

УДК 626:627

**КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА
ПРОТИВОСЕЛЕВЫХ СООРУЖЕНИЙ****П.О. Балджян¹, О.В. Токмаджян², Г.С. Саакян²**¹*Национальный политехнический университет Армении*²*Институт водных проблем и гидротехники им. акад. И.В. Егиазарова*

Во многих странах мира с горной территорией борьба с селевыми потоками занимает важное место при решении экономических и экологических задач. Изучаются селевые проблемы, указываются примеры разрушений вследствие селевых потоков, приводятся конструктивные решения противоселевых мероприятий, применяющихся в мировой практике. В связи с активизацией селевых явлений, связанных с климатическими изменениями, и повышением экологических требований указываются направления развития поставленных задач. Проведен подробный анализ опыта эксплуатации селезащитных сооружений, который позволил представить их положительные стороны и выявить конструктивные недостатки. Дана оценка и указаны недоработки предложенных методов расчета сооружений. На основе проведенного всестороннего анализа излагаются задачи, решение которых обуславливает усовершенствование и развитие гидротехнических средств защиты от селей.

Ключевые слова: селевой поток, противоселевое сооружение, наносы, опыт эксплуатации, плотина.

Введение. Селевой, или горный поток состоит из смеси воды и рыхлообломочных пород - наносов. Эти потоки отличаются внезапностью возникновения, кратковременностью действия и большой разрушительной силой. Селевые потоки образуются в горных районах в результате ливневых дождей, бурного снеготаяния, а также прорыва завалов и т.д. При этом естественно, что в данном бассейне в виде очагов или на водосборных склонах присутствует соответствующее количество селеобразующего материала. В состав последнего входят мелкие, глинистые частицы, песок, гравий, камни, иногда валуны. Селевые водотоки характеризуются ярко выраженным верхним участком (уклоны $i=0,4...0,2$), транзитной зоной ($i=0,2...0,05$) и участком отложений ($i=0,05...0,01$) [1]. Наличие вышеуказанных признаков показывает, что значительная часть территории Армении с точки зрения селевой опасности является рискованной. Каждый год селевые потоки наносят значительный ущерб различным коммуникациям, населенным пунктам и сельхозугодьям нашей республики [2] (рис. 1,2).

Мероприятия по борьбе с селевыми потоками. В зависимости от характера движения слоев в потоке разделяют два основных вида селей:

структурные (связные) и турбулентные (несвязные). Они отличаются друг от друга как по качественным, так и по количественным признакам и, главным образом, по количественному соотношению наносов и водного составляющего потока. По приближенным данным, каждый год потоки с поверхности водосборных бассейнов рек смывают в среднем 0,5 мм слоя грунта, а иногда разовое отложение наносов на конусах выноса селеносных рек достигает 1 млн м³ [3, 4].



Рис. 1. Последствия паводка в с. Бэжни



Рис. 2. Разрушенный мост у с. Зовашен

Мероприятия по защите объектов и населенных пунктов от селевых потоков имеют вековую историю. Во многих странах эта проблема стоит в ряду приоритетных при освоении горных и предгорных территорий, развитии коммуникационных систем и проведении природоохранных мероприятий.

Исторически противоселевая борьба развивалась по двум основным направлениям: использование активных средств защиты и проведение пассивных предупредительных мероприятий.

Гидротехнические или активные средства противоселевой борьбы включают ряд сооружений: селетранспортирующие каналы и направляющие дамбы, сооружения, предназначенные для гашения энергии наносонесущих и горных потоков, наносозадерживающие стабилизирующие стены и плотины, мостовые переходы и т.д. Но, как показывает практика строительства и эксплуатации вышеуказанных сооружений, наиболее надежными, эффективными и следовательно, более распространенными являются руслостабилизирующие, селезадерживающие сооружения различных типов (плотины, запруды, барражи, селеуловители). Это многообразие (больше в названиях, чем по сути) по конструктивным особенностям разделяется на две основные группы: глухие и сквозные (из сборных элементов или сплетенных сеток).

Глухие селезадерживающие сооружения представляют собой обыкновенные плотины (земляные, каменной кладки, бетонные, а иногда железобетонные), однако в отличие от аналогичных плотин для воды, здесь с целью пропуска жидкой части селя в теле сооружения в основном проделываются отверстия, проходы [1,5,6]. Наиболее распространены гравитационные бетонные плотины и запруды каменной кладки малой и средней высоты - до 20 м (рис. 3,4). В частности, в горных и предгорных районах постсоветского пространства (Казахстан, республики Средней Азии, Закавказья, Северный Кавказ, Крым,

Карпаты) на селеносных руслах построено большое количество подобных сооружений с целью защиты автомобильных и железных дорог, населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий от разрушений селевых и паводковых потоков.

