

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО,  
ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья  
УДК 626.826

**Результаты комплексного фильтрационного расчета каналов  
Черноземельской обводнительно-оросительной системы**

**Олег Андреевич Баев<sup>1</sup>, Виктория Федоровна Талалаева<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,  
Российская Федерация

<sup>1</sup>Oleg-Baev1@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0142-4270>

<sup>2</sup>vika-silchenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2541-204X>

**Аннотация.** **Цель:** комплексные расчеты магистрального канала и водопроводящей сети в земляном русле с учетом современного технического состояния Черноземельской обводнительно-оросительной системы. **Материалы и методы.** Материалами послужили: документация по эксплуатации мелиоративных водопроводящих сооружений Черноземельской обводнительно-оросительной системы, результаты натурных обследований каналов и данные инструментальных измерений. Используются две группы исходных данных: сведения о природно-климатических характеристиках территории и геометрические параметры расчетного сечения русла канала и его дамб. **Результаты.** Фильтрационные потери рекомендуется определять по известным зависимостям с учетом удельных расходов. Принят ряд допущений: процесс фильтрации рассматривался в одной плоскости и учитывался как установившийся; водоупорное основание было принято теоретически непроницаемым и горизонтальным; грунт дамб канала учитывался как однородный. В результате расчетов по предложенной методике (по двум вариантам исходных данных) получены значения удельного расхода на фильтрацию через тело дамбы 0,122 и 0,033 кв. м/сут при максимальном и фактическом (на момент проведения обследований) наполнении канала соответственно. Общий двусторонний удельный расход воды на фильтрацию с учетом проницаемости основания канала и его дамб составил 0,912 и 0,445 кв. м/сут соответственно для первого и второго вариантов. **Выводы.** Хорошая сходимость значений относительного фильтрационного расхода с результатами расчета по известным зависимостям подтверждает возможность использования предложенной методики для фильтрационного расчета однородных грунтовых дамб каналов на проницаемом основании без дренажа. Последовательность расчетов оформлена в виде программы для ЭВМ, которая позволяет осуществлять расчет фильтрационных потерь воды на насыпных участках оросительных каналов, выполненных на проницаемом грунтовом основании (без дренажа), а также оценивать текущий КПД оросительной системы.

**Ключевые слова:** оросительный канал, потери воды, фильтрация, фильтрационный расчет, КПД

**Для цитирования:** Баев О. А., Талалаева В. Ф. Результаты комплексного фильтрационного расчета каналов Черноземельской обводнительно-оросительной системы // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2024. Т. 93, № 2. С. 249–263.

HYDRAULIC ENGINEERING,  
HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

Original article

**Results of the complex filtration calculation of the Chernozemelskaya watering and irrigation system channels**

**Oleg A. Baev<sup>1</sup>, Viktoria F. Talalaeva<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

<sup>1</sup>Oleg-Baev1@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0142-4270>

<sup>2</sup>vika-silchenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2541-204X>

**Abstract. Purpose:** complex calculations of the main canal and water supply network in the earth canal, taking into account the current technical state of the Chernozemelskaya watering and irrigation system. **Materials and methods.** The materials were: documentation on the operation of reclamation water supply structures of the Chernozemelskaya watering and irrigation system, the results of field surveys of canals and instrumental measurement data. Two groups of initial data were used: information about the natural and climatic characteristics of the territory and geometric parameters of the calculated cross-section of the canal bed and its dams. **Results.** It is recommended to determine filtration losses using known dependencies, taking into account specific flow rates. A number of assumptions were made: the filtration process was considered in one plane and taken into account as steady one; the impervious base was assumed to be theoretically impermeable and horizontal; the channel dam ground was taken into account as homogeneous. As a result of calculations by the proposed method (using two versions of the initial data), specific flow rates of 0.122 and 0.033 square meters/day for filtration through the dam body at maximum and actual (at the time of survey) filling of the canal were obtained respectively. The total two-way specific water consumption for filtration, taking into account the permeability of the channel base and its dams, was 0.912 and 0.445 square meters/day for the first and second options, respectively. **Conclusions.** The good convergence of the values of the relative filtration flow rate with the results of calculations based on known dependencies confirms the possibility of using the proposed methodology for the filtration calculation of homogeneous ground channel dams on a permeable foundation without drainage. The sequence of calculations is designed in the form of a computer program, which allows calculating filtration water losses in the bulk sections of irrigation channels made on a permeable soil base (without drainage), as well as evaluate the current efficiency of the irrigation system.

**Keywords:** irrigation channel, water loss, filtration, filtration calculation, efficiency

**For citation:** Baev O. A., Talalaeva V. F. Results of the complex filtration calculation of the Chernozemelskaya watering and irrigation system channels. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2024;93(2):249–263. (In Russ.).

