

УДК 626.823:626.33:624.131.6

Д. В. Бакланова

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

РАСЧЕТ ФИЛЬТРАЦИИ ЧЕРЕЗ ЗЕМЛЯНЫЕ ДАМБЫ НА ПРОНИЦАЕМОМ ОСНОВАНИИ

Целью исследований являлась оценка достоверности расчетов, полученных по предложенным зависимостям для определения приведенных фильтрационных расходов в теле и основании земляных дамб каналов на проницаемом основании. Были проведены экспериментальные исследования методом электрогидродинамических аналогий (ЭГДА) для различных значений высоты насыпи, которые выполнялись на установке ЭГДА-9/60 по методике изучения безнапорного движения фильтрационного потока. Для моделирования методом ЭГДА было изготовлено четыре (по числу опытов) электрических модели на электропроводной бумаге с сопротивлением $R = 4000$ Ом. После проведения исследований устанавливалось положение депрессионной кривой, выполнялось построение гидродинамических сеток и определялись приведенные фильтрационные расходы для каждой из четырех электрических моделей. Сопоставление результатов расчета по предложенным формулам с результатами, полученными по методу ЭГДА (при одинаковых коэффициентах фильтрации в теле и основании дамбы канала), показало близкие значения с расхождением в пределах 2–5 %. При глубине воды в канале h_0 и высоте насыпи H , равных 1 усл. ед., приведенный фильтрационный расход q/K по методу ЭГДА составил 0,796 усл. ед., а по предложенным зависимостям – 0,820 усл. ед., при этом расхождение результатов составило 2,93 %. Ввиду этого считаем возможным применение предложенных зависимостей для определения приведенных фильтрационных расходов, достоверность расчетов по которым подтвердили результаты экспериментальных исследований методом электромоделирования.

Ключевые слова: фильтрация, канал, дамба, насыпь, градиент напора, гидродинамическая сетка, коэффициент фильтрации, фильтрационный расход.

D. V. Baklanova

Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

CALCULATING FILTRATION THROUGH EARTH DAMS AT PERMEABLE FOUNDATION

The objective of the research is to evaluate the accuracy of calculations obtained by proposed equations for reduced filtration discharges in the body and foundation of canal dams at permeable foundation. The experimental study was conducted by the method of electrohydrodynamic analogies (EHDA) for different values of embankment height which were carried out using apparatus EHDA-9/60 according to the technique for study non-pressure movement of filtering flow. For simulating by EHDA method, four electric models of conductive paper with resistance $R = 4000$ ohms were made. After the experiment, depression curve position was established, hydrodynamic nets were plotted, and filtering discharges for each of four electric models were determined. Comparison of calculation results according to proposed equations with results obtained by EHDA method (at the equal filtration coefficients in the body and foundation of canal dam) has shown close values with the divergence within 2–5 %. At water depth in a canal h_0 and embankment height H , which equal to one

conventional unit, the reduced filtration discharge q/K by EHDA method was 0.796 conventional units, and according to proposed equations – 0.820 conventional units, while the divergence of the results was within 2.93 %. Thereby, we consider possible using of proposed equation for reduced filtration discharges, veracity of calculation according to them was confirmed by the results of experimental study by electric simulation method.

Keywords: filtration, canal, dam, embankment, pressure gradient, hydrodynamic net, filtration coefficient, filtration discharge.

Введение. Наиболее уязвимыми участками крупных каналов являются те, которые проходят в насыпи, на косогоре, а также в просадочных, карстово-суффозионных, пучинистых, набухающих и других неустойчивых грунтах [1, 2]. По существу, земляные дамбы каналов, особенно на участках в насыпи и на косогоре, представляют собой такой же напорный фронт, как и грунтовые плотины. В связи с этим фильтрационные потери в них могут существенно влиять на устойчивость и надежность их дамб и самого русла [3–7].

На участке канала в насыпи уровень воды в живом сечении значительно превышает отметки примыкающей территории, в результате чего в дамбе канала могут формироваться опасные деформации в виде сосредоточенных ходов фильтрации, суффозии, выпора в зоне выхода фильтрационных вод на низовой откос или основание дамбы, что, безусловно, снижает безопасность работы водотока и может привести к невозможности его дальнейшей эксплуатации [8–11].