Земляные плотины обычно возводятся для перекрытия русел мощных селевых потоков, угрожающих населенным пунктам и крупным народнохозяйственным объектам (например, плотина Медео на р. Малая Алма-Атинка). Высота таких плотин часто достигает 80...100 м. Сравнительно реже встречаются арочные, арочно-гравитационные и контрфорсные селезадерживающие плотины (рис. 3), поскольку в горных труднодоступных условиях их строительство и эксплуатация обходятся достаточно дорого.

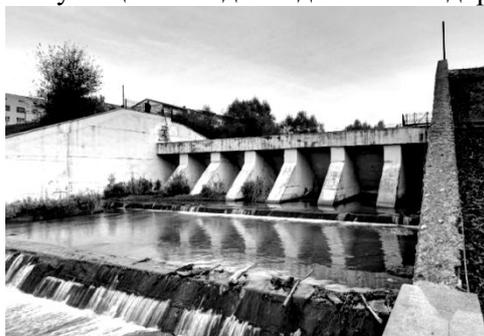


Рис. 3. Глухая контрфорсная противоселевая плотина из железобетона



Рис.4. Глухая противоселева плотина из каменной кладки

Сквозные селезадерживающие сооружения представляют собой различные ячейкообразные, сеточные и другие конструкции, в основном, из сборных металлических и железобетонных элементов (рис.5,6). Существует много типов сооружений как за рубежом [5,7,8], так и в РА [1,3,9,10].

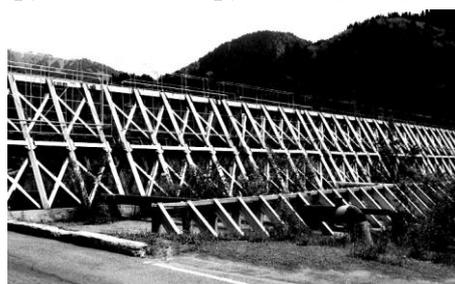


Рис. 5. Сквозная металлическая противоселевая плотина



Рис. 6. Сквозная противоселевая плотина из сборных ж/б элементов

В бывшем Советском Союзе начиная с 70-х гг. прошлого века стали применять сквозную конструкцию И.И. Херхеулидзе [9], представляющую собой систему горизонтальных железобетонных балок, в плане соединяющихся в треугольном расположении на вертикальных осях (рис. 6). Для увеличения

сквозности конструкции, т.е. вертикального расстояния между балками каждого ряда, кроме продольных элементов, используются шайбы.

При осуществлении противоселевых мероприятий в зарубежной практике используются различные конструкции сквозных и глухих сооружений. В Альпах проведены масштабные мероприятия по борьбе с селевыми потоками. В частности, начиная со 2-й половины прошлого века во Франции, Швейцарии и Австрии применялись глухие запруды из каменной кладки (рис. 4) и сборные металлоконструкции.

В последнее время в разных странах мира получили широкое распространение гибкие сплетенные конструкции (рис. 7, 8). Несущими элементами этих конструкций являются поперечные тросы, которые укрепляются в береговых скальных породах или анкерных опорах [11]. Несмотря на простоту конструкций и легкость их сборки, такие сооружения используются на небольших водотоках и часто в системе каскада. В функциональном отношении гибкие защитные конструкции ничем не отличаются от поперечных противоселевых сооружений.

Штат Калифорния, в частности территория Лос-Анджелеса, часто подвергается разрушениям от селей и оползней. Разработан и внедрен комплекс противоселевых мероприятий по защите города от селевых потоков, а в последние десятилетия завершены работы по установлению систем задерживающих запруд разных типов (глухих и решетчатых). Но, как показывает практика, защитные сооружения недостаточно надежны [4].

В качестве поперечных селезадерживающих сооружений в горных условиях Японии до конца прошлого века были распространены гравитационные и арочные плотины с повышенной устойчивостью высотой от 5 до 50 м. На территории Японии сооружено почти 4000 селезадерживающих плотин [7].



