

АНАЛИЗ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО НАВОДНЕНИЯ В КРЫМСКЕ

Мельникова О.Н.¹, Показеев К.В.¹, Рождественский А.Е.²

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, ²ООО «Физико-техническая корпорация национальной резервной системы», Россия

Максимальный расход воды, прошедший 7 июля по р. Адагум через Крымск, составил около $1500\text{ м}^3/\text{с}$, что приблизительно соответствует объему воды, выпавшему с осадками в водосборе бассейна реки в течение 4 часов. Основные разрушения городу нанес вал воды высотой около 3 м. пробежавший ночью по руслу реки на склонах гор. Разрушения в городе были отмечены на перепадах высот вдоль русла реки, а на других склонах их не было. Источником залпового расхода воды, породившего вал, мог быть сброс воды из Неберджаевского водохранилища, расположенного в горах над городом, в реку Неберджай, которая впадает в р. Адагум. В этом случае на выходе водосброса может образоваться вертикальный вал воды, как в головной волне, возникающей при прорыве плотины и бегущий с большой скоростью вдоль русла реки иногда на сотни километров. Поваленные деревья и выбитая заградительная решетка на выходе шахты водосброса Неберджаевского водохранилища свидетельствует о проходе разрушающего вала. При катастрофическом стоке воды в водохранилище с окрестных склонов (площадь водосбора превышает площадь водного зеркала не менее чем в 10 раз) во время экстремальных ливней уровень воды в водохранилище примерно за 30 минут поднялся на 2-3 метра. Водохранилище не имеет шлюзов, но имеется водосброс в виде вертикальной шахты радиусом $R = 5,3\text{ м}$. Верхний торец шахты на три метра ниже верхней отметки земляной плотины, высота шахты $L = 27\text{ м}$. Нижний торец соединен с горизонтальным тоннелем длиной 145м, диаметром 4,5м, который выходит в русло реки. Максимальное превышение уровня воды над трубой z определяется высотой плотины и составляет 3м ($z/2R=0,28$). По результатам обследования плотины в ночь наводнения уровень воды достиг максимальной отметки, шахта была полностью заполнена водой, а на поверхности воды наблюдалась воронка. В обычном режиме вода в водохранилище находится либо ниже уровня шахты, либо стекает по стенкам в виде пленки. Максимальный расход в этом режиме не превышает $30\text{ м}^3/\text{с}$. Для того чтобы выяснить, могло ли заполнение трубы водосброса привести к скачку расхода воды более чем на порядок, надо оценить зависимость расхода воды через водосброс от уровня воды над ним. Для приблизительной верхней оценки расхода воды Q по трубе, полностью заполненной водой, можно использовать формулу Торричелли, справедливую для стационарного течения идеальной жидкости при постоянном уровне воды в водохранилище:

$$u=\sqrt{2g(L+z)}, Q=\pi R^2u \quad (1)$$

где u - скорость воды на выходе трубы, g - ускорение силы тяжести. Расчет по (1) дает $Q=2243\text{м}^3/\text{с}$. Эта оценка очень завышена, так как превышает расход воды, прошедший через Крымск ($1500\text{м}^3/\text{с}$). Для получения реальной оценки надо решать задачу с переменным уровнем и учетом потерь на трение в шахте водосброса. Необходимо оценить расход воды через водосброс для двух режимов - при заполненной трубе и при стоке по стенкам трубы, особенности перехода одного режима в другой при изменении высоты уровня воды над трубой. Задача решалась аналитически, проверка результатов решения проведена в лабораторном эксперименте. В работе получено аналитическое решение нестационарной задачи слива воды из широкого резервуара через трубу, высота которой сопоставима с глубиной водохранилища. Проверка показала, что результаты решения согласуются с экспериментальными данными. Расчеты, сделанные для Неберджаевского водохранилища, подтверждают сделанное предположение о катастрофическом увеличении расхода воды при заполнении водохранилища и трубы водосброса. Анализ полученных экспериментальных данных показали, что при полном заполнении водохранилища устанавливается промежуточный режим стока воды по трубе с образованием характерной воронки на поверхности воды. Такому режиму соответствует расход воды через вертикальную трубу примерно $900\text{м}^3/\text{с}$. Независимая оценка пикового расхода р. Неберджай ниже плотины составляет около $800\text{м}^3/\text{с}$, что согласуется с нашими оценками и экспериментом. «Мгновенный» скачок расхода воды в сливной системе Неберджаевского водохранилища до $900\text{м}^3/\text{с}$, по видимому, привел к формированию разрушающего вала воды, прошедшего через г. Крымск. Такой же «мгновенный» обратный переход слива в водохранилище в спокойный режим после снижения уровня, определяемый периметром (а не площадью) сливной воронки, сделал явление скачкообразного сброса воды в ночное время не наблюдаемым.