

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-

ниточный, расположен в нижнем бьефе гидроузла. Введен в постоянную эксплуатацию 21.11.1963 года. Нижняя голова шлюза – докового типа длиной 34,00 м и шириной 41,20 м. Ее размеры и очертания обусловлены размещением водопроводных галерей опорожнения камеры шлюза и их затворов (на выходе и входе водопроводные галереи разветвляются на два отверстия), а также основных и ремонтных двустворчатых ворот. Помимо шахт, галерей, ниш и пазов в массивах нижней головы для экономии бетона оставлены пустоты, заполненные песком.

В 1985 году в бетоне левого устоя нижней головы шлюза обнаружена трещина. Обследование трещины в 1987 году через шурф, устроенный со стороны верхней грани устоя, показало, что она проходит до глубины 3 м, раскрытие трещины в верхней части 20 мм, на глубине 3 м она имеет волосяной характер – рис. 1. В 1989 году на трещине установлен щелемер, наблюдения за раскрытием трещины в проекции плоскостей X , Y , Z выполняются каждый месяц.

В 2006 году при выполнении работ по замене штрабного бетона на нижней голове шлюза № 2 в бетоне левой верей была обнаружена еще одна трещина. Начало трещины – с напорной стороны у основания пяты ворот в горизонтальном направлении с последующим переходом в вертикальное положение. Раскрытие от 2 до 11 см, направление раскрытия – от верей в сторону ниши ремонтного затвора. Развертка стен левой верей с границами контура трещины приведена на рис. 2.

Помимо этого, фиксировалась активная фильтрация воды из нижнего бьефа во второй выход левой галереи нижней головы шлюза.

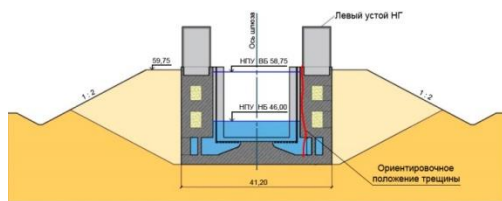


Рис. 1. Поперечный разрез по нижней голове шлюза

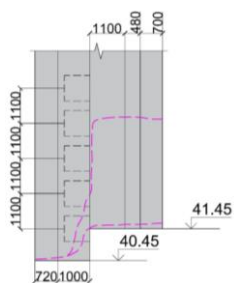


Рис. 2. Развертка стен левой верей с границами контура трещины

Анализ данных показаний приборов, установленных на конструкция нижней головы (прежде всего – осадочных марок), за период 1989–2016 гг.

показывает, что раскрытие трещины вызвано неравномерными осадками грунтов основания нижней головы. Осадки конструкций нижней головы приведены на рис. 3, на котором показаны также номера осадочных марок. Видно, что осадка левого и правого устоев имеет разнонаправленный характер: левый устой – юго-восток; правый устой – северо-запад. График осадок по маркам 120 и 121 приведен на рис. 4.

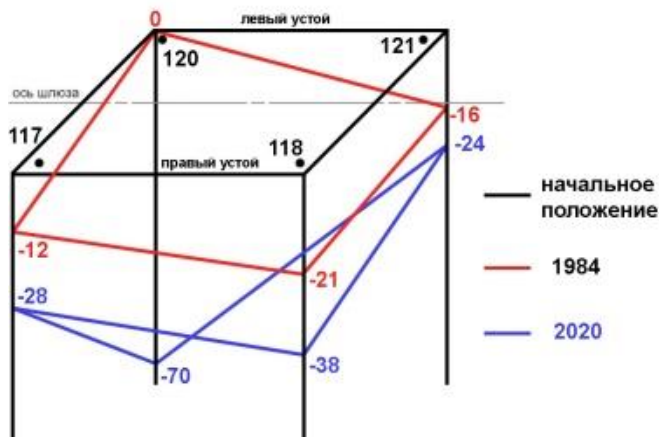


Рис. 3. Осадки нижней головы

В 1990 г. были выполнены работы по закреплению трещины в левом устое металлическими анкерными тягами, проложенными по дну кабельного канала. С 1991 по 2003 год проводились работы по цементации грунтов основания левого устоя нижней головы. Однако закрепления грунтов основания не произошло, осадки и перемещения устоя продолжились. Помимо цементации основания в период с 1975 по 2002 год проведено 38 циклов работ по цементации бетона устоев нижней головы, включая потолок и стены водопроводных галерей. В 2010 году выполнены работы по анкеровке левого устоя нижней головы шлюза, но раскрытие трещины продолжилось – рис. 5.