Известно, что фильтрационные деформации в грунтовых дамбах каналов могут образовываться как медленно, так и чрезвычайно стремительно. Механизм разрушения земляной дамбы тесно связан с увеличением глубины воды в канале, вследствие чего повышаются градиенты напора фильтрационного потока, оказывающие влияние на частицы грунта, и в случае превышения их критических значений происходит нарушение устойчивости сначала отдельных частиц грунта, а затем и их групп. В результате этого образуются фильтрационные ходы с постепенно перемещающимся потоком, содержащим частицы грунта, что обычно свойственно песчаным грунтам, или с разрушением грунтовых массивов, что

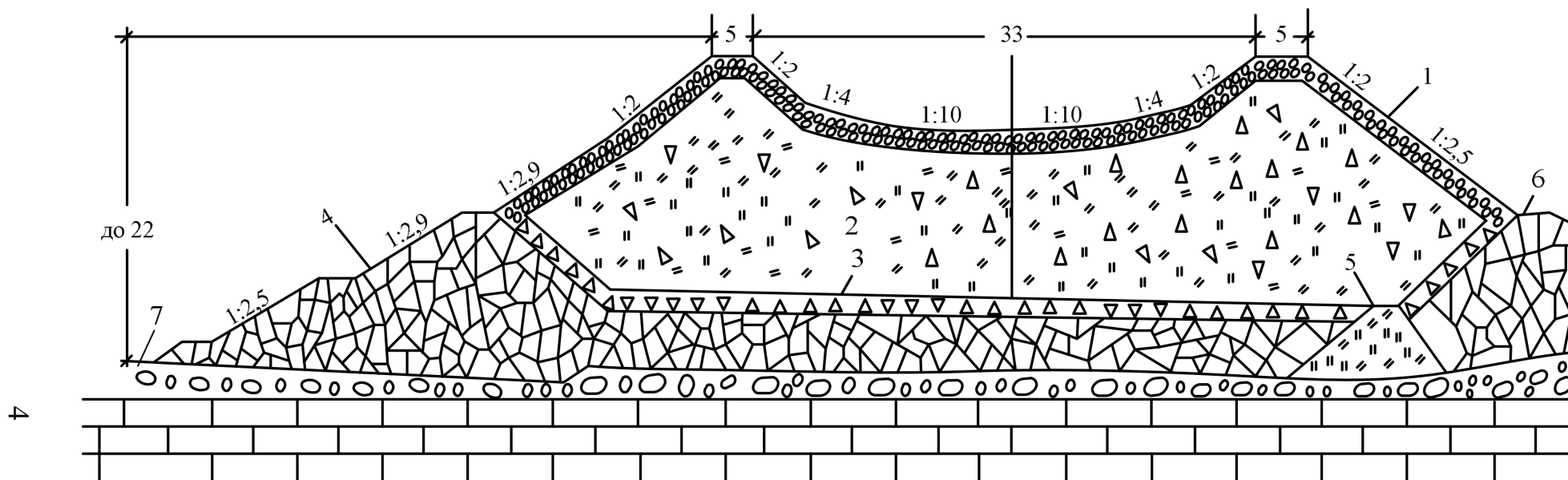
характерно для глинистых грунтов.

В качестве примеров потенциально опасных участков крупных каналов можно выделить участки в насыпи первой очереди Большого Ставропольского канала (БСК-I) общей протяженностью около 5 км, где на косогорном участке дамбы появлялись выходы фильтрационных вод, трещины шириной до 0,15 м, воронки диаметром до 1,3 м, что потребовало ее укрепления [2, 5, 12]. На рисунке 1 приведена конструкция насыпной дамбы по характерному поперечнику на БСК-I. Аварийные ситуации складывались также на отдельных участках Северо-Крымского канала, проходящих в насыпи, где наблюдались продольные и поперечные просадки, трещины и интенсивная фильтрация через дамбы, вызвавшая их прорывы [4].

В связи с этим целью работы стало совершенствование фильтрационных расчетов земляных дамб в насыпи на проницаемом основании для предварительного определения основной характеристики – фильтрационного расхода, а также оценка достоверности расчетов, полученных по предложенным усовершенствованным зависимостям.

