

присоединяемых территориях с состоянием напорных гидротехнических сооружений старой Москвы показывает их большую общность с той особенностью, что большая часть средств, вкладываемых в ремонт сооружений Москвы, идет не на гидротехнические сооружения, а на благоустройство территории в зоне водоемов.

Для решения различных задач безопасности гидротехнических сооружений во всей создаваемой агломерации необходима безотлагательная разработка комплекса мероприятий, которые явились бы составной частью программы «Безопасность гидротехнических сооружений города Москвы».

1. Каганов Г. М., Волков В. И., Секисова И. А. Анализ состояния низконапорных гидротехнических сооружений Российской Федерации на примере обследования гидроузлов Московской области // Гидротехническое строительство. – 2008. – № 8. – С. 26–37.

2. Каганов Г. М., Волков В. И. К оценке состояния низконапорных гидротехнических сооружений при отсутствии проектной документации // Природообустройство. – 2008. – № 3. – С. 41–48.

3. Каганов Г. М., Волков В. И. Состояние гидротехнических сооружений каскада на реке Соловке Подольского района Московской области: Природообустройство и рациональное природопользование – необходимые условия социально-экономического развития России: сб. науч. трудов. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2005. – Ч. 1. – С. 24–30.

4. Каганов Г. М., Волков В. И., Черных О. Н., Алтунин В. И. Состояние отдельных каскадных гидроузлов на реках города Москвы // Природообустройство. – 2009. – № 5. – С. 54–60.

5. Каганов Г. М., Волков В. И., Черных О. Н., Алтунин В. И. Проблемы систематизации сведений по ГТС на малых водных объектах Москвы с целью их инвентаризации // Природообустройство. – 2012. – № 2. – С. 33–38.

Материал поступил в редакцию 18.06.12.

**Волков Владимир Иванович**, кандидат технических наук, профессор  
Тел. 8 (499) 153-86-48

E-mail: [volcov\\_vi45@mail.ru](mailto:volcov_vi45@mail.ru)

**Каганов Григорий Михайлович**, доктор технических наук, профессор

Тел. 8 (499) 153-86-48

E-mail: [volkag@yandex.ru](mailto:volkag@yandex.ru)

УДК 502/504:626.823:532.546.001.2

**Д. В. БАКЛАНОВА**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

## РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ УЧАСТКОВ КРУПНОГО КАНАЛА ОТ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

*Предложены расчетные зависимости для определения вероятности разрушения участков крупных каналов в насыпи и на косогоре вследствие фильтрационных воздействий. Предложенная методика определения риска аварии заключается в сравнении действующих градиентов напора в теле и основании дамбы и риска разрушения дамбы канала в насыпи и на косогоре вследствие фильтрационных воздействий.*

*Канал, дамба, насыпь, фильтрация, риск, авария, сосредоточенный ход, градиент напора, зависимость.*

*There are proposed calculated dependences for the probability determination of destruction of the parts of large canals in fill and on hillside as a result of filtration impacts. The proposed method of defining the risk of the accident is based on comparison of the active head gradients in the body and base of the dam and risk of destruction of the canal dam in fill and on hillside as a result of filtration impacts.*

*Canal, dam, bank, filtration, risk, accident, concentrated pass, head gradient, dependence.*

При эксплуатации крупных каналов на потенциально опасных участках, проходящих в насыпи, на косогоре, в неустойчивых грунтах (просадочных, карстово-суффозионных), часто возникают различные негативные процессы, связанные с прорывом дамб, образованием суффозии и сосредоточенных ходов фильтрации в дамбах каналов, со значительными размывами их русел, оползнями [1–3]. Эти нежелательные явления приводят к

нарушению безопасности работы каналов и к невозможности их дальнейшей эксплуатации.

Возможные сценарии аварийных ситуаций на каналах можно систематизировать, разделив их на два уровня (рис. 1). На первом уровне выделяют три группы сценариев, основанных на воздействии гидравлических, фильтрационных и оползневых процессов, на втором уровне – конкретные сценарии разрушения каналов.



