

Литература

1. КМК 2.06.05-98. Строительные нормы и правила. Плотины из грунтовых материалов // Минстрой республики Узбекистан. – Ташкент. – 1998. – 136 с.
2. Рассказов, Л. Н. Осадки и смещения Нурекской плотины по данным натуральных наблюдений / Л. Н. Рассказов, Е. Ядгоров // Гидротехническое строительство. – 2017. – № 2. – С. 18–24.
3. Естифеева, А. Г. Обеспечение безопасной эксплуатации грунтовой плотины Чарвакской ГЭС с учетом данных натуральных наблюдений / А. Г. Естифеева, И. Р. Мифтахова, К. Д. Саямова, Х. Х. Турдикулов // Проблемы механики. – 2020. – № 1–2. – С. 60–63.
4. Саямова, К.Д. Расчет высокой грунтовой плотины с учетом напряженного состояния и порового давления (с учетом данных натуральных наблюдений) / К. Д. Саямова, Х. Х. Турдикулов, И. Р. Мифтахова // Вестник БГТУ. – 2019. – № 7. – С. 24–32.
5. Зенкевич, О. Э. Метод конечных элементов в технике / О. Э. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 375 с.

УДК 624.131.439; 627.43

Разжижение грунтов основания Загорской ГАЭС-2 при подтоплении котлована

Колосов М. А., Моргунов К. П.
Государственный университет морского и речного флота
имени адмирала С. О. Макарова
Санкт-Петербург, Российская Федерация

На основе анализа аварийных случаев обрушения и оползания склонов водохранилищ и котлованов сделано предположение о том, что причинами таких аварий являются водонасыщение грунтов и вызванное им разжижение. Именно разжижение грунтов основания при наполнении бассейна нижнего бьефа является причиной аварийной просадки здания Загорской ГАЭС-2

В практике гидротехнического строительства в последние годы обратили внимание на следующее явление – при наполнении водохранилищ или котлованов строящихся объектов происходит как обрушение грунтовых массивов береговых склонов, так и просадки оснований построенных и строящихся объектов.

Так, известен случай обрушения левобережного склона берега реки Вайонт в итальянских Альпах при строительстве плотины и наполнении

256

водохранилища. Огромный объем оползня обрушился в водохранилище, практически полностью заполнив его ложе. Волна, переклестнув через плотину, промчалась по ущелью стеной высотой более 150 м, разрушая населенные пункты, погибло более 2000 человек [1].

Случай оплывания берега произошел недавно на Бурейском водохранилище (река Буряя) примерно в 100 км выше по течению от Бурейской ГАЭС – очень крупный оползень сошел с крутого левого берега. Оползень полностью перекрыл русло реки, остановив поступление воды к гидроэлектростанции. Разборка завала посредством взрывного дноуглубления потребовала времени более двух месяцев и почти сотню тонн взрывчатки.

Необходимость учета возможности паводкового подтопления в очередной раз продемонстрировала значительная осадка здания строящейся ГАЭС-2. К моменту происшествия здание станции было полностью построено, заканчивался монтаж оборудования. После разбора временной строительной перемычки нижний бьеф был заполнен водой, здание станции было поставлено под напор, строительная готовность станции составляла более 90 %. Однако в результате деформации основания произошла неравномерная просадка здания и его перекося – правая часть здания ГАЭС (вместе с одним из блоков подпорной стенки) просела на 1,17 м, а левая поднялась на 0,22 м.

После отсыпки перемычки, изолирующей здание Загорской ГАЭС-2 от нижнего бассейна, и откачки воды начались исследования причин аварии, в том числе и путем бурения скважин в районе правой части здания ГАЭС и непосредственно под самим зданием. Были обнаружены сквозные (от нижнего бьефа к верхнему) размывы грунта максимальной глубиной до 10 м. Оказалось, что при наполнении водой нижнего бьефа станции вследствие неэффективной работы противодиффузионной и дренажной систем в районе примыкания здания ГАЭС к подпорной стенке происходило насыщение грунтов основания водой, фильтрующейся из нижнего бьефа. Затем произошло выпирание грунта в верхнем бьефе, и туда прорвался разжиженный грунт из-под основания здания. Далее сформировался сквозной канал под зданием ГАЭС, через который вода поступала из нижнего бьефа в верхний. Происходило дальнейшее вымывание грунта и расширение полости под зданием ГАЭС, что и вызвало его осадку. Процесс развивался весьма быстро и завершился после уравнивания отметок воды в верхнем и нижнем бьефах.