Материалы и методы. Для определения приведенного фильтрационного расхода в теле и основании дамбы канала в насыпи рассмотрим расчетную схему (рисунок 2), на которой представлена половина области фильтрации. Ввиду сложности учета всех факторов, влияющих на движение фильтрационного потока, были приняты следующие допущения:

- фильтрация рассматривается в одной плоскости и считается установившейся;
- канал симметричен по обе стороны от оси;
- рассматриваемая область фильтрации разделена на две: фильтрацию через дно и основание дамбы канала и фильтрацию через тело дамбы;
- положение депрессионной кривой в однородных дамбах каналов зависит от действующего напора, высоты и ширины дамбы;
- дно канала водопроницаемо.



1 – защитное покрытие из гравийно-галечниковой смеси; 2 – насыпь, преимущественно из суглинков со щебенкой; 3 – слой известняковой щебенки ($h = 1$ м); 4 – рваный камень (известняк); 5 – призма из суглинков и супесей; 6 – грубоокатанные гравийно-галечниковые отложения осадочных пород с заполнителем из песков, супесей, суглинков; 7 – мелоподобные тонко- и толстоплитчатые известняки

Рисунок 1 – Конструкция насыпи по характерному поперечнику на БСК-I

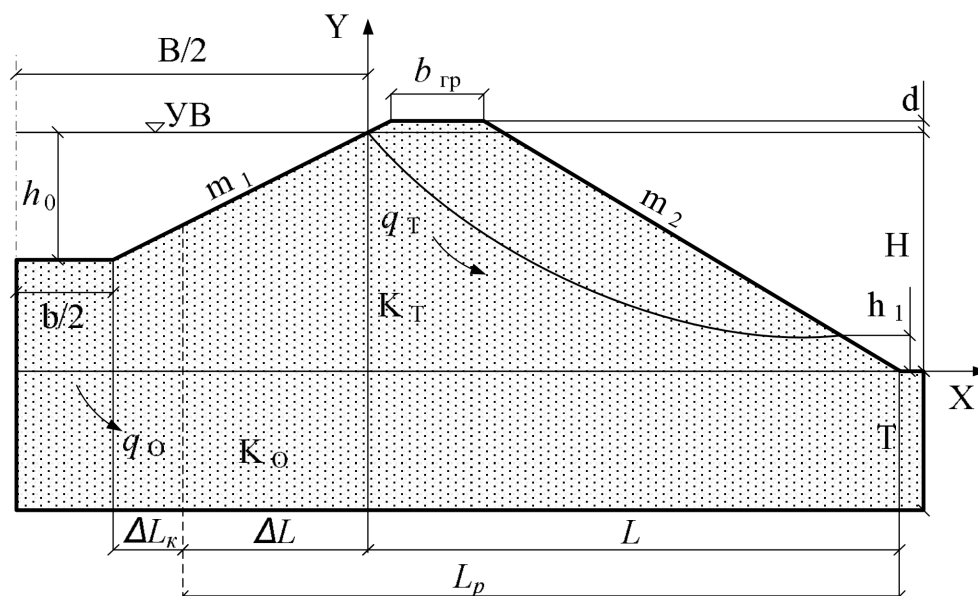


Рисунок 2 – Расчетная схема канала в насыпи на водопроницаемом основании

Дамба канала в насыпи представляет собой низконапорную земляную плотину, и для ее фильтрационного расчета могут применяться уже известные методы расчета однородных земляных плотин (на водонепроницаемом основании), которые и были использованы при решении задачи расчета фильтрации из канала (на водопроницаемом основании) [13].

В отличие от уже известных решений применительно к каналам в насыпи найдены необходимые расчетные формулы для водопроницаемого основания дамбы канала с учетом дополнительного фильтрационного сопротивления под дном канала, которое обусловлено значительной мощностью грунта между дном канала и основанием дамбы высотой $H - h_0$ [14–17].

