

Т.В. ШЕИНА
Е.А. АВДЕЕВА

ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ АВТОДОРОГ ОТ КАМНЕПАДОВ

TECHNOLOGIES OF PROTECTION OF HIGHWAYS FROM ROCKFALLS

Рассматривается технология устройства определенных противообвальных сооружений для участков горных автодорог, подверженных обвалам. Выявлен и обоснован комплексный анализ факторов риска камнепадов с целью выбора наиболее эффективной системы защиты. Проанализированы мероприятия по пассивной защите (улавливающие сооружения и устройства, противообвальные галереи, системы простой драпировки) и по активной защите (удерживающие сооружения и системы драпировки с дополнительным армированием). Представлены материалы, используемые в передовых противообвальных системах, отличающиеся повышенной прочностью, усиленной защитой от коррозии, относительно малым весом, что позволяет использовать легкую технику.

Ключевые слова: горные автодороги, технологии защиты от обвалов, камнепадов, габионы, траншеи, противообвальные галереи, драпировка, камнеулавливающие барьеры и насыпи, контрфорсы

Обвалы образуются в результате быстрого внезапного обрушения и перемещения крупных массивов горных пород из-за отрыва от коренного массива с образованием у подножия нагромождения этих обломков. К обвалам относят камнепады, оползни грунта, скальные осыпи, а также обрушение ледников и снежных лавин. Образованию обвалов способствует размыв поверхностными и подземными водами, техногенные воздействия, быстрая смена температур, сейсмические процессы, антропогенное воздействие и изменчивый климат. В целом для обвалов характерна сплоченность обрушающегося материала и, как следствие, характер его движения.

The technology of the device of certain anti-dump structures for the sections of mountain roads subject to collapses is considered. A comprehensive analysis of rockfall risk factors has been identified and justified in order to select the most effective protection system. The measures on passive protection (catching structures and devices, anti-galleries galleries, simple drapery systems) and active protection (restraining structures and drapery systems with additional reinforcement) have been analyzed. The materials used in advanced anti-dump systems are distinguished, they are characterized by increased strength, enhanced corrosion protection, relatively low weight, which makes it possible to use light technology.

Keywords: mountain roads, technologies for protection against landslides, stone pads, gabions, trenches, anti-galleries, drapery, stone-breaking barriers and embankments, buttresses

При камнепадах движение крупных каменных глыб, отдельных камней, обломков пород и щебня сопровождается неоднократными «прыжками» со скоростью 40–60 м/с (150–200 км/ч).

Энергия воздействия камня и траектория его падения на горную автодорогу – это основные параметры изучения камнепадных процессов, позволяющих проектировать системы защитных сооружений (СП 116.13330.2012. Свод правил. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003) (рис. 1).



Рис. 1. Траектория падения каменных обломков

Для безопасной эксплуатации горных автодорог необходим комплексный анализ факторов риска камнепадов с целью выбора наиболее эффективной системы защиты [1–3].

Неустойчивость каменных массивов оказывает влияние на поверхность склонов и общую устойчивость скальных образований. Системы защиты

от камнепадов позволяют обеспечить безопасность от поверхностных обрушений склона и с целью защиты от разрушений коренной части массива. До принятия технического решения по устройству защитной конструкции от камнепадов должно быть четко определено различие между пассивными и активными защитными системами (рис. 2).



Рис. 2. Последствия камнепада на автодорогах

С целью улавливания и остановки падающих скальных обломков на объекты инфраструктуры используют систему пассивной защиты – стальной геоконкомпозит из комбинации двойного кручения сетки и вплетенных в нее тросов.

Стабилизацию разрушаемой поверхности скального массива проводят активной защитой – глубинным армированием отдельных его частей, с применением стальных канатных панелей и дополнительных металлических анкеров.

Пассивная противообвальная защита необходима, если полностью не исключается возможность ликвидации скально-обвальных явлений.