Рис. 1. Сценарии аварийных ситуаций на каналах

Исследования, проведенные на ряде крупных каналов, показывают, что аварии, связанные с переливом воды через бровки канала, наблюдались на косогорах первой очереди Большого Ставропольского канала, в Армении – на Малом Октемберянском магистральном канале [4]. Интенсивным обрушениям и оползням подвергались русла Донского и Пролетарского магистральных каналов, а также канала «Иртыш – Караганда» [1].

В соответствии со сценариями, представленными на рис. 1, крупные каналы в земляных руслах являются потенциально опасными объектами с точки зрения развития неблагоприятных фильтрационных процессов в их дамбах. В опубликованных работах по исследованиям крупных каналов В. С. Алтунина, Ю. М. Косиченко, Ц. Е. Мирцхулавы, М. Н. Терлецкой, Э. В. Запороженченко отмечается существенное влияние фильтрации из каналов на надежность их дамб и русел [1–5]. В ряде случаев разрушения каналов вследствие фильтрации оказывались настолько значительными, что приводили к прорыву дамб, образованию

суффозионных и карстовых воронок в руслах.

К наиболее опасным участкам каналов с точки зрения возникновения аварийных ситуаций по причине фильтрации относятся участки в насыпи и на косогоре, где, как правило, уровень воды значительно превышает отметки прилегающей территории. В результате в дамбе канала могут образовываться опасные фильтрационные деформации в виде сосредоточенных ходов фильтрации, суффозии или выпора в зоне выхода потока на низовой откос или основание дамбы.

В качестве примеров разрушений опасных участков крупных каналов от фильтрационных воздействий можно выделить участки в насыпи первой очереди Большого Ставропольского канала (БСК-1) общей протяженностью около 5000 м, где неоднократно наблюдались разрушения внутренних бортов канала, с образованием подсечек и размывов размером до 1,5 м, появлялись выходы фильтрационных вод на внешних откосах дамб [2, 5]. На Право-Егорлыкском канале, который проходит через многочисленные балки, имеются участки в насыпи и

на косогоре общей протяженностью 7300 и 2400 м соответственно. На отдельных участках Северо-Крымского канала наблюдаются продольные и поперечные просадки, трещины и интенсивная фильтрация через дамбы, вызвавшая их прорывы.

Основными задачами исследований, проведенных автором, были следующие:

разработка усовершенствованного метода расчета фильтрации через дамбу канала в насыпи и на косогоре (как наиболее опасных случаев), который учитывал бы все особенности работы этих сооружений;

получение необходимых расчетных формул для определения фильтрационной прочности грунта тела и основания дамбы канала;

разработка методики оценки вероятности возникновения (риска) аварийных ситуаций на каналах вследствие фильтрационных процессов.

Для определения вероятного риска аварии участка в насыпи крупного канала воспользуемся известными решениями для однородных грунтовых плотин, полученных для случая водонепроницаемого основания [6]. В отличие от этих решений применительно к каналам в насыпи найдены необходимые расчетные формулы для водопроницаемого основания дамбы канала с ограниченной шириной верхнего бьефа, равной половине ширины канала по дну  $b/2$  (рис. 2). При этом из-за значительной мощности грунта между дном канала и основанием дамбы учитывалось дополнительное фильтрационное сопротивление под дном канала  $\Delta L_K$ .