Приведенный расход фильтрационного потока через тело дамбы канала $\frac{q_T}{K_T}$ определяется по усовершенствованной формуле, дополненной фильтрационным сопротивлением под дном канала в насыпи:

$$\frac{q_T}{K_T} = \frac{H^2 - h_1^2}{2(L_p - m_2 h_1) + \Delta L_K}, \quad (1)$$

где q_T – удельный расход фильтрационного потока через тело дамбы канала, м²/сут;

K_T – коэффициент фильтрации грунта насыпи канала, м/сут;

H – действующий напор, м;

h_1 – высота выхода депрессионной кривой на низовой откос, м;

L_p – ширина эквивалентного профиля дамбы канала по основанию, м;

m_2 – коэффициент заложения низового откоса;

ΔL_K – дополнительное фильтрационное сопротивление под дном канала, м.

Высота выхода депрессионной кривой на низовой откос определяется по формуле:

$$h_1 = \frac{L_p}{m_2} - \sqrt{\left(\frac{L_p}{m_2}\right)^2 - H^2}.$$

Ширина эквивалентного профиля дамбы канала по основанию устанавливается из выражения:

$$L_p = \beta \cdot h_0 + L,$$

где β – коэффициент откоса [13, 18]:

$$\beta = \frac{m_1}{2m_1 + 1},$$

где m_1 – коэффициент заложения верхового откоса;

h_0 – глубина воды в канале, м;

L – длина участка дамбы от уреза воды до сопряжения низового откоса с нижерасположенной территорией, м:

$$L = m_1 \cdot d + b_{гр} + m_2 (H + d),$$

где d – превышение гребня дамбы над уровнем воды в канале, м;

$b_{гр}$ – ширина дамбы по гребню, м.

Дополнительное фильтрационное сопротивление под дном канала

определяется по формуле:

$$\Delta L_K = (H - h_0) \cdot \Phi_1,$$

где Φ_1 – фильтрационное сопротивление в безразмерной форме:

$$\Phi_1 = \frac{2}{\pi} \ln \frac{4(H - h_0)}{\pi \cdot b/2} \text{ при } \frac{b}{2(H - h_0)} < 0,5,$$

где b – ширина канала по дну, м.

Приведенный фильтрационный расход в основании дамбы канала с учетом дополнительного фильтрационного сопротивления под дном канала слоя мощностью $(H - h_0)_{\text{пр}}$ составит:

$$\frac{q_O}{K_O} = T \cdot \frac{H}{(H - h_0) \frac{K_O}{K_T} \cdot \Phi_1' + 0,88T + L_O}, \quad (2)$$

где K_O – коэффициент фильтрации грунта основания дамбы канала, м/сут;

T – мощность водопроницаемого основания, м;

L_O – условная ширина дамбы по основанию, м;

Φ_1' – дополнительное фильтрационное сопротивление под дном канала.

Условная ширина дамбы по основанию и дополнительное фильтрационное сопротивление под дном канала определяются по следующим зависимостям:

$$L_O = b_{\text{гр}} + (H + d) \cdot (m_1 + m_2),$$

$$\Phi_1' = \frac{2}{\pi} \ln \left[\frac{4(H - h_0)}{\pi \cdot b/2} \cdot \frac{K_O}{K_T} \right].$$

При этом приведенная мощность слоя грунта под дном канала $(H - h_0)_{\text{пр}}$ определяется как $(H - h_0) \cdot \frac{K_O}{K_T}$, а общий приведенный фильтрационный расход из канала в насыпи составит:

$$\frac{q}{K} = 2 \cdot \left(\frac{q_T}{K_T} + \frac{q_O}{K_O} \right). \quad (3)$$

Для оценки достоверности результатов расчета фильтрации, полученных по предложенным зависимостям (1)–(3), были проведены экспериментальные исследования методом электрогидродинамических аналогий (ЭГДА) для различных значений высоты насыпи. Применение метода ЭГДА позволяет построить гидродинамическую сетку движения и определить приведенный фильтрационный расход.

Исследования выполнялись на установке ЭГДА-9/60 по методике изучения безнапорного движения фильтрационного потока [19–21]. Для выполнения моделирования методом ЭГДА было изготовлено четыре (по числу опытов) электрических модели на электропроводной бумаге с сопротивлением $R = 4000 \text{ Ом}$ (рисунок 3).



