

Д. В. Бакланова (ФГБНУ «РосНИИПМ»)

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА КРУПНЫХ КАНАЛАХ

В статье указаны возможные аварийные ситуации на крупных каналах, а также факторы, влияющие на их возникновение. Выделены два наиболее опасных сценария развития аварий и рассмотрены существующие методы моделирования каждого из этих процессов.

Ключевые слова: аварии, каналы, моделирование, проран, фильтрация.

D. V. Baklanova

FACTORS INFLUENCING ON OCCURRENCE OF EMERGENCIES ON LARGE CHANNELS

Possible emergency situations on large channels as well as factors influencing on their occurrence are shown in the article. Two of the most dangerous scenarios of accidents are selected; existing methods for modeling each of these processes are reviewed.

Keywords: accident, channels, modeling, closure channel, filtering.

Увеличение количества аварий ГТС и значительно возросшая вероятность аварии отечественных напорных гидротехнических сооружений требуют разработки механизма получения обоснованных оценок и критериев безопасности таких объектов с учетом всей совокупности социально-экономических факторов, в том числе вероятности и последствий возможных аварий.

В настоящее время средний возраст каналов и сооружений на них составляет 40-50 и более лет. Ввиду длительного срока работы, многие каналы мелиоративного назначения требуют реконструкции, ремонта и модернизации. Низкое техническое состояние объясняется, в основном, нарушением системы технического обслуживания и ремонта сооружений, в результате чего появилась высокая вероятность чрезвычайных ситуаций (подтопление и заболачивание территории, прорыв бортов канала и т.д.).

Возможные аварийные ситуации на каналах можно отнести к трем группам:

- аварии, вызванные воздействием гидравлических факторов движущегося потока воды;
- аварии, вызванные фильтрационными процессами;
- аварии, вызванные оползневыми явлениями.

Анализ показывает, что аварии могут быть вызваны следующими причинами:

- эксплуатация каналов с нарушением технологических режимов (высокая скорость снижения или подъема уровня воды, неустановившиеся режимы течения с образованием волн попуска и т.д.);

- скорости течения, приводящие к заилению русла наносами или к его размыву;

- нарушение статической устойчивости грунтовых откосов каналов;

- значительная фильтрация через дамбы каналов (появление свободных ходов фильтрации);

- увеличение коэффициента шероховатости русла ведущее к снижению пропускной способности каналов (зарастание русла водной растительностью);

- деформация русел каналов при эксплуатации (размывы откосов и дна);

- подмывы бортов каналов течением и действием ветровых волн;

- несвоевременный уход за земляными руслами каналов (очистка от наносов, скашивание растительности, подсыпка берм и откосов);

- несвоевременный ремонт гидротехнических сооружений;

- повреждения тела дамбы (суффозия, размывы откосов и т.д.);

- перелив через гребень дамбы при авариях на гидротехнических сооружениях.

При аварии на каналах, особенно проходящих в насыпях, наиболее опасным последствием является возникновение прорана и затопление прилегающей территории. Это может привести к большим экономическим,

экологическим и социальным последствиям. В 1997 году вступил в силу закон «О безопасности гидротехнических сооружений», в соответствии с которым собственники (эксплуатирующие организации) потенциально опасных (создающих напорный фронт) гидротехнических сооружений, к которым относятся и крупные каналы, обязаны представлять декларации безопасности [1].

На основании анализа причин, вызывающих аварии, могут быть выделены два основных сценария – перелив воды через гребень дамбы канала с образованием прорана и возникновение фильтрационных деформаций в теле дамбы. Рассмотрим вопросы моделирования каждого из этих сценариев.

Моделирование возникновения и развития прорана – сложная многофакторная задача. На ход аварии влияют вызвавшие ее первоначальные нарушения, особенности конструкции дамб, геологические условия района, метеорологические факторы, топография района [2].

В настоящее время имеются более или менее надежные методы расчета только интегральных характеристик прорана – суммарного объема выноса грунта, конечной ширины прорана, максимального расхода излива, полного времени стабилизации процесса.