Рис. 7. Защитная гибкая запруда типа "Illgraben" после заполнения



Рис. 8. Защитная гибкая запруда в работе

В селеопасных руслах Японии применяются также сквозные запруды стальной конструкции разного типа высотой до 5 м. Однако при их строительстве учитывается лишь опыт эксплуатации уже существующих аналогичных сооружений. Никакие предварительные лабораторно-полевые

испытания по проверке надежности их работы, а также моделированию протекающих гидродинамических процессов не проводились.

В практике противоселевой защиты в балканских странах и, особенно, в Македонии широко применяются селезадерживающие глухие и сквозные сооружения [8]. Путем строительства каскада сооружений в последние десятилетия XX века в этом регионе регулирован ряд селеносных рек. При этом неоднократно использовались сквозные железобетонные сооружения конструкции И.И. Херхеулидзе. По отзывам местных специалистов, в условиях Балканского региона эта конструкция отличается достаточной эффективностью в работе и экономичностью при строительстве. В качестве недостатка отмечаются техническая сложность их сборки и отсутствие методов расчета.

Результаты исследования. Исходя из анализа многолетнего опыта проектирования, строительства и эксплуатации глухих и сквозных противоселевых плотин, барражей и других поперечных конструкций, можно отметить, что указанные сооружения имеют следующие основные преимущества:

- в условиях обеспеченной прочности и устойчивости они достаточно эффективно защищают объекты и населенные пункты от разрушений;
- селезадерживающие русловые сооружения просты по конструкции и технически легко возводимы;
- по сравнению с другими селезащитными средствами (сбросные акведуки, селетранспортирующие каналы, берегозащитные стены, склоновые забрала и т.д.), они требуют меньших материальных и физических затрат.

Однако указанным конструкциям присущ ряд серьезных недостатков:

- эти сооружения обычно устанавливаются на труднодоступных, горных местностях, где возникают сложности при доставке техники и материалов;
- после наполнения верхнего бьефа (селехранилища) сливающийся через гребень плотины поток часто начинает смывать основание с нижнего бьефа;
- очистка от наносов уже наполненного селехранилища представляет собой технически сложный и дорогостоящий процесс;
- известные сооружения практически целиком задерживают все количество поступивших по руслу наносов, т.е. не в состоянии регулировать наносный режим. Это существенно ускоряет наполнение верхнего бьефа и создает угрозу для развития смывных процессов нижних участков водостока.

Следует также отметить, что установление сквозных селезадерживающих сооружений из сборных элементов по сравнению с глухими достаточно просто. Но некоторые из них по надежности и устойчивости уступают глухим плотинам, поскольку еще недостаточно решена задача связки несущих конструкций с основанием. Поэтому селевой поток часто разрушает сооружение именно в этих местах.

Наносозадерживающая способность сквозных плотин по назначению должна быть меньше глухих, так как по конструкции предусматривается частичный пропуск селевых мелких и средних наносов в нижний бьеф. Но, как

показывают результаты исследований и опыт эксплуатации, во-первых, расчет их наносопропускной способности не поддается теоретическому моделированию; во-вторых, в ходе наполнения верхнего бьефа происходит интенсивная кальматация сквозных селеуловителей, и указанные сооружения практически превращаются в глухие.

Таким образом, существующие сооружения практически не решают проблему регулирования процесса задержки селевой массы.

Селезадерживающие сооружения в основном возводятся в транзитных зонах селевых русел. При правильном их размещении в системе эти сооружения не только аккумулируют основную часть селевой массы, но и поднимают базис эрозии. В результате этого первоначальный уклон транзитного участка русла постепенно уменьшается, что, в свою очередь, приводит к значительному затуханию кинетической энергии селевого потока. В конечном итоге данный процесс завершается образованием стабилизированного русла на всей протяженности размещения селезадерживающих плотин.

Таким образом, установленные в одиночку или в каскаде противоселевые сооружения по назначению должны не только служить средством защиты объектов от разрушений, но и выполнять руслостабилизирующую функцию. Однако, как показывает практика инженерной селезащиты, существующие одиночные и групповые запруды во многих случаях не выполняют поставленные перед ними задачи в полном объеме. На примере Закавказского региона можно отметить неудовлетворительную работу ряда одиночных или каскад барражей. Все они построены на селеносных водотоках, пересекающих Закавказскую железную дорогу, Военно-Грузинскую дорогу, шоссейную дорогу Леникан-Дилижан, Кировакан-Алаверди, в бассейне р.Кафан и в других селеносных районах.