Рисунок 3 – Электрическая модель канала в насыпи, выполненная на электропроводной бумаге (автор фото Д. В. Бакланова)

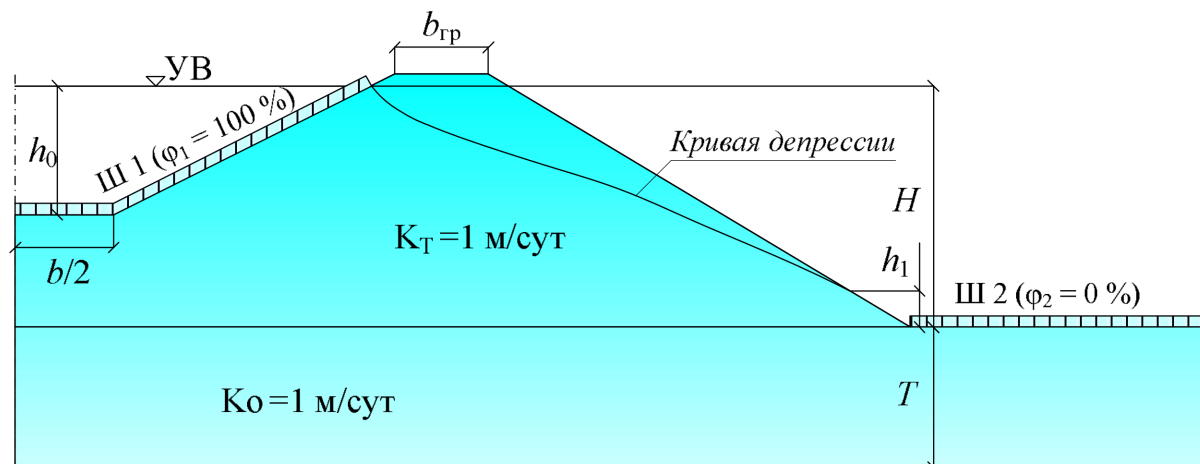
Для конкретности рассмотрим схему модели дамбы канала в насыпи (рисунок 4), грунт тела и основания которой имеет один и тот же коэффициент фильтрации.

Исследования безнапорной фильтрации из канала в насыпи проводились для следующих условий:

- при $H = 1$ усл. ед. и $h_0 = 0,25$ усл. ед.;
- при $H = 1$ усл. ед. и $h_0 = 0,50$ усл. ед.;

- при $H = 1$ усл. ед. и $h_0 = 0,75$ усл. ед.;

- при $H = 1$ усл. ед. и $h_0 = 1,00$ усл. ед.



Ш 1 – шина № 1 с потенциалом 100 %; Ш 2 – шина № 2 с нулевым потенциалом

Рисунок 4 – Схема исследуемой модели

В процессе проведения исследований методом подбора определялось положение кривой депрессии, после чего выполнялось построение гидродинамических сеток на каждой электрической модели.

По гидродинамической сетке определялся приведенный фильтрационный расход $\frac{q}{K}$ (для расчета принимался пояс равного напора):

$$\frac{q}{K} = \Delta h \sum_{i=1}^n \frac{\Delta l}{\Delta S},$$

где K – коэффициент фильтрации, м/с;

Δh – напор, который гасится в пределах каждого пояса давления, м;

Δl – расстояние между смежными линиями тока, м;

ΔS – расстояние между смежными эквипотенциалами, м.

Напор, который гасится в пределах каждого пояса давления, определяется следующим образом:

$$\Delta h = 0,1 \cdot H.$$

Результаты и обсуждение. В таблице 1 сравниваются значения приведенного фильтрационного расхода, рассчитанного по зависимостям (1)–(3), с базовыми данными, которые были получены в результате анализа

гидродинамических сеток фильтрации в земляных насыпных дамбах на проницаемом основании, построенных по методу ЭГДА.