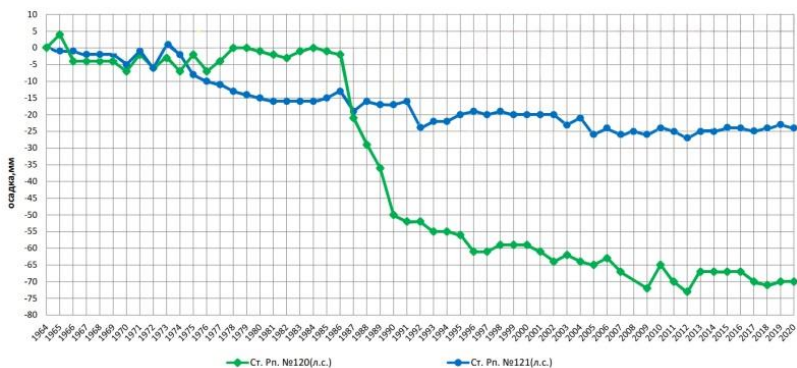


Рис. 4. Осадки левого устья нижней головы

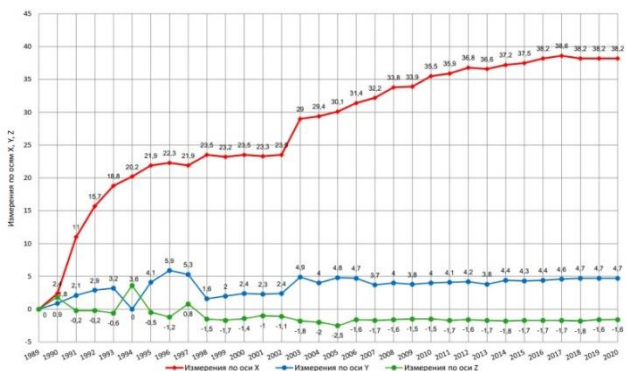


Рис. 5. Изменение размеров трещины в левом устье нижней головы

В 2019 году выполнены работы по устранению фильтрации из нижнего бьефа в левую галерею с использованием двухкомпонентной полиуретановой смолы MasterRok MP355 Thix. Активные очаги фильтрации были устранены, однако намокание бетона стен продолжается.

Таким образом, выполненные работы не привели к прекращению развития трещин в левом устье и левой водопроводной галерее нижней головы.

Анализ причин возникновения и развития трещин свидетельствует о следующем. С одной стороны, отметим, что бетон нижней головы имеет весьма разнородную структуру, что подтверждено исследованиями [1]. В бетоне имеются участки неплотного трещиноватого бетона, а также зоны высокопористого (непробириванного) бетона. Выход кернов составил

около 65–70 %, однако в некоторых скважинах он был 30 %. В ходе выбуривания некоторые части кернов рассыпались на мелкие фрагменты, не связанные растворной составляющей. Зафиксирован существенный размах значений по прочности отбираемых образцов, коэффициент вариации прочности бетона по нижней голове составил 26,5 %, а в соответствии с нормами предельный коэффициент вариации для массивных гидротехнических конструкций не должен превышать 20 % [2].