Опыт эксплуатации показывает, что неудовлетворительная работа селезадерживающих плотин и барражей обусловлена в основном тремя факторами.

Первый - неправильный выбор или же отсутствие соответствующего сооружения, позволяющего обеспечить эффективность работы в отношении устойчивости, бесперебойности, экономичности при эксплуатации. В инженерной практике немало случаев, когда плотина противостояла ударной волне опасных, мощных селей. Однако из-за полного наполнения верхнего бьефа за достаточно короткое время она практически выходила из строя, т.е. больше не могла выполнять наносозадерживающую функцию. И наоборот, барраж работоспособен, имеет хорошие эксплуатационные качества, но первый же или второй мощный селевой поток частично или полностью разрушает его, выводя из строя.

Второй – неточность гидрологических расчетов, когда в ходе эксплуатации выясняется, что значения селевого расхода и наносонесущей способности установлены ниже натуральных. Следовательно, и расчетный объем наносов получится меньше фактического, поступавшего по руслу за весь срок службы сооружения.

В результате верхний бьеф плотины наполняется раньше назначенного проектного срока.

В обратной ситуации, когда значения селевого расхода и наносонесущей способности устанавливаются выше натуральных, это приводит к излишнему увеличению размеров сооружения и расхода материальных и финансовых ненужных затрат.

И третий фактор, который имеет место практически во всех случаях проектирования и строительства барражей. Это отсутствие надежных, научно обоснованных методов расчета противоселевых сооружений.

Разработка методики расчета селезадерживающих руслостабилизирующих сооружений, установленных в одиночку или в системе, подразумевает проведение двух типов исследований – гидродинамических (гидравлических) и технико-экономических.

Основная задача гидродинамических исследований заключается в установлении положения стабилизированной поверхности отложившихся в верхнем бьефе наносов, т.е. в определении координат стабилизированной поверхности селеотложений. Процесс образования этой поверхности происходит под постоянным взаимодействием трех факторов – потока, наносов и русла. Как показывает обзорное ознакомление существующих в данном направлении работ, указанная общая постановка и соответствующее ей решение задачи, к сожалению, в них отсутствуют. Вместо этого рассматриваются различные, намного упрощенные модели, при которых поверхность селеотложений принимается плоской. Но основной недостаток многих рекомендаций состоит в том, что форма расположения этой плоскости определена без учета уравнений движения, характеристик русла и чаши селехранилища.

Естественно, после наполнения верхнего бьефа и достижения стабильной формы поверхности селеотложений последующие наносонесущие потоки транзитно сбрасываются в нижний бьеф по новому руслу (через эту поверхность). При этом русло по течению обычно имеет расширяющуюся форму, и движение в нем неравномерное. Следовательно, неучет указанных факторов некорректен. Исследования, проведенные с целью изучения характеристик наносозадерживающих сооружений в лабораторных и натуральных условиях, и на этой основе разработки методов их расчета немногочисленны.

В ходе технико-экономических исследований необходимо определить:

- объем наносов, накапливаемых в период службы сооружения;
- оптимальное количество плотин;
- высоту каждого сооружения (если возникает необходимость иметь различные конструкции или размеры), а также межплотинное расстояние.

Заключение. Анализ конструктивных решений и методов расчета существующих противоселевых задерживающих плотин, барражей и других сооружений показывает, что:

- надежность их работы в отношении устойчивости не высока;

- существующие сооружения не могут регулировать наносный режим, из-за чего их селехранилища заполняются и быстро выходят из службы;
- гидравлический расчет сооружений или не проводится, или при расчете используются недостаточно обоснованные методы;
- кроме селезащитных функций, эти сооружения не могут решать сопутствующие задачи, в том числе экологические.

Таким образом, разработка рациональных типов противоселевых сооружений и надежных методов их расчета имеет важное научное и практическое значение. В дальнейших исследованиях необходим учет указанных выше конструктивных, методических и эксплуатационных недостатков.