Таблица 1 – Результаты сопоставления расчетных значений приведенного фильтрационного расхода, полученных по формулам (1)–(3), с базовыми данными гидродинамических сеток (в условных единицах)

Параметр земляной дамбы при $H = 1$ (усл. ед.)	Приведенный фильтрационный расход q/K		Погреш- ность δ , %
	по методу ЭГДА	по формулам (1)–(3)	
$h_0 = 0,25$; $m_1 = 2$; $m_2 = 1$; $d = 0,1$; $b_{гр} = 0,8$; $T = 1$; $K_T = K_0 = 1$; $b/2 = 0,3$	0,806	0,787	–2,41
$h_0 = 0,50$; $m_1 = 2$; $m_2 = 1$; $d = 0,1$; $b_{гр} = 0,8$; $T = 1$; $K_T = K_0 = 1$; $b/2 = 0,3$	0,860	0,907	+5,15
$h_0 = 0,75$; $m_1 = 2$; $m_2 = 1$; $d = 0,1$; $b_{гр} = 0,8$; $T = 1$; $K_T = K_0 = 1$; $b/2 = 0,3$	0,876	0,846	–3,55
$h_0 = 1,00$; $m_1 = 2$; $m_2 = 1$; $d = 0,1$; $b_{гр} = 0,8$; $T = 1$; $K_T = K_0 = 1$; $b/2 = 0,3$	0,796	0,820	+2,93

Сопоставление результатов расчета по формулам (1)–(3) с результатами, полученными по методу ЭГДА (при одинаковых коэффициентах фильтрации в теле и основании дамбы канала), показало близкие значения с расхождением в пределах 2–5 %, поэтому считаем возможным применение предложенных зависимостей (1)–(3) для определения приведенных фильтрационных расходов. Достоверность расчетов по ним подтверждена результатами экспериментальных исследований методом электро моделирования.

Выводы. До настоящего времени методика расчета фильтрации через насыпные дамбы каналов на проницаемом основании разработана не была. Зависимости (1)–(3), полученные автором статьи, позволяют с точностью до 5 % определять удельный фильтрационный расход из канала в насыпи. Достоверность полученных результатов подтверждена сравнением с данными гидродинамических сеток фильтрации, построенных методом ЭГДА. Ввиду этого считаем возможным применение предлагае-

мых зависимостей (1)–(3) в практике решения фильтрационных задач для каналов в насыпях на водопроницаемом основании.

Список литературы

- 1 Аверьянов, С. Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод / С. Ф. Аверьянов. – М.: Колос, 1982. – 236 с.
- 2 Алтунин, В. С. Мелиоративные каналы в земляных руслах / В. С. Алтунин. – М.: Колос, 1979. – 255 с.
- 3 Косиченко, Ю. М. Каналы переброски стока России / Ю. М. Косиченко. – Новочеркасск: НГМА, 2004. – 470 с.
- 4 Мирцхулава, Ц. Е. Надежность гидромелиоративных сооружений / Ц. Е. Мирцхулава. – М.: Колос, 1974. – 280 с.
- 5 Мирцхулава, Ц. Е. О надежности крупных каналов / Ц. Е. Мирцхулава. – М.: Колос, 1981. – 318 с.
- 6 Терлецкая, М. Н. Каналы в водонеустойчивых грунтах аридной зоны / М. Н. Терлецкая. – М.: Колос, 1983. – 96 с.
- 7 Запорожченко, Э. В. Инженерно-геологический опыт проектирования, строительства и эксплуатации первой очереди Большого Ставропольского канала / Э. В. Запорожченко. – Ставрополь: Ставроп. кн. изд-во, 1974. – 78 с.
- 8 Анахаев, К. Н. Расчет фильтрации через земляные плотины на проницаемом основании разной мощности / К. Н. Анахаев, Ж. Х. Шогенова, Б. Х. Амшонов // Гидротехническое строительство. – 2011. – № 2. – С. 29–33.
- 9 Анахаев, К. Н. Свободная фильтрация из водотоков / К. Н. Анахаев // Известия РАН. Механика жидкости и газа. – 2004. – № 5. – С. 94–99.
- 10 Анахаев, К. Н. Фильтрация в анизотропных грунтовых плотинах. Безопасность гидротехнических сооружений / К. Н. Анахаев, Р. А. Ляхевич // Гидротехническое строительство. – 2005. – № 4. – С. 19–22.
- 11 Баламирзоев, А. Г. Методика расчета фильтрационной безопасности гидротехнических сооружений на трещиноватом загипсованном основании / А. Г. Баламирзоев // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2005. – № 4. – С. 78–86.
- 12 Байчоров, Ю. У. Применение пленочных противофильтрационных экранов для ремонтных работ Большого Ставропольского канала / Ю. У. Байчоров, Ю. М. Косиченко, Б. И. Сергеев // Гидротехническое строительство. – 1981. – № 6. – С. 40–43.
- 13 Железняков, Г. Справочник проектировщика. Гидротехнические сооружения / Г. Железняков, Ю. Ибадзаде, П. Иванов; под общ. ред. В. П. Недриги. – М.: Стройиздат, 1983. – 253 с.
- 14 Косиченко, Ю. М. Расчет фильтрации через дамбу канала в насыпи и оценка риска аварийных ситуаций / Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2012. – № 4. – С. 77–81.
- 15 Бакланова, Д. В. Расчетное обоснование вероятности разрушения потенциально опасных участков крупного канала от фильтрационных воздействий / Д. В. Бакланова // Природообустройство. – 2013. – № 2. – С. 43–48.
- 16 Тищенко, А. И. Применение размерностно-регрессионного метода к определению фильтрационных характеристик земляных дамб [Электронный ресурс] / А. И. Тищенко, Д. В. Бакланова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2012. – № 4(08). – 10 с. – Режим доступа:

<http://rosniipm-sm.ru/archive?n=131&id=140>.

17 Бакланова, Д. В. Расчет фильтрации через дамбу канала на косогоре и оценка риска возникновения аварийной ситуации / Д. В. Бакланова // Мелиорация и проблемы восстановления сельского хозяйства в России: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Костяковские чтения). – М.: Изд-во ВНИИА, 2013. – С. 24–29.

18 Щедрин, В. Н. Безопасность гидротехнических сооружений мелиоративного назначения / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, Е. И. Шкуланов. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2010. – 268 с.

19 Фильчаков, П. Ф. Интеграторы ЭГДА, моделирование потенциальных полей на электропроводной бумаге / П. Ф. Фильчаков, В. И. Панчишин. – Киев: Изд-во АН УССР, 1961. – 244 с.

20 Дружинин, Н. И. Изучение региональных потоков подземных вод методом электрогидродинамических аналогий / Н. И. Дружинин. – М.: Недра, 1966. – 123 с.

21 Булдей, В. Р. Моделирование гидромелиоративных систем / В. Р. Булдей. – Киев: Наукова Думка, 1975. – 253 с.

References

1 Averyanov S.F., 1982. *Filtratsiya iz kanalov i yeye vliyaniye na rezhim gruntovykh vod* [Filtering from Canals and its Impact on Groundwater Regime]. M., Kolos Publ., 236 p. (In Russian).

2 Altunin V.S., 1979. *Meliorativnyye kanaly v zemlyanykh ruslakh* [Ameliorative Canals in Earth Beds]. M., Kolos Publ., 255 p. (In Russian).

3 Kosichenko Yu.M., 2004. *Kanaly perebrozki stoka Rossii* [Canals of Transfer River Flow of Russia]. Novocherkassk, NGMA Publ., 470 p. (In Russian).

4 Mirtskhulava Ts.Ye., 1974. *Nadezhnost gidromeliorativnykh sooruzheniy* [Reliability of hydraulic and ameliorative structures]. Moscow, Kolos Publ., 280 p. (In Russian).

5 Mirtskhulava Ts.Ye., 1981. *O nadezhnosti krupnykh kanalov* [On the Reliability of Large Canals]. Moscow, Kolos Publ., 318 p. (In Russian).

6 Terletskaya M.N., 1983. *Kanaly v vodoneustoychivyykh gruntakh aridnoy zony* [Canals in Unstable Soils of Arid Zone]. M., Kolos Publ., 96 p. (In Russian).

7 Zaporozhchenko E.V., 1974. *Inzhenerno-geologicheskiy opyt proyektirovaniya, stroitelstva i ekspluatatsii pervoy ocheredi Bolshogo Stavropolskogo kanala* [Engineering and Geological Experience in Design, Construction, and Operation of the First Stage of the Big Stavropol Canal]. Stavropol, 78 p. (In Russian).

8 Anakhayev K.N., Shogenova Zh.Kh, Amshokov B.Kh., 2011. Raschet filtratsii cherez zemlyanyye plotiny na pronitsayemom osnovanii raznoy moshchnosti [Calculation of filtration through soil dam on a permeable foundation of different power]. *Gidrotekhnicheskoye stroitelstvo*, no. 2, pp. 29-33. (In Russian).