У подошвы откоса или склона высотой до 60 м и крутизной более 35° используют системы пассивной защиты в виде улавливающих полок и траншей с бордюром, а при крутизне 25–35° применяют улавливающие стены. Их можно располагать на пологих участках склонов на высоте в пределах 30–50 м над автодорогой.

У подошвы крутых (более 40–45°) и сравнительно невысоких откосов или склонов в пределах 25–30 м устанавливают оградительные стены для предотвращения осыпания скального грунта в случае их выветривания. Стабильность такой системы определяется расчетом на прочность и устойчивость при полном завале скальными грунтами улавливающей паузы (застенного пространства).

Улавливающие валы устраивают у подошвы не менее опасных источников обвалов – затяжных склонов высотой более 60 м или над автодорогой на высоте в пределах 30–50 м у склонов крутизной до 25° [1].

Местные условия диктуют применение улавливающих траншей и полок с бордюром заглубленного типа или устройство оградительных конструкций на уровне автодороги. У подошвы откоса или склона

возводят сборные железобетонные стены высотой 6–8 м, уголкового профиля таких стен конструируют с меньшей высотой. Их омоноличивают и усиливают арматурой диаметром более 20 мм.

В труднодоступных местах используют бутобетонные и габионные стены, которые возводят из местного камня (СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* Введ. 01-07-2013; СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. Введ. 01-07-2013).

Противообвальные галереи из штучных материалов, сборного и монолитного железобетона устраивают на трассах с крутыми косогорами в тех случаях, когда другие, более простые сооружения нецелесообразны по экономическим и практическим соображениям. Топографические и геологические условия, а также нагрузки и технологические процессы определяют выбор галерей следующих видов конструкций: арочные, балочные, рамные, полурамные, консольные и гибкие подвесные (рис. 3) [3, 6].

Система простой драпировки – эффективный и экономически приемлемый вариант, позволяющий собрать упавшие осыпи фракцией не более 0,6 м³ у основания склона и снизить обрушение скальных массивов, вызванных водной и ветровой эрозией, колебаниями температур, гидростатическим давлением и сейсмической активностью.

Укрепление скальных массивов направлено на консолидацию их поверхности, которая потенциально может быть подвержена обрушению.

Укрепление скальных массивов позволяет не только предотвратить возможность отрыва обломков и увеличить несущую способность поверхности склона, но и укрепить пологую поверхность склона.



Рис. 3. Противообвальные галереи

Компания Маккаферри предлагает различные решения для укрепления склонов с целью противокамнепадной защиты. Одним из них является простая драпировка, представляющая собой сетчатое полотно, закрепленное анкерами по верхней и по нижней кромкам. Такое решение представляет собой один из самых экономически выгодных вариантов драпировки. Упавшие обломки тормозятся сетчатым заслоном и собираются у подножия склона, образуя «карманы», которые периодически можно вычищать.

Система Стилгрид HR (Highly Resistant, от англ. «высокопрочный») – еще одна разновидность устройства простой драпировки, которую используют для укрепления и защиты от обрушений скальных откосов. Такая система перераспределяет и передает нагрузки на сетку двойного кручения благодаря вплетению в продольном направлении стальных тросов, прижимающихся анкерами с пластиной к склону. Синергетический эффект от совместной работы сетки и троса повышает не только прочность конструкции, но и поверхностную устойчивость склона, а также способствуют эффективному применению системы анкеров. Удерживать скальные породы на склоне любой крутизны позволяют несколько рулонов сетки, соединенных продольно с помощью HR-скрепок и HR-зажимов.

Модельный ряд системы Стилгрид® HR представлен Стилгрид HR150, в котором тросы диаметром 8,2 мм с шагом 150 см, а также Стилгрид® MO – менее прочным вариантом с шагом тросов 30, 50 и 100 см.

Камнеулавливающие гибкие барьеры защищают автомобильные дороги, перехватывая маленькие обломки и большие камни искусственных и естественных откосов, а также склонов с крутыми откосами.

