

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, СВЯЗАННЫЕ С ФИЛЬТРАЦИЕЙ В СКАЛЬНЫХ ОСНОВАНИЯХ ГИДРОУЗЛОВ И ВОДОХРАНИЛИЩАХ

Чернышев С.Н., Зоммер В.Л., Зоммер Т.В.

(НИУ МГСУ, г. Москва)

Аннотация: Строительство ГЭС на равнинных реках из-за огромного числа опасных инженерно-геологических и экологических процессов становится все более нежелательным. В противоположность этому скальные основания следует рассматривать как ресурс для возведения высотных плотин. Однако при этом следует учитывать ошибки в фильтрационных расчетах, которые также могут приводить к катастрофическим последствиям.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, скальные основания ГЭС, фильтрационный режим, опасные процессы равнинных ГЭС, опасные процессы в скальных основаниях

Строительство ГЭС на равнинных реках вызывает множество нареканий из-за огромного числа опасных геологических и экологических процессов, сопровождающих весь цикл жизни от строительства и затопления огромных территорий до аварий или эксплуатации морально и физически устаревших систем. Гидроэнергетическому использованию этих оснований препятствует заселенность берегов рек, наличие транспортных сооружений и сельскохозяйственных и лесных угодий.

Строительство плотин на равнинных реках само по себе предполагает затопление несоразмерно больших территорий под водохранилища – с уходом под воду целых населенных пунктов, уникальных зданий и сооружений, культурно-исторических памятников, лесных, сельскохозяйственных и пастбищных угодий. То есть, по сути, оборачивается экологическим бедствием с моральным, материальным и культурно-историческим ущербом. Кроме того, строительство ГЭС на равнинных реках предполагает переселение большого количества коренного населения с исконно обжитых мест.

Плотина, перегораживая равнинную реку, становится препятствием на путях миграции проходных и полупроходных рыб, которые стремятся на нерест в верховья рек. Меняется режим течения реки, снижается проточность, повышается заиливание дна, что незамедлительно сказывается на жизни речной флоры и фауны.

В связи с этим в районах равнинных водохранилищ в целом ухудшается экологическая обстановка, включая климат и режим реки в нижнем бьефе. В последнем отношении показателен негативный опыт Красноярского гидроузла. Сброс теплой воды из водохранилища в реку, пересекающую город, приводит к зимним туманам, обледенению мостов, линий электропередач, повышению заболеваемости. Значительные попуски из водохранилища, связанные с пиковым электропотреблением, вызывают зимние паводки в районе ниже города и ледоходы с зажорами на расстоянии нескольких десятков километров от гидроузла, где расположены населенные пункты, которым угрожает затопление при отрицательных температурах.

К сожалению, этот список отрицательных последствий строительства ГЭС на равнинных реках со временем только возрастает. Местное повышение уровня воды постепенно приводит к заболачиванию. На берегах происходит развитие опасных инженерно-геологических процессов – подтопление прилегающих территорий, эрозия и переработка берегов, оползни, развитие карста, заболачивание.

Поэтому дисперсные грунтовые основания, распространенные на равнинных реках, не следует рассматривать как ресурс для строительства гидроузлов энергетического использования, но лишь транспортного использования с небольшими напорами.

В противоположность строительству плотин на равнинных реках, горные территории, как правило, не способствуют компактному заселению и развитию сельского хозяйства. В этой связи емкость будущего водохранилища можно рассматривать как ресурс для аккумуляции энергии, гидроэнергии. А скальные основания в связи с перечисленными качествами – как ресурс для возведения высотных плотин.

Понимание скальных оснований как стратегического ресурса было в Советском Союзе и сейчас имеет место в европейских странах. В СССР на скальных основаниях были построены ДнепроГЭС, Братская, Усть-Илимская, Нурекская, Красноярская, Саяно-Шушенская, Ингури и Черкейская и другие ГЭС. В Италии высокогорные ГЭС построены в Альпах и даже зоне вечномёрзлых грунтов, где затоплению водохранилищами подвержены безлюдные территории без сельскохозяйственного и транспортного использования.

Первое преимущество плотин на скальных основаниях заключается в рациональности строительства в виду высокой несущей способности скалы, которая открывает возможность возводить высотные плотины обжатого профиля, сокращая сроки строительства и стоимость за счет экономии строительных материалов. Второе крупное преимущество состоит в том, что в скальных грунтах долина реки, как правило, зажата в сравнении с другими участками, поэтому плотина получается короче. Третье преимущество заключается в том, что в районе распространения скальных грунтов рельеф земной поверхности не способствует развитию промышленного и гражданского строительства.

Однако строительство высотных плотин на скальных основаниях пока не обходится без опасных, а иногда и катастрофических процессов, при которых гибнут люди, а ущерб во много раз превышает достаточно высокую стоимость строительства гидроузла.

