивляться проектировщику, взявшему на себя ответственность за жизни людей без четкого представления об объекте проектирования и тому, каким образом данный проект мог бы пройти экспертизу.



Рис. 6. Остатки конструкции гибкого противоселевого барьера, спроектированного без опыта работ в области инженерной защиты от селей

### Выводы

Гибкие барьеры для защиты от селевых потоков доказали свою эффективность в условиях олимпийской стройки. Быстрые и легкие в монтаже, надежные и экономически эффективные, они открывают новые возможности инженерной защиты от селевых потоков в горах России. За простой на вид конструкцией стоят годы научно-исследовательских работ и десятки испытаний реальными селями в масштабе 1:1, что позволяет гарантировать не только бесперебойную работу самой конструкции, но и высокий уровень безопасности функционирования расположенных ниже объектов инфраструктуры.

### Список литературы

1. Гагошидзе М.С. Селевые явления и борьба с ними. Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1970. С. 307–311.
2. Wendeler C., McArdell B.W., Rickenmann D., Volkwein A., Roth A., Denk M. Testing and numerical modeling of flexible debris flow barriers / Proceedings of the 6-th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics, (6th ICPMG-06), Hong Kong, 4–6 August 2006 (edited by C.W.W. Ng, Y.H. Wang, L.M. Zhang). Taylor & Francis, 2006.
3. Volkwein A. Numerical simulation of flexible rockfall protection systems / Proceedings of the ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering, Cancun, Mexico, 12–15 July 2005. Cancun, Mexico: ASCE, 2005.

- 
- 4. Full-scale testing and dimensioning of flexible debris flow barriers: summary report of the 2005–2008 CTI-Project «Numerical modeling and design of flexible debris flow barriers». Birmensdorf: Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research (WSL), 2009.
  - 5. Wendeler C. Murgangrückhalt in wildbächen – grundlagen zu planung und berechnung von flexiblen barrieren: dissertation ETH. Zürich, 2008.
  - 6. Баринов А.Ю.

**Выходные данные:** ГеоРиск, №3/2013