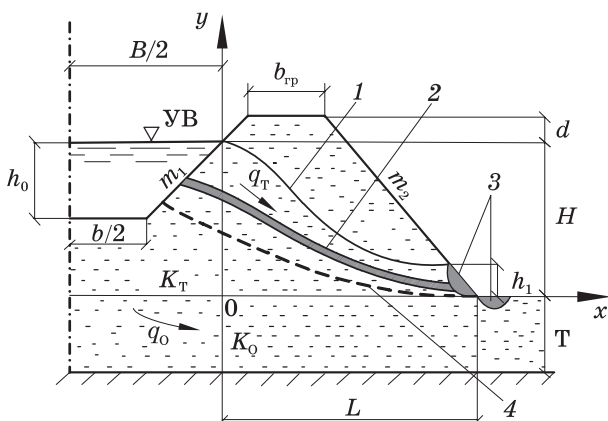


Рис. 2. Расчетная схема крупного канала в насыпи: 1 – кривая депрессии; 2 – вероятный сосредоточенный ход фильтрации в дамбе канала; 3 – вероятные зоны местных фильтрационных деформаций; 4 – линия разделения фильтрационного потока

Удельные расходы фильтрационного потока через тело и основание дамбы канала, с учетом дополнительного фильтрационного сопротивления под дном дамбы канала, определяются по следующим формулам:

$$q_T = K_T \frac{H^2 - h_1^2}{2(L_p - m_2 h_1) + \Delta L_K};$$

$$q_0 = K_0 T \frac{H}{(H - h_0) \frac{K_0}{K_T} \Phi_1' + 0,88T + L_0},$$

где  $\Delta L_K = (H - h_0) \Phi_1$ ;  $\Phi_1 = \frac{2}{\pi} \ln \frac{4(H - h_0)}{\pi b/2}$ ;  $q_T$ ,  $q_0$  – удельный расход фильтрационного потока соответственно через тело и основание дамбы канала;  $H$  – действующий напор;  $m_2$  – коэффициент заложения низового откоса;  $\Delta L_K$  – дополнительное фильтрационное сопротивление под дном канала;  $K_T$ ,  $K_0$  – коэффициенты фильтрации грунта тела и основания дамбы канала соответственно;  $T$  – мощность водопроницаемого основания;  $L_p$ ,  $L_0$  – соответственно ширина эквивалентного профиля и условная ширина дамбы по основанию;  $\alpha = 20^\circ$  – глубина воды в канале;  $h_1$  – высота выхода депрессионной кривой на низовой откос;  $\Phi_1$  – фильтрационное сопротивление в безразмерной форме.

Общий удельный фильтрационный расход из канала в насыпи составит:

$$q = 2(q_T + q_0).$$

Действующий средний градиент напора в теле дамбы канала, по Р. Р. Чугаеву, будет равен [7]:

$$J_{est,m}^T = \frac{H}{L + 0,4H},$$

где  $L$  – длина участка дамбы от уреза воды до сопряжения низового откоса с нижерасположенной территорией.

Действующий средний градиент напора в основании дамбы можно определить по следующей зависимости:

$$J_{est,m}^T = \frac{H}{(H - h_0) \frac{K_0}{K_T} \Phi_1' + 0,88T + L_0},$$

где  $\Phi_1'$  – дополнительное фильтрационное сопротивление под дном канала.

Максимальный местный градиент напора при выходе потока на низовой откос находим так:

$$J_{est,max}^T = \frac{\sqrt{H^2 - \frac{2q_T}{K_T} (L - m_2 h_1 - \Delta x_{вых})}}{\Delta x_{вых}},$$

где  $\Delta x_{вых}$  – расстояние по оси OX при выходе фильтрационного потока на низовой откос, принимаемое равным  $(0,05 - 0,10)L$ .

Величину общего риска разрушения дамбы канала, а также рисков тела и основания дамбы вследствие фильтрационных процессов определяем по следующей формуле:

$$\lambda = \lambda_T + \lambda_O; \lambda_T = \frac{\gamma_n}{K_{H_{J_{est,m}}^{rap}}} \cdot \lambda_n; \lambda_O = \frac{\gamma_n}{K_{H_{J_{est,m}}^{rap}}} \lambda_n,$$