В настоящее время разрабатываются варианты подъема здания путем подачи в грунты основания быстротвердеющих синтетических материалов [2]. Однако причины просадки здания недостаточно проанализированы. На наш взгляд, просадка здания гидроаккумулирующей станции есть результат разжижения грунтов основания при их водонасыщении после

наполнения нижнего бьефа. При этом следует учитывать то обстоятельство, что при повышении водонасыщенности грунта, то есть все более полном заполнении пор водой, на частицы грунта начинает действовать взвешивающая (архимедова) сила. Структура естественных грунтов характерна разным размером частиц (в диапазоне, определяемом характером грунта), беспорядочной их укладкой, вызывающей образование пор различного размера, различную жесткость скелета, различную степень устойчивости отдельных частиц, нагруженных в разной степени. Поэтому в массиве грунта напряжения от веса вышележащих слоев для разных точек оказываются не одинаковыми, и взвешивающее давление воды, действующее на частицы, зачастую оказывается соизмеримым с действующими напряжениями и является той силой, которая приводит к нарушению устойчивости частиц и их перемещению.

Грунты основания здания Загорской ГАЭС-2 представлены аллювиальными отложениями мелкозернистого песка в берегах и русле реки Куныя. Отмечена высокая пористость грунтов (не менее 30 %) и полное изначальное отсутствие воды в порах [3].

Разрабатывая рекомендации по строительству здания на сухом берегу, проектировщик (НИС Гидропроекта) ориентировался только на несущую способность грунтов, обусловленную трением в массиве грунта ($\text{tg}\varphi = 0,5$). Влияние сил взвешивания при заполнении пор водой не учитывалось. Именно подтопление и силы взвешивания привели к практической потере трения в грунтах и разжижению аллювиального массива.

Как известно, общее сопротивление сдвигу связного грунта определяется законом Кулона – оно складывается из сопротивления трения, пропорционального нормальному напряжению (давлению), плюс сцепление, не зависящее от давления

$$\tau = \sigma \text{tg}\varphi + c,$$

где τ – касательное напряжение в грунтовом массиве, Н/м; σ – нормальное напряжение, Па; φ – угол внутреннего трения, рад; c – сцепление, обусловленное наличием в связных грунтах глинистых фракций, Па.

При подтоплении грунтового массива нормальные напряжения в грунтах снижаются, что приводит к снижению (вплоть до полной потери) трения. Действие сил взвешивания приводит к потере несущей способности грунтов, порой – к их разжижению [4].

Потеря несущей способности при подтоплении грунтов откосов, сложенных из разнородных грунтов, включая каменные обломки, пески и глины, и вызывает оползни и просадки даже в зимний период. Особенно подвержены просадочным деформациям насыпи, при возведении которых в недостаточной степени проведены мероприятия по уплотнению грунтов.

Анализ причин аварий, которые происходят в начальный период эксплуатации или в период наполнения водохранилищ [5], показал, что из 85 случаев аварий в 19 случаях наблюдалось оплывание верхового откоса в сторону верхнего бьефа.

По-видимому, причиной таких оползней являлось подтопление и разжижение грунтов откоса при их водонасыщении.

Литература

1. Уолтхэм, Тони. Катастрофы: неистовая Земля / Тони Уолтхэм. – М.: Недра, 1982. – 60 с.

2. Восстановление Загорской ГАЭС-2. Проект восстановления и научно-техническое сопровождение. Научно-технический отчет: этап 2. // АО ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – СПб., 2016. – 220 с.

3. Колосов, М. А. О причинах просадки основания строящейся Загорской ГАЭС-2 / М. А. Колосов, К. П. Моргунов, П. П. Чинаков // Фундаменты. – 2022. – № 1. – С. 38–39.

4. Колосов, М. А. Исследование влияния подтопления на деформации насыпных сооружений из крупнообломочных материалов: автореф. дис. ...канд. техн. наук / М. А. Колосов; ЛИВТ. – Ленинград, 1974. – 29 с.

5. Ходей, Кодзе. Анализ аварий земляных плотин и методы контроля за фильтрацией / Кодзе Ходей. – Л.: АО ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1982. – 52 с.

УДК 624.157: 626.43

Оценка возможных причин образования и развития трещины в бетоне устоя нижней головы шлюза № 2 Волго-Балтийского водного пути

Моргунов К. П., Колосов М. А.

Государственный университет морского и речного флота
имени адмирала С. О. Макарова

Санкт-Петербург, Российская Федерация

Причинами возникновения и развития трещин в бетоне левого устоя нижней головы шлюза № 2 являются низкое качество бетона, из которого изготовлены конструкции, формирование разуплотненной прослойки грунта в кровле пород основания в результате суффозионных процессов под действием фильтрационного потока грунтовых вод, а также динамические воздействия на грунт во время работы шлюза.

Судоходный шлюз № 2 входит в состав сооружений Белоусовского гидроузла Волго-Балтийского водного пути. Шлюз однокамерный, одно-