Камнеулавливающие гибкие барьеры RMC различных конфигураций по своей конструкции аналогичны системе Стилгрид HR, в которой комбинации сетки, стальных кабелей и анкеров с высокой степенью сопротивления деформациям выдерживают энергию в пределах от 500 до 5000 кДж. Эти системы

камнеулавливающих барьеров компании Маккаферри были разработаны на основе проектирования и проведения испытаний в соответствии с передовыми европейскими нормами.

Расчеты по специализированной программе Rockfall позволяют установить все возможные траектории падения обломков и с учетом распределения эпюры скоростей и кинетической энергии выбрать оптимальное место расположения и модель барьера. Барьеры устанавливаются у основания склона в тех случаях, когда, с одной стороны, невозможно точно установить место отрыва и падения обломков, а с другой – покрыть его драпировкой.

Нагрузка, действующая от каменных блоков на барьер, распределяется между стойками равномерно, а система поглощения энергии работает за счет деформации сменных энергогасителей, обеспечивая длительный срок службы. Подобная конструкция барьера может устанавливаться практически на любом уклоне склона и подстилающей поверхности. Все модели барьеров соответствуют международному стандарту качества UNI EN ISO 9001, а также ETA 11/0370.

Каждая модель барьера имеет свои конструкционные особенности. Барьеры различаются по высоте (2–8 м), типу стоек (профиль круглого сечения Ø114,3x4 или многоугольные типа HEA-200) и типу перехватывающей панели: сетка DT с канатами, сетка DT с кольчужной сетью (кольчужная сеть типа 3-4-350/200-500), сетка двойного кручения, а также по количеству гасителей энергии (запатентованное устройство Маккаферри) и диаметру удерживающих тросов 16–22 мм.

Все элементы барьеров имеют плотное антикоррозионное цинковое покрытие. Стандартное расстояние между стойками – 10 м (в зависимости от проекта может быть изменено до 8–12 м). Рекомендуемая длина барьера от 30 до 100 м. Барьеры поставляются в разобранном виде и собираются на объекте. К барьеру обязательно прикладывается подробная инструкция по установке для выбранной модели. Инженеры компании «Маккаферри» готовы оказывать шеф-монтаж (рис. 4) [5, 8–10].



Рис. 4. Камнеулавливающие гибкие барьеры

Камнеулавливающие гибридные барьеры – это вид барьеров, плавно переходящих в драпировку. Гибридные барьеры предназначены для гашения кинетической энергии падающего обломка. Данный вид барьеров сочетает в себе камнеулавливающие барьеры с возможностью снижения обслуживания сетчатой панели. Вместо традиционного крепления к нижней опоре, защитная сетка простирается вниз по склону.

В данном случае падающие камни и обломки не будут остановлены так же, как с помощью камнеулавливающих барьеров, но после взаимодействия с барьером обломок продолжает свое движение под

драпировкой, замедляя его вплоть до полной остановки у подножия склона. Данный вид барьеров применяется на склонах, где есть доступное пространство для установки вдоль склона, где обломки могут быть остановлены или безопасно собраны. Высота, местоположение, энергопоглощающая мощность барьера определяются с помощью специально разработанной программы – Rockfall. Для оптимизации защиты может быть установлена комбинация из защитных барьеров (в виде каскада), обеспечивая экономическую эффективность и безопасность инфраструктуры (рис. 5) [1].



Рис. 5. Гибридные барьеры

Пассивные системы – камнеулавливающие насыпи используют в тех случаях защиты, когда улавливание падающих скальных обломков или предотвращение их отрыва от массива невозможно из-за того, что склон имеет большой уклон и структура поверхности отвесного типа.