Литература

1. **Флейшман С.М., Перов В.Ф.** Сели. - М.: Изд. МГУ, 1986. – 286 с.
2. **Бойнагрян В.Р.** Селевые потоки в Армении // Труды Межд. конференции “Селевые потоки: катастрофы, прогноз, защита”, 22 сентября 2008г.- Пятигорск, 2008.- С.143-147.
3. **Запороженко Э.В.** Геналдонская гляциальная катастрофа 2002 года // Мелиорация и водное хозяйство. - 2003.- № 1.- С. 2-6.
4. **Stanglin D., Rice D.** Mudslide buries I-5 north of Los Angeles in 5 feet of mud // USA Today: Report EDT.- October 16, 2015.- P.12.
5. **Власов А.Ю.** Селевые явления и противоселевые мероприятия в США / ЦБНТИ Минводхоза СССР: Обзорная информация, №15. - М., 1976. – 44 с.
6. **Аджиев А.Х., Анахаев К.Н.** Противоселевой гидроузел // Материалы Всероссийской конференции по селям. – Нальчик, 2003.- С. 59 - 61.
7. **Тевзадзе В.И.** Методика расчета параметров селевых потоков и конструкций противоселевых сооружений, применяемых в Японии / ЦБНТИ Минводхоза СССР: Обзорная информация, №12. - М., 1977. – 48с.
8. **Хегей А.Ю., Договец А.С.** О противоселевой защите в Югославии // Гидротехника и мелиорация.- 1978.- №7. - С. 113 - 116.
9. **Херхеулидзе И.И.** Вопросы регулирования селевых русел сквозными селеуловителями // Сб. "Селевые потоки и горные русловые процессы". - Ереван: Изд. АН АрмССР, 1968. - С. 35 - 54.
10. А.с. №1528839. Противоселевое сооружение / **П.О. Балджян, В.О. Балджян.**- Заявл. 15.07.1989 // Открытия и изобретения. – 1989.- № 46.
11. **Graf C., Haller B., Luis R.** ROCCO® barrier systems for debris flows control // Proceedings of the International Conference <DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection>, 22-29 September 2008.- Pyatigorsk, Russia, 2008. - P. 339-343.

*Поступила в редакцию 03.12.2015.
Принята к опубликованию 22.02.2016.*

ՀԱԿԱՍԵԼԱՎԱՅԻՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՏԻՎ ԼՈՒԾՈՒՄՆԵՐԸ ԵՎ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԸ

Պ.Հ. Բալջյան, Հ.Վ. Թոքմայյան, Դ.Ս. Սահակյան

Լեռնային տարածք ունեցող շատ երկրներում սելավային հոսքերի դեմ պայքարը կարևոր տեղ ունի տնտեսական և բնապահպանական խնդիրների լուծման գործում: Ներկայացվում են սելավների հիմնահարցի ընդհանուր նկարագիրը և սելավներից ավերվածությունների օրինակներ, վերլուծվում է սելավներից պաշտպանության միջոցառումների միջազգային փորձը: Ելնելով կլիմայի փոփոխության և էկոլոգիական պահանջների խստացման պայմաններում սելավների ակտիվացման հավանականությունից՝ ուրվագծվում են դրված խնդիրների լուծման ուղղությունները: Սելավապաշտպան կառուցվածքների շահագործման փորձի վերլուծությունը հնարավորություն է տալիս արձանագրել դրանց դրական կողմերը և վեր հանել կոնստրուկտիվ թերությունները: Տրվում է սելավապաշտպան կառուցվածքների հաշվարկային մեթոդների գնահատականը: Դրված խնդիրների լուծումներով կկատարելագործվեն և հետագա զարգացում կստանան սելավներից պաշտպանության հիդրոտեխնիկական միջոցները:

Առանցքային բաներ. սելավային հոսք, սելավապաշտպան կառուցվածք, բերվածքներ, շահագործման փորձ, ամբարտակ, պատվար:

CONSTRUCTIVE SOLUTIONS AND CALCULATION METHODS OF ANTI-MUDFLOW STRUCTURES

P.H. Baljyan, H.V. Tokmajyan, Gh.S. Sahakyan

In many countries with a mountainous area, the struggle against the mudflows has an important role in solving economic and environmental problems. The mudflow problems are studied, examples of destruction caused by mudflows are introduced, the international experience of the protection measures from mudflows is analyzed. Taking into account the mudflow activation related to the climatic changes and enhancement of environmental requirements, the directions of solving the problems set are mentioned. The experience analysis of maintaining the anti-mudslide protection facilities give an opportunity to record their positive aspects and identify the constructive defects. The rating of the calculation methods of anti-mudslide protection facilities is given. Problems whose solution will allow to develop and improve the hydraulic measures of protection from mudflows are introduced.

Keywords: mudflow, anti-mudslide protection facilities, sediment, dam, maintenance experience.