В 1959 году на плотине Мальпасе во Франции произошла одна из самых крупных катастрофических аварий. Катастрофическую ситуацию вызвало то, что арочная бетонная плотина Мальпасе в южной Франции на реке Рейран, предназначенная для ирригации и водоснабжения, была построена всего лишь в 7 км от крупного населенного пункта - города Фрежюс. Поэтому, когда 2 декабря 1959 года плотина рухнула, город практически полностью оказался затоплен. Только по официальным данным при техногенном затоплении погибло 423 человека, а общий ущерб составил около \$68 млн.

Кроме инженерно-геологических просчетов, приводящим к крупным авариям, зачастую оказываются задействованы и другие сопутствующие факторы, приводящие к нарушению технологического режима. Так, работы по возведению плотины Мальпасе были начаты еще в 1952 г., однако ввиду скудного финансирования уже на подготовительных работах частыми были остановки строительства из-за забастовок рабочих, которым вовремя не выплачивали деньги. В целях экономии средств строителям приходилось ухудшать качество бетона; из-за чего в плотине наблюдались течи.

После окончания строительства в 1954-1959 гг. из-за длительной засухи водохранилище плотины Мальпасе было почти не заполнено. Также причиной аварии косвенно послужило и то, что вблизи сооружения военные периодически производили взрывы. К тому же совсем рядом еще происходило строительство автотрассы А8 с применением взрывчатки.

При этом следует отметить, что устройство арочных плотин позволяет простоять им века - почти столько, что и скальные основания, из-за наибольшего сопротивления давлению воды. По нашему мнению, причина аварии кроется в неправильной оценке связи фильтрационной способности с НДС основания: под нагрузкой от плотины тре-

щины в скале закрылись и пьезометрический напор создал непредусмотренное проектом противодействие, которое спровоцировало нерасчетную ситуацию. В результате резкого увеличения гидростатического давления в бьефе примыкание плотины было сдвинуто.

Первые признаки надвигающейся катастрофы были зафиксированы 15 ноября 1959 г., когда была обнаружена повышенная фильтрация воды сквозь правый берег, в 20 метрах от плотины. За этим последовали в течение двух недель обильные дожди, в результате которых выпало 500 мм дождевых осадков, причем в последние сутки перед аварией 130 мм. Уже 27 ноября было отмечено резкое увеличение фильтрации воды сквозь скальный массив правого берега.

В день аварии 2 декабря в связи с тем, что уровень воды в верхнем бьефе (со стороны водохранилища) уже почти доходит до края плотины (находится от него в 28 см) из-за продолжающихся дождей, персонал плотины запросил разрешение на открытие затворов паводкового водосброса. Несмотря на экстренную ситуацию, из-за опасности подтопления стройплощадки дороги А8, находящейся 200 метрах вниз по течению, администрация района не разрешила открыть водосброс. Однако, уже в 18.00 администрация изменила решение и дала добро на частичное открытие затворов водосброса с минимальным расходом – 40 м³/сек, которого было явно недостаточно для оперативной сработки водохранилища.

В результате всех перечисленных нарушений, включая неверное административное решение, в 21 час 13 мин. произошло обрушение напорного фронта плотины Мальпасе. Прорыв создал прорывную волну высотой 40 м и скоростью 70 км/ч. За несколько минут были уничтожены две деревни - Мальпасе и Бозон, и та самая стройплощадка автодороги А8, из-за которой не разрешили вовремя начать водосброс.



Рис. 1. Вид на плотину Мальпасе после аварии

Наиболее страшная катастрофическая авария произошла в Италии на реке Пьяве в 1963 году на водохранилище Вайонт. Катастрофа была вызвана подтоплением левого борта водохранилища, где залежали трещиноватые известняки юрского возраста. Среди них прослой мергеля и глины, маловлажные в естественных условиях, после увлажнения глины потеряли прочность, структура скади-массива в виде синклинальной складки, по шарниру которой прошла долина, способствовала образованию консеквентного оползня.

Объем оползневой массы составил около 1 км³. Скорость схода превысила 100 км/час. Поэтому водохранилище было мгновенно заполнено оползневой массой. Плотина, хорошо рассчитанная итальянскими инженерами на сейсмические воздействия в 8

баллов, устояла при этом ударе, вода водохранилища была выплеснута через плотину в нижний бьеф с подъемом над гребнем плотины на 250 м. масса воды прошла по долине реки через плотно заселенную Ломбардскую низменность, привела к гибели тысяч людей, уничтожению дорог, мостов, садов и виноградников.

Причиной техногенной катастрофы на водохранилище Вайонт является то, что при проектировании не была изучена чаша водохранилища на предмет ее фильтрационной способности, возможности подтопления и прогнозирования процессов в бортах водохранилища.