где  $\gamma_n$  – коэффициент надежности;  $\lambda$  – нормативный риск, определяемый в зависимости от класса сооружения для основного вида нагрузок по [8];  $K_{H_{J_{est,m}}^{rap}}$  и  $K_{H_{J_{est,m}}^{rap}}$  – гарантированный коэффициент надежности для тела и основания дамбы;

$$K_{H_{J_{est,m}}^{rap}} = \frac{J_{cr,m}^T - m_{J_{est,m}}^T}{J_{est,m}^T + m_{J_{est,m}}^T};$$

$$K_{H_{J_{est,m}}^{rap}} = \frac{J_{cr,m}^O - m_{J_{est,m}}^O}{J_{est,m}^O + m_{J_{est,m}}^O};$$

$$m_{J_{est,m}} = \sigma_{J_{est,m}} t_\alpha; m_{J_{est,m}} = \sigma_{J_{est,m}} t_\alpha,$$

где  $\sigma_{J_{est,m}}$ ,  $\sigma_{J_{est,m}}$  – среднеквадратическое отклонение соответственно критического и среднего градиентов;  $t_\alpha$  – коэффициент Стьюдента.

Фильтрация из канала на косогоре с водопроницаемым основанием мощностью  $T$  будет происходить в основном через нижнюю однобортную дамбу и ее основание, имеющее наклон поверхности под углом  $\alpha$  (рис. 3). Величиной фильтрации через верхнюю дамбу, как правило, малой высоты, из-за наклона поверхности косогора можно пренебречь.

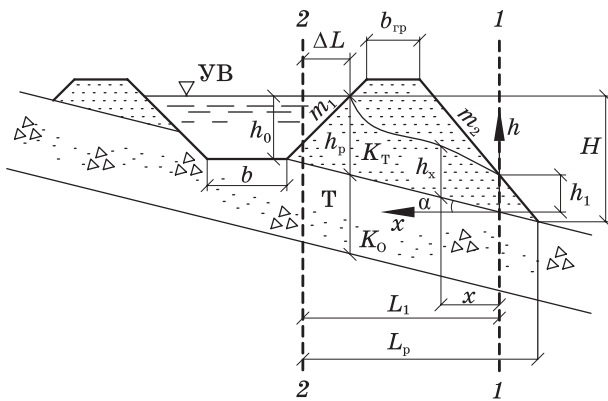


Рис. 3. Расчетная схема канала на косогоре

Для расчета фильтрации в теле и основании дамбы используем приближенное решение В. П. Недриги для двух фрагментов, разделенных сечением 1-1. Сечение 2-2 принимается на расстоянии  $\Delta L$  от уреза воды [6].

Суммарный удельный фильтрационный расход через тело и основание дамбы канала на косогоре определяем по

следующим формулам:

$$q_T = K_T \left( \frac{h_p^2 - h_1^2}{2L_1} + i \frac{h_p + h_1}{2} + \right. \tag{1}$$

$$\left. + T \frac{K_O}{K_T} \cdot \frac{h_p + iL_1 - h_1}{L_1 + \Delta L K} \right) \cos \alpha;$$

$$q_O = Ah_1 + K_O T \left( i + \frac{h_1}{Bh_1 + D} \right), \tag{2}$$

где  $h_p$  – расстояние от уреза воды до подошвы дамбы;  $L_1 = L_p - \frac{m_2}{1 - im_2} h_p$ ;  $i = \tan \alpha$ ;  $L_p = \Delta L + L$ ;  $\Delta L = \frac{m_1}{1 + 2m_1} h_p$ ;

$$\Delta L_K = h_0 \Phi_1; \quad \Phi_1 = \frac{2}{\pi} \ln \frac{4h_0}{b}; \quad A = K_T (i + \tan \beta);$$

$$B = \frac{m_2}{(1 - im_2) \cos \alpha} + \sin \alpha; D = T(0,5 - \tan \alpha); \beta = \arctg \left( \frac{1}{m_2} \right) - \alpha.$$

Решение двух уравнений (1) и (2) находим путем подбора или графически путем пересечения двух кривых, вычисляемых при различных значениях  $h_1$ .

Отличием данных формул от известного решения В. П. Недриги является то, что в уравнении (1) учитывается дополнительное фильтрационное сопротивление канала  $\Delta L_K$ .