Камнеулавливающие насыпи позволяют выдерживать экстремальные удары обломков практически неограниченных размеров, предельной скорости и энергии. В отличие от камнеулавливающих барьеров, камнеулавливающие насыпи могут выдерживать систематические камнепадные события без ремонта. Специальный анализ, проведенный компанией Маккаферри, доказал, что армирование грунта с помощью камнеулавливающих насыпей выдерживает нагрузку более

20 000 кДж. При наличии достаточного пространства могут быть возведены насыпи, имеющие практически неограниченное поглощение энергии [9,10].

Маккаферри предлагает следующие системы армирования грунта для возведения насыпей: Террамеш®, Зеленый Террамеш®, Парагрид® & Парадрейн®, МакГрид® WG и габионные сооружения (рис. 6).

К активной защите относят: удерживающие сооружения (облицовочные стены, анкерные крепления, контрфорсы, опояски, поддерживающие стены, подпорные стены и заанкерные подпорные стены), системы драпировки с дополнительным армированием (Стилгрид БО и HR, HEA-панели), системы Rope Net и Mighty Net.



Рис. 6. Камнеулавливающие насыпи

Активная противообвальная защита целесообразна для стабилизации неустойчивых откосов и склонов, угрожающих массовым обрушением или их выветриванием.

Снизить объем работ позволяют поддерживающие стены, используемые для нависающих карнизов и пластов. Замедлить процессы выветривания пород позволяют пломбы, которыми заполняют углубления в откосах и склонах.

Подпорные стены позволяют удержать застенные призмы грунта в случае сложности их уборки при выемке откоса. Заанкеровка подпорных стен эффективна при большой высоте откоса. Для подпирания отдельных неустойчивых скальных массивов используют контрфорсы, а в случае их неоднородного залегания – комбинация контрфорсов с подпорными и облицовочными стенами [3].

Система MAC.RO.TM (компания Маккафери и ведущие исследовательские институты) предназначена защитить от четырех различных типов камнепадов. Основа системы – сетка двойного кручения с антикоррозионным покрытием, в сочетании с другими различными материалами [10,11].

Системы драпировки и камнеулавливающие барьеры относятся к постоянным сооружениям, их срок службы более 25 лет, а камнеулавливающих насыпей – более 50 лет.

Точное определение необходимости устройства анкерной системы драпировки (активная защита), а также определение площади, подлежащей такому типу защиты, выполняется на основании оценки реальных условий на стройплощадке и должно отвечать основным руководящим принципам проектирования.

Основными факторами при проектировании являются:

1. Оценка касательных напряжений от постоянной нагрузки: вес всей сетки при рекомендуемом факторе безопасности 1,35.

2. Оценка касательных напряжений от временных нагрузок: вес обломков пород, находящихся у подножия откоса, и вес снега (для склонов менее 60°) с рекомендуемым фактором безопасности 4.

Динамические нагрузки, возникающие с обрушением скальных пород на систему драпировки, учитываются только в тех случаях, если отсутствует должная надежность этой системы. Основная нагрузка на анкерные панели в остальных случаях проявляется в процессе аккумуляции у подошвы склона скальных обломков.

Объем каменных обломков рассчитывается, чтобы спроектировать систему драпировки, а также определить тип и параметры системы защиты от камнепадов. Необходимо иметь обоснованное представление допустимой высоты и геометрических размеров «камнеудерживающего мешка» и предусмотреть последствия от возможных обрушений частей массива, принимая во внимание физико-механические параметры системы по абсорбированию кинетической энергии падающих обломков. Принято считать, что соотношение ширины к высоте «камнеудерживающего мешка» должно быть 1:3, т.е. на 1 п. м по основанию 3 м по высоте.

Сила, воздействующая на защитную систему драпировки, зависит от угла ее наклона и должна быть оценена с использованием существующих условий на объекте [11–14].