Несмотря на необходимость точного прогнозирования возникновения и развития данного процесса, надежных методов расчета в настоящее время не существует [3]. Предложенные модели развития прорана обычно состоят из зависимости для определения его пропускной способности, уравнения неразрывности потока, зависимости интенсивности выноса грунта из тела плотины от гидравлических и геометрических параметров.

Существующие модели отличаются, главным образом, описанием интенсивности выноса грунта или скорости увеличения размеров прорана. Сопоставление результатов расчетов, приведенных в литературных источ-

никах с использованием имеющихся зависимостей, дают большие расхождения, свидетельствующих о несовершенстве предлагаемых моделей.

В научно-технической литературе имеется ряд попыток получить зависимости для интегральных характеристик проранов на основании статистической обработки данных о произошедших прорывах дамб. Ряд исследователей ставят эти характеристики в зависимости от «фактора формирования прорана» – комплекса, $W_{\text{изл}} \cdot h_0$, где $W_{\text{изл}}$ – объем излившейся воды, h_0 – начальный перепад уровней воды.

Выполненная К. Р. Пономарчук статистическая обработка данных привела к следующим зависимостям:

$$Q_{\text{max}} = 1,29 \cdot (W_{\text{изл}} \cdot h_0)^{0,43},$$

$$W_{\text{вын}} = 0,05 \cdot (W_{\text{изл}} \cdot h_0)^{0,72},$$

$$T_{\text{max}} = 6,8 \cdot (W_{\text{изл}} \cdot h_0)^{0,36},$$

где Q_{max} – максимальный расход в процессе излива, м/с;

$W_{\text{вын}}$ – суммарный объем вынесенного грунта, м³;

T_{max} – полное время развития прорана, с.

К сожалению, расчеты по интегральным зависимостям не дают представления о механизме развития проранов во времени, что является их главным недостатком.

Изучением параметров волн прорыва на средне- и низконапорных гидроузлах занималась И. А. Секисова: полученная в результате использования основных принципов метода планирования эксперимента, эмпирическая зависимость имеет вид:

$$h_{\text{max}} = 2,51 \frac{H_0^{0,98} \cdot n_0^{0,02} \cdot Q_0^{0,05}}{W_{\text{вод}}^{0,05} \cdot x_0^{0,13}},$$

где H_0 – глубина у плотины до начала аварии;

n_0 – шероховатость русла верхнего бьефа;

Q_0 – расход воды в нижнем бьефе гидроузла до начала аварии;

$W_{\text{вод}}$ – объем водохранилища до начала аварии;

x_0 – расстояние от створа плотины до створа наблюдения.

Указанное уравнение применимо лишь к низконапорным узлам водохранилищ при отсутствии подпора нижерасположенных ГТС.

Математическая модель, предложенная А. М. Прудовским, основана на анализе систематического экспериментального исследования. Эмпирическая зависимость, полученная при относительно небольшом диапазоне изменения величины h_t , имеет следующий вид:

$$\left(\frac{dB_{\text{пр}}}{dt} \right)_t \cong \frac{A \cdot \sqrt{g}}{w_{\text{уд}}} \cdot h_t^{5/2},$$

где t – текущее время формирования прорана, с;

$$A \cong 0,02;$$

$w_{\text{уд}}$ – площадь поперечного сечения дамбы между ее гребнем и дном прорана, м^2 ;

h_t – разность между уровнем воды в ВБ и отметкой дна прорана, м.

Тот факт, что данная зависимость получена для весьма ограниченного диапазона изменения факторов, требует ее уточнения.