С другой стороны, существенную роль играют фильтрационные потоки в грунтах основания шлюза и конкретно – под нижней головой. Участок шлюза № 2 в соответствии с СП-11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства» по подтопляемости характеризуется как постоянно подтопленный в естественных условиях. Еще в период строительства шлюза при выполнении земляных работ по устройству котлована значительные усилия были приложены для организации специальных работ по водопонижению и водоотливу. Из-за переуглубления котлована под основанием нижней головы на разжиженный грунт (суглинки) были отсыпаны флювиогляциальные пески мощностью 1,0–1,5 м. При проведении гидрогеологических и геофизических исследований грунтов, расположенных непосредственно под шлюзом № 2 и на сопредельных территориях, отмечено наличие нескольких водоносных горизонтов. Создание напорного фронта с перепадом уровней 12,75 м при НПУ, Белоусовского водохранилища и подъем уровня грунтовых вод в районе шлюза – все это способствовало формированию в грунтах основания фильтрационных потоков со значительными градиентами напора.

В период эксплуатации гидроузла начался фильтрационный вынос мелких частиц глинистых грунтов основания нижней головы, а также суффозионный вынос мелких фракций из песчаных грунтов. Подтверждением этого является изменение гранулометрического состава пылеватых и мелких песков, которыми сложены инженерно-геологические элементы основания ИГЭ1, ИГЭ2 и ИГЭ4 – пески пылеватые и мелкие (табл.).

Таблица

Процентное содержание частиц в грунте

	0,25–0,1	Менее	0,25–0,1	Менее	0,25–0,1	Менее
	мм	0,1 мм	мм	0,1 мм	мм	0,1 мм
	ИГЭ1		ИГЭ2		ИГЭ4	
2005	49,5	45,1	48,4	45,8		
2013	53,3	38,4	57,9	36,15	54,62	39,82
2020	50	26,7	52,1	35,1	59,0	15,6

Очевидна тенденция вымывания мелких частиц (менее 0,1 мм) и увеличение доли относительно крупных частиц. При этом следует обратить внимание на то, что с момента создания напорного фронта (строительства гидроузла) пошло более 50 лет. Это свидетельствует о том, что суффозионные процессы в песчаных слоях грунта продолжаются.

Таким образом, наличие фильтрационного потока в грунте основания шлюза, который имеет направление от верхнего бьефа гидроузла к нижнему, а также к руслу р. Вытегра, привело к появлению разуплотненной прослойки грунта в кровле пород основания нижней головы. Об этом свидетельствует и то, что при бурении скважин через пол левой галереи в 5 случаях из 16 был зафиксирован «провал» буровой штанги, при этом происходил вынос из скважин песка [2]. Вынос песка происходил и из других скважин, все это свидетельствует о наличии в грунтах основания устоя весьма водонасыщенного, «разжиженного» песка.

Помимо фильтрационного потока на характеристики грунтов оказывала динамическое воздействие и работа шлюза (заполнение-опорожнение камеры шлюза, работа механизмов рабочих ворот). В результате сформировалась разуплотненная прослойка грунта в кровле пород основания нижней головы.

Такое ослабление несущих свойств грунтов основания привело к разнонаправленным осадкам и перемещениям левого и правого устоев нижней головы шлюза. Что в сочетании с низким качеством бетона привело к возникновению трещин в бетонных конструкциях. Как уже отмечено, попытки цементации грунтов не привели к их укреплению. Поскольку причины возникновения трещин не устранены, они продолжают развиваться.

Литература

1. Проведение исследовательских работ по выяснению причин образования и развития трещин в устоях нижних голов шлюзов №№ 2, 3, 4 ФБУ «Администрация «Волго-Балт» и разработка научно-обоснованных рекомендаций по восстановлению несущей способности бетонных конструкций нижних голов шлюзов: отчет о НИР (промежуточный), этап I // АО «Акватик». – 2020. – 310 стр.

2. Проведение исследовательских работ по выяснению причин образования и развития трещин в устоях нижних голов шлюзов №№ 2, 3, 4 ФБУ «Администрация «Волго-Балт» и разработка научно-обоснованных рекомендаций по восстановлению несущей способности бетонных конструкций нижних голов шлюзов: отчет о НИР (промежуточный) // ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. – 2021. – 54 стр.