В случае водонепроницаемого основания под дамбой канала, когда грунты основания представляют маловодонепроницаемые глинистые грунты или скальные нетрещиноватые породы, расчетные формулы будут иметь следующий вид:

$$q_T = K_T \left( \frac{h_p^2 - h_1^2}{2L_1} + i \frac{h_p + h_1}{2} \right) \cos \alpha.$$

Действующий средний градиент напора в теле дамбы для оценки возможности образования общих фильтрационных деформаций в виде сосредоточенных ходов фильтрации найдем по формуле Р. Р. Чугаева [7]:

$$J_{est,m}^T = \frac{H}{L_p - \Delta L + 0,4H},$$

где  $H = h_p + i(L_p - \Delta L)$ .

Действующий средний градиент напора в основании дамбы канала можно найти по формуле с учетом дополнительных фильтрационных сопротивлений канала ограниченной ширины  $b$ :

$$J_{est,m}^O = \frac{H}{h_0 \Phi_1 + 0,88T + L_O},$$

где  $L_O = b_{rp} + (h_0 + d)m_1 + (H + d)m_2$ .

Максимальный выходной градиент напора при выходе потока на низовой



откос дамбы определим по следующей формуле:

$$J_{est,max}^T = \frac{\sqrt{\left( h_1 + T \frac{K_0}{K_T} - i \frac{0,1(L_1 - \Delta L)}{2} \right)^2 + 0,1(L_1 - \Delta L)}}{0,1(L_1 - \Delta L)} + \frac{0,2(L_1 - \Delta L) q}{\cos \alpha} - T \frac{K_0}{K_T} + i \frac{0,1(L_1 - \Delta L)}{2}$$

Максимальный выходной градиент напора в основании при выходе потока за дамбой вычислим так:

$$J_{est,max}^0 = \frac{H}{0,05\pi L_0}$$

Оценку риска разрушения нижней дамбы канала вследствие фильтрационных воздействий на косогоре проводим так же, как и для канала в насыпи.

Примеры расчета риска разрушения дамбы крупного канала на участке в насыпи и на косогоре приведены в таблице.

На основании анализа результатов расчета для канала в насыпи можно сказать, что выполняется условие местной фильтрационной прочности грунта при выходе фильтрационного потока на приканальную территорию и риск разрушения дамбы канала на участке в насыпи по средним градиентам не превышает нормативного значения.

**Результаты расчета риска разрушения потенциально опасных участков каналов**

| Вид опасного участка | Исходные данные   | Результаты расчета  |  |                                 |                                 |                                   |                             |   |   |
|----------------------|---|---|--|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---|---|
|                      |   | Общий удельный фильтрационный расход, м <sup>2</sup> /сут | Действующие средние и максимальные выходные градиенты напора |                                 |                                 |                                   | Критический градиент напора | Общий риск разрушения дамбы канала, ×10 <sup>-3</sup> 1/год | Нормативный риск, ×10 <sup>-3</sup> 1/год |
|                      |   |   | q  | J <sub>est,m</sub> <sup>T</sup> | J <sub>est,m</sub> <sup>0</sup> | J <sub>est,max</sub> <sup>T</sup> |                             |   |   |
| В насыпи             | m <sub>1</sub> = 3<br>m <sub>2</sub> = 2<br>d = 1 м,<br>b <sub>гп</sub> = 8 м<br>T = 10 м<br>K <sub>T</sub> = 1 м/сут<br>K <sub>0</sub> = 0,3 м/сут<br>h <sub>0</sub> = 5 м<br>b = 6 м            | 7,93  | 0,33   | 0,16                            | 1,67                            | –                                 | 1,0                         | 2,76  | 5,0                                       |
| На косогоре          | m <sub>1</sub> = 2<br>m <sub>2</sub> = 3<br>d = 1 м,<br>b <sub>гп</sub> = 7 м<br>T = 15 м<br>α = 20°<br>K <sub>T</sub> = 1 м/сут<br>K <sub>0</sub> = 0,3 м/сут<br>h <sub>0</sub> = 5 м<br>b = 6 м | 4,46  | 0,37   | 0,24                            | 0,59                            | 1,72                              | 1,0                         | 3,37  | 5,0                                       |