HEA-панели (High Energy Absorption) сплетены из канатов и способны значительно поглощать энергию. Целесообразно их использовать с дополнительными анкерами как драпировку на скально-обвальных участках автодороги. В случае меньшей агрессивности среды рекомендуется использовать канаты диаметром 10 мм с цинковым или ПВХ покрытием, а также покрытием «Гальмак®». Узлы стыковых соединений панелей передают равномерно нагрузку на всё полотно и, таким образом, гасят энергию. Панели способны выдерживать длительные статические



Рис. 7. НЕА-панели

нагрузки. Они не утяжеляют склон, являясь альтернативой кольчужной сетке [15].

Канатные панели обладают высокой степенью защиты, их применяют для закрепления курумных склонов и оползневых участков, а также для укрепления крутых откосов, сложенных из пород с высокой трещиноватостью (рис. 7).

Жесткие плетеные НЕА-панели из стальных канатов эффективнее сетки двойного кручения, хотя последняя надежнее сетки рабицы. Двухосный Стилгрид ВО (компания Маккаферри) – это синергетика механических свойств сетки двойного кручения и НЕА-панелей из стальных канатов с шагом продольных канатов 150 см, поперечных – 150, 200 или 300 см [11].

Если проблему обрушения невозможно решить с помощью пассивной защитной системы, рассматривается вариант устройства активной системы (т.е. дополнительное армирование поверхности анкерами, канатными панелями и пр.). В итоге завершенная защитная система представляет собой комбинацию стальных анкеров, НЕА-панелей и сетки двойного кручения. Для определения технически правильного выбора защитной системы необходимо оценить неподвижность или жесткость системы драпировки и усилия, передаваемые на анкерные тоннели.

В этом случае система драпировки обеспечивает высокое сопротивление с минимальными деформациями и предотвращает отрыв и движение скальных обломков.

Драпировка с дополнительным армированием крепится анкерами не только по верхней и нижней кромкам, но и по всему склону с определенным шагом. Такой тип защиты закрепляет неустойчивые блоки, препятствуя отрыву обломков от массива. Преимущество системы Стилгрид® ВО заключается во введении в структуру сетки дополнительных поперечных канатов, что повышает эффект от анкерки.

Для изготовления сетки используется проволока со следующими характеристиками: временное сопротивление на разрыв 35 - 50 кг/мм², удлинение должно составлять не менее 9 %, чтобы увеличить сопротивление на разрыв у конечного материала. Проволока может иметь дополнительное покрытие

ПВХ. Дополнительными аксессуарами, удерживающими тросы, являются анкера с гайками и пластинами, а также зажимы HR-grip и HR-link, скрепки и вязальная проволока [16–18].

Система Mighty Net направлена на воссоздание природного ландшафта и предотвращение камнепадных процессов. Основой Mighty Net служит гибкая высокопрочная стальная сетка, повторяющая рельеф поверхности, с плотным прилеганием к ней. Такая конструкция системы позволяет укрепить как отдельно лежащие на поверхности неустойчивые массивы и камни, так и рыхлые породы. Небольшой размер ячейки сетки даёт возможность удерживать мелкие камни, землю и песок. Особенно эффективно использовать данную систему в местах с сильным выветриванием.

Канатно-анкерная система Rope Net состоит из отдельных канатов, закрепляемых на склоне анкерами. Она фиксирует крупные подвижные камни на склоне, обеспечивая его укрепление. Применение вместе с Rope Net стальной сетки позволит удерживать не только большие рыхлые породы, но и небольшие камни [19].

Вывод. Описанные технические решения, позволяющие обеспечить защиту территорий от опасных природных воздействий, в частности от камнепадных процессов, требуют дальнейшего изучения в связи с возрастающими технологическими возможностями для реализации таких конструкций. Замена использовавшихся ранее массивных железобетонных конструкций на более рациональные аналоги позволит существенно снизить затраты на инженерную защиту, сократить сроки строительства и свести к минимуму воздействие на окружающую среду. Возросший в последнее время интерес застройщиков к освоению горных участков, необходимость прокладки новых автомобильных и железных дорог на местности с переменным рельефом определяют необходимость выполнения более эффективных и экономичных мероприятий. Ввиду слабой изученности камнепадных явлений необходимо более детально исследовать траектории камнепадного процесса, а также разрабатывать и уточнять расчетные методики по оценке энергии воздействия обломка на защитное сооружение и фундаменты защитного сооружения. Особую важность имеет процесс геотех-