9 Anakhayev K.N., 2004. Svobodnaya filtratsiya iz vodotokov [Free seepage from watercourses]. *Izvestiya RAN. Mekhanika zhidkosti i gaza*, no. 5, pp. 94-99. (In Russian).

10 Anakhayev K.N., Lyakhevich R.A., 2005. Filtratsiya v anizotropnykh gruntovykh plotinakh. Bezopasnost gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Filtering in anisotropic earth dams. Safety of hydraulic structures]. *Gidrotekhnicheskoye stroitelstvo*, no. 4, pp. 19-22. (In Russian).

11 Balamirzoyev A.G., 2005. Metodika rascheta filtratsionnoy bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy na treshchinovatom zagipsovannom osnovanii [Methods of calculating the filtration safety of hydraulic structures on the cracked plastered foundation]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Tekhnicheskkiye nauki*, no. 4, pp. 78-86. (In Russian).

12 Baychorov Yu.U., Kosichenko Yu.M., Sergeyev B.I., 1981. Primeneniye plenochnykh protivofiltratsionnykh ekranov dlya remontnykh rabot Bolshogo Stavropolskogo

kanala [Use of watertight film facings for repair works on the great Stavropol Canal]. *Hydrotechnical Construction*, no. 6, pp 40-43. (In Russian).

13 Zheleznyakov G., Ibadzade Yu., Ivanov P., 1983. *Spravochnik proyektirovshchika. Gidrotekhnicheskiye sooruzheniya* [Designer Handbook. Hydraulic Facilities]. M., Stroyizdat Publ., 253 p. (In Russian).

14 Kosichenko Y.M., Baklanova D.V., 2012. [Calculation of filtration through the embankment of canal in fill and risk assessment for emergencies] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Tekhnicheskiye nauki*, no. 4, pp. 77-81. (In Russian).

15 Baklanova D.V., 2013. [The calculated substantiation of the destruction probability of potentially dangerous parts of a large canal resulted from filtration impacts]. *Prirodoobustroystvo*, no. 2, pp. 43-48. (In Russian).

16 Tishchenko A.I., Baklanova D.V., 2012. [Application of the dimensional-regression method to determination of the filtration characteristics of an earth dam]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 4(087), 10 p. (In Russian).

17 Baklanova D.V., 2013. Raschet filtratsii cherez dambu kanala na kosogore i otsenka riska vozniknoveniya avariynoy situatsii [Calculation of filtration through the canal dam on the slope and risk assessment of emergency] *Melioratsiya i problemy vosstanovleniya selskogo khozyaystva v Rossii: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Kostyakovskiye chteniya)*. [Proc. of Int. Scientific-Practical Conference: Amelioration and Recovery Problems of Agriculture in Russia]. M., VNIIA Publ., pp. 24-29. (In Russian).

18 Shchedrin V.N., Kosichenko Yu.M., Shkulanov Ye.I., 2010. *Bezopasnost gidrotekhnicheskikh sooruzheniy meliorativnogo naznacheniya* [Safety of Ameliorative Hydraulic Facilities]. M., Meliovodinform Publ., 268 p. (In Russian).

19 Filchakov P.F., Panchishin V.I., 1961. *Integratory EGDA, modelirovaniye potentsialnykh poley na elektroprovodnoy bumage* [Integrators EHDA, Modeling of Potential Fields on the Conductive Paper]. Kiev: AN USSR Publ., 244 p. (In Russian).

20 Druzhinin N.I., 1966. *Izucheniye regionalnykh potokov podzemnykh vod metodom elektrogidrodinamicheskikh analogiy* [The Study of the Regional Groundwater Flow by Electrohydrodynamic Analogy Method]. M., Nedra Publ., 123 p. (In Russian).

21 Buldey V.R., 1975. *Modelirovaniye gidromeliorativnykh sistem* [Modeling Irrigation Systems]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 253 p. (In Russian).

Бакланова Дарья Викторовна

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: начальник отдела

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: d.baklanova@bk.ru

Baklanova Darya Viktorovna

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Head of the Department

Affiliation: Russian Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: d.baklanova@bk.ru