Для участка канала на косогоре с водопроницаемым основанием расчеты показали превышение максимального выходного градиента напора в основании при выходе потока за дамбой, критического значения J<sub>cr</sub> = 1,0. Это свидетельствует о возможности появления локальных разрушений грунта основания за дамбой. В целом риск разрушения дамбы для участков канала в насыпи и на косогоре не превышает нормативный, что свидетельствует о малой вероятности возникновения аварийных ситуаций.

**Выводы**

На основе опыта эксплуатации каналов России и зарубежья представлена схема сценариев возможных аварийных ситуаций на крупных каналах, возникающих вследствие гидравлических, фильтрационных и оползневых процессов.

Разработан усовершенствованный метод расчета фильтрации через дамбу канала для определения фильтрационной прочности грунта дамбы, использование которых необходимо при проектировании и эксплуатации каналов.

Предложена методика и получены расчетные формулы для оценки риска разрушения потенциально опасных участков крупных каналов в насыпи и на косогоре вследствие фильтрационных воздействий.

На основании расчетов по предложенной методике могут быть заблаговременно разработаны предупредительные мероприятия по исключению вероятности аварии крупного канала.

1. Алтуний В. С. Мелиоративные каналы в земляных руслах. – М.: Колос, 1979. – 255 с.

2. Косиченко Ю. М. Каналы переборки стока России. – Новочеркасск: НГМА, 2004. – 470 с.

3. Мирцхулава Ц. Е. О надежности крупных каналов. – М.: Колос, 1981. – 318 с.

4. Терлецкая М. Н. Каналы в водонестойчивых грунтах аридной зоны. – М.:

Колос, 1983. – 96 с.

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

6. Гидротехнические сооружения: справочник проектировщика; под ред. В. П. Недриги. – М.: Стройиздат, 1983. – 543 с.

7. Чугаев Р. Р. Земляные гидротехнические сооружения. – Л.: Энергия, 1967. – 460 с.

8. Гидротехнические сооружения. Основные положения: СНиП 33-01-2003; введ. 01.01.2004. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 30 с.

Материал поступил в редакцию 26.07.12.

*Бакланова Дарья Викторовна, младший научный сотрудник*

*Тел. 8-950-853-22-62*

*E-mail: x-dashulya@rambler.ru*

УДК 502/504:666.3

**А. Н. КЛЮЕВ, В. Б. СЕМЕНОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

## **КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ЩЕЛОЧЕСИЛИКАТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ДОБАВКАМИ ГЛИНОЗЕМИСТЫХ МИНЕРАЛОВ**

*Приведены результаты исследований коррозионной стойкости щелочесиликатных композиций на основе жидкого стекла, измельченного перлита и добавки глиноземистых минералов, позволяющей снизить содержание водорастворимого силиката натрия, не связанного структурным каркасом бетона. Исследования выполнены в широком диапазоне видов агрессивных сред. Получены новые данные об изменении прочностных свойств бетона.*

*Коррозионная стойкость, щелочесиликатные композиции, жидкое стекло, водорастворимый силикат натрия, бетон, агрессивная среда.*

*There are given investigation results of corrosion resistance of alkaline-silicate mixtures on the basis of addition of liquid glass, granular perlite and aluminous minerals allowing reduce the content of water-soluble sodium silicate which is not bound by the concrete structural frame. The investigations are fulfilled in a wide range of aggressive media. The new data on changing concrete strength properties were received.*

*Corrosion resistance, alkaline-silicate mixtures, liquid glass, water soluble sodium silicate, concrete, aggressive medium.*

Железобетон – основной конструкционный материал в современном капитальном строительстве. Повышение его эф-

фективности, надежности и долговечности имеет большое народно-хозяйственное значение. Помимо основных показателей