нического мониторинга территории, подверженной риску камнепадных воздействий. Периодические наблюдения позволяют уточнить расчетные параметры, опираясь на фактические данные. Взаимовязка перечисленных выше этапов в рамках единой системы позволяет при минимализированных затратах обеспечить максимальную безопасность площадных и линейных объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мариничев М.Б., Макушева А.В.* Защита территорий от камнепадных процессов. М., 2017. 97 с.
2. Обвалы и осыпи [Электронный ресурс]. – URL: http://studopedia.ru/2_6065_obvali-i-osipi.html (дата обращения: 15.10.2016).
3. *Королёв В.А.* Инженерная защита территорий и сооружений. М.: ИД КДУ, 2013. 470 с.
4. Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации (Росавтодор). Автомобильные дороги. Борьба с оползнями, лавинами, селями на автомобильных дорогах. Ретроспективный указатель // Изобретения стран мира. Вып. 57. М., 2000 (дата обращения: 10.10.2016).
5. ООО «Габियोны Маккаферри СНГ». Защита от опасных природных процессов [Электронный ресурс]. М., 2014. 23 с. URL: <https://www.maccafferri.com/ru/> (дата обращения: 17.10.2016).
6. ООО «Габियोны Маккаферри СНГ». Системы защиты от камнепадов. Проблемы и решения [Электронный ресурс]. М., 2010. 17 с. URL: <https://www.maccafferri.com/ru/> (дата обращения: 17.10.2016).
7. ООО «Габियोны Маккаферри СНГ». Система MAC.RO. Стилгид. Технические характеристики [Электронный ресурс]. М., 2006. 2 с. URL: <https://www.maccafferri.com/ru/> (дата обращения: 25.10.2016).
8. Рекомендации по проектированию земляного полотна дорог в сложных инженерно-геологических условиях [Электронный ресурс]. М., 1974. URL: https://znaytovar.ru/gost/2/RekomendaciiRekomendacii_po_pr74.html (дата обращения: 20.11.2016).
9. *Савин В.К., Краснов М.И., Шубин И.Л., Волкова Н.Г., Козина Д.А., Колесников В.П.* Строительная климатология. М.: Стройиздат, 1990. 86 с. (дата обращения: 25.10.2016).
10. Физико-механические показатели сетки двойного кручения. [Электронный ресурс]. 1994. URL: http://pskgeodor.ru/produkcija/setka_dvoynogo_krucheniya/specifications (дата обращения: 06.11.2016).
11. *Коловалов Е., Себро С.* Борьба с камнепадами в Приморском крае средствами инженерной защиты // Инженерная защита. Вып. 1. СПб., 2014. URL: <http://territoryengineering.ru/bez-rubriki/borba-s-kamnepadami-v-primorskom-krae/> (дата обращения: 01.04.2017).

Об авторах:

ШЕИНА Татьяна Викторовна

кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных материалов, изделий и конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 242-37-02
E-mail: tatyana.sheina@inbox.ru

АВДЕЕВА Елена Андреевна

студентка строительного факультета Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 242-37-02
E-mail: avdeee.elena@yandex.ru

SHEINA Tatyana V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Production of Building Materials and Units Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 242-37-02
E-mail: tatyana.sheina@inbox.ru

AVDEEVA Elena A.

Student of the Faculty of Technology of Building Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 242-37-02
E-mail: avdeee.elena@yandex.ru

Для цитирования: *Шейна Т.В., Авдеева Е.А.* Технологии защиты автодорог от камнепадов // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.28-34. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.5.
For citation: *Sheina T.V., Avdeeva E.A.* Technologies of protection of highways from rockfalls // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 28-34. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.5.