Ц. Е. Мирцхулава в своей работе учел множество факторов, влияющих на надежность канала, и представил их в виде многопараметрической функции, которая имеет такой вид [4]:

$$\omega(\tau) = f[\omega_{\text{г}}(\tau), \omega_{\text{рз}}(\tau), \omega_{\text{кн}}(\tau), \omega_{\text{гт}}(\tau), \omega_{\text{кл}}(\tau), \omega_{\text{э}}(\tau), \omega_{\text{н}}(\tau)],$$

где $\omega_{\text{г}}(\tau)$ – обобщенный параметр гидравлических условий канала;

$\omega_{\text{рз}}(\tau)$ – обобщенный параметр условий размыва и заиления;

$\omega_{\text{кн}}(\tau)$ – обобщенный параметр конструктивной надежности;

$\omega_{\text{гт}}(\tau)$ – обобщенный параметр геологических и геотехнических условий;

$\omega_{\text{кл}}(\tau)$ – обобщенный параметр климатических условий;

$\omega_{\text{э}}(\tau)$ – обобщенный параметр условий эксплуатации канала;

$\omega_{\text{н}}(\tau)$ – обобщенный параметр неучтенных факторов.

Риск разрушения дамбы вследствие фильтрационных процессов может наблюдаться при появлении суффозии (механической и химической) грунта тела и основания, когда градиенты напора (средние и местные) превышают допустимые (критические), а также при превышении фильтрационных расходов в теле и основании канала расчетных значений, повышении кривой депрессии в теле дамбы выше расчетной.

Для изучения процесса возникновения и развития фильтрационных деформаций необходимо построение математической модели, которая будет учитывать механическую и химическую суффозию, особенности основания каналов, размыв грунта и т.д.

В работе Э. В. Запорожченко рассмотрены случаи опасных фильтрационных деформаций в виде карстово-суффозионных явлений при строительстве и эксплуатации БСК-1. Автор указывает на наличие интенсивной механической суффозии (выноса грунта) еще на начальной стадии замочки канала. Во время замочки на канале наблюдалась серия водоворотов и интенсивная утечка, были обнаружены трещины, переходящие в воронки диаметром до 1,3 м [5].

Изучением химической суффозии (рисунок 1) занимались Ф. М. Бочев, А. Е. Орадовская, Н. Н. Веригин, Б. С. Шержуков, А. Г. Баламерзоев и др.

Как указывает Н. Н. Веригин, приведенная выше зависимость была подвергнута экспериментальной проверке А. Е. Орадовской, которая показала совпадение теоретических расчетов с данными опытов.

Однако решение уравнения конвективной диффузии достигается при определенных допущениях, что в определенной мере влияет на результат.

Из выше изложенного следует, что большинство исследователей занимались разработкой математических моделей развития прорана и фильтрационных деформаций на основе статистических и экспериментальных данных. Большинство исследований проводилось для плотин низконапорных гидроузлов малых водохранилищ, дамб золошлакоотвалов. В настоящее время требуется разработка и обоснование математических моделей расчета проранов и фильтрационных деформаций для крупных каналов, которые учитывали бы все особенности режима работы этих сооружений.

Список использованных источников

1 О безопасности гидротехнических сооружений: Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ: по состоянию на 27 декабря 2009 г. // Гарант Эксперт 2011 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2011.

2 Каганов, Г. М. Приближенная оценка глубины затопления территории в нижнем бьефе при прорыве напорного фронта низконапорных гидроузлов / Г. М. Каганов, В. И. Волков, И. А. Секисова / Гидротехническое строительство. – 2010. – № 4. – С. 22.

3 Пономарчук, К. Р. Разработка методики оценки параметров процесса формирования проранов при прорывах грунтовых плотин: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 22.01.02 / Пономарчук Карина Рюриковна. – М., 2001. – 23 с.

4 Мирцхулава, Ц. Е. О надежности крупных каналов / Ц. Е. Мирцху-

лава. – М.: Колос, 1981. – 318 с.

5 Запороженко, Э. В. Инженерно-геологический опыт проектирования, строительства и эксплуатации первой очереди Большого Ставропольского канала / Э. В. Запороженко. – Ставрополь: Ставропольское книжное издательство, 1974. – 78 с.