Рис. 2. На фото плотина Вайонт находится в нижнем левом углу, справа — место, откуда сошел оползень

В 1986 году группа профессоров МИСИ С.Б. Ухов, С.А. Юфин и С.Н. Чернышев в Индии консультировали специалистов гидротехников по обеспеченности безопасности плотины Наджарюна. Эта гравитационная высотная плотина по компоновке напоминающая Братский гидроузел, в основании ее лежат кварциты, в которых имеются многочисленные трещины, заполненные алевритом. Ширина трещин до нескольких сантиметров. Обходная фильтрация ведет к суффозионному выносу алевритов из трещин. Многочисленные источники в нижнем бьефе на разных по высоте уровнях с расходом до 2-х – 3-х литров в секунду выносят мутную, желтоватую воду.

Вопросы, поставленные перед экспертами, были следующие: как долго будет продолжаться суффозионный вынос, когда может произойти авария, вызванная деформацией основания и примыканий из-за суффозии. Наша группа экспертов запросила геологические материалы по основанию плотины и примыканиям, данные по наблюдению за деформацией плотины. Оказалось, что разрез по оси плотины отсутствует. Только на следующий день доставили из Дели на самолете схематический разрез без масштаба и каких-либо характеристик грунтов основания. Геодезические наблюдения за деформациями не были организованы.

Это еще один случай, когда отсутствие необходимой геологической информации приводит к непредсказуемым последствиям. Экспертами была предложена программа мониторинга деформаций плотины и ее примыканий.

При наполнении Братского водохранилища на реке Ангаре фильтрация из водохранилища прошла через водораздел Ангары и реки Вихоревка.



Рис. 3. Схема головной части Братского водохранилища на реке Ангаре

Фильтрационный поток из водохранилища подтопил правый борт долины реки Вихоревки, где проходит полотно железной дороги, связывающей Братск и Усть-Кут на реке Лене с Транссибирской магистралью. Дорога пострадала, поезда шли со скоростью 5 км в час. Снижение качества дороги до аварийного состояния произошло из-за того, что не были проведены гидрогеологические исследования водораздела между реками Вихоревка и Ангара, не были определены коэффициенты фильтрации скальных массивов на водоразделе, как следствие не был выполнен расчет потерь на фильтрацию и подтопление железной дороги.

Долина реки Вихоревки на аварийном участке следует параллельно долины Ангары на небольшом расстоянии. Гидравлический уклон подземного потока под водоразделом после наполнения водохранилища стал 0,03, что вызвало фильтрационные потери при значительной водопроницаемости залегающих здесь горных пород и подтопление железной дороги проложенной по дну долины.

Приведенные примеры показывают, что актуально определять фильтрационные характеристики скальных массивов в основании напорных сооружений, береговых примыканиях и даже в бортах водохранилищ.

Мы определили в начале статьи, что скальные основания являются ресурсом для получения дешевой гидроэнергии по изложенным выше причинам. Определим, какие характеристики массива нужны для экологически безопасной реализации ресурса.

Необходимо иметь характеристики прочности, деформируемости, суффозионной устойчивости и фильтрационной способности скального массива. Остановимся на последнем. Для определения фильтрационной способности применяется главным образом гидравлическое опробование в скважинах путем откачек и нагнетаний воды. Этот способ дает характеристики в точках опробования, которые как правило различаются для отдельных точек на 5 порядков, менее 0,001 м/сут. до 100 и более м/сут.

Обобщение такого неоднородного массива данных представляет собой сложную задачу, рассмотренную в статьях. Однако в ряде случаев гидравлическое опробование невозможно или технически затруднительно. Это имеет место в примыканиях плотин с широкими раскрытыми трещинами над уровнем подземных вод. Наливы здесь обеспечить невозможно из-за большого поглощения воды и недостаточной мощности насосов, имеющих в распоряжении изыскателей. Между тем определение коэффициента фильтрации в примыканиях весьма актуально – не только с точки зрения проектирования цементационной завесы, но и для обеспечения устойчивости бортов долины и сооружения. Определение коэффициента фильтрации массива совершенно невозможно в условиях вечной мерзлоты. Трещины в многолетнемерзлом грунте заполнены льдом.

В названных условиях определение фильтрационной способности возможно только расчетным методом, который развивали в СССР и за рубежом Ч. Сноу, К. Луи, В. Витке, Е.С. Ромм, С.Н. Чернышев. Этот метод дает неточные результаты, но позволяет оценить коэффициент фильтрации в пределах порядка величины, чего часто достаточно при проектировании напорных сооружений. Метод требует дальнейшего совершенствования с использованием современных возможностей вычислительной техники.