**Введение.** Республика Калмыкия ограничена в воде, поэтому нужды региона обеспечиваются за счет водных ресурсов р. Волга, Кубань, Кума, Терек, Чограйского водохранилища, а также посредством работы пяти оросительно-обводнительных систем (ООС), которые были введены в эксплуатацию во второй половине XX в [1]. Ввиду значительной изношенно-

сти проводящей сети ООС, существующего дефицита воды, поддержка сельскохозяйственного производства, предотвращение выбытия из сельскохозяйственного оборота орошаемых земель являются приоритетным направлением сохранения и развития мелиоративного комплекса Калмыкии<sup>1</sup>.

Ранее на предшествующих этапах исследований [2, 3] авторами было установлено, что максимальные значения водных потерь из самой крупной ООС региона – Черноземельской достигали 40,8–41,7 % от общей водоподдачи в сеть, в среднем за рассмотренный десятилетний период (2013–2023 гг.) в системе теряется порядка 31–34 % подаваемой в нее воды, а КПД системы не превышает 0,66. Таким образом, комплексная оценка состояния проводящей сети ООС является важным этапом при обосновании и выборе противофильтрационных мероприятий на каналах ООС в целях повышения их технического уровня и КПД.

Целью работы являлось проведение комплексных расчетов магистрального канала и водопроводящей сети (в земляном русле) с учетом современного состояния Черноземельской ООС.

**Материалы и методы.** Потери на фильтрацию, как правило, рассчитывают только для крупных каналов или каналов, проложенных в насыпи, полунасыпи-полувыемке, а также при подпертой фильтрации. Для фильтрационного расчета насыпных дамб каналов ООС (в т. ч. и на косогорных участках) вполне допустимо использовать методы расчета низконапорных плотин, как на водопроницаемом, так и на непроницаемом основании.

Для проведения комплекса расчетов были использованы две группы исходных данных:

- сведения о природно-климатических характеристиках территории, определяющих условия образования и протекания фильтрационных потоков.

---

<sup>1</sup>О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации [Электронный ресурс]: Постановление Правительства Рос. Федерации от 14 мая 2020 г. № 731. Доступ из справ. правовой системы «Консультант-Плюс».

К ним относят топографические, геологические, гидрометеорологические и гидрологические данные о территории, на которой расположен линейный объект (его участок);

- геометрические параметры расчетного(ых) сечения(й) русла канала и его дамб.

После сбора первичных данных и проведения обследований на местности оценивается достаточность имеющихся данных о геометрических параметрах, грунтовых условиях, гидравлических характеристиках на расчетном участке канала.

Получение зависимостей для определения удельных фильтрационных расходов  $q_T$  и  $q_O$ , м<sup>2</sup>/сут, основывалось на применении известных решений для грунтовых однородных плотин на водонепроницаемом основании (метод эквивалентного профиля) [4], при этом водопроницаемость основания учитывалась дополнительным фильтрационным сопротивлением  $L_{дон}$ , м, слоя грунта под основанием канала толщиной  $H - h_0$ , м, при условии  $T_1 > T_2$  ( $T_1 = (H - h_0) + T_2$ , где  $H$  – напор, действующий на насыпную дамбу канала, м).

Удельный расход на фильтрацию в теле насыпной дамбы с проницаемым основанием  $q_T$ , м<sup>2</sup>/сут, будет равен [4–8]:

$$q_T = k_T \frac{H^2 - h_1^2}{2(L_p - m_2 h_1) + L_{дон}},$$

где  $H$  – действующий на дамбу напор, м;

$h_1$  – высота точки выхода кривой депрессии на низовом откосе, м;

$L_p$  – ширина эквивалентного профиля дамбы по основанию (от верхней грани эквивалентного профиля до сопряжения низового откоса дамбы с приканальной территорией), м;

$m_2$  – коэффициент заложения низового откоса;

$L_{дон}$  – дополнительное фильтрационное сопротивление слоя грунта в основании канала с толщиной  $H - h_0$ , м.

Удельный расход на фильтрацию в основании дамбы канала на водопроницаемом основании  $q_0$ , м<sup>2</sup>/сут, с учетом дополнительного фильтрационного сопротивления под основанием канала слоя толщиной  $(H - h_0)_{np}$  будет равен [4–8]:

$$q_0 = k_o \cdot T_2 \frac{H}{(H - h_0)_{np} \cdot \Phi_2 + 0,88 \cdot T_2 + L_0},$$

где  $k_o$  – коэффициент фильтрации грунта основания, м/сут;

$T_2$  – толщина водопроницаемого основания, м;

$(H - h_0)_{np}$  – приведенная толщина слоя грунта под основанием канала,

определяемая как  $(H - h_0)_{np} = (H - h_0) \cdot \frac{k_o}{k_T}$ ;

$\Phi_2$  – безразмерное фильтрационное сопротивление основания;

$L_0$  – условная ширина дамбы по подошве, м.

Фильтрационное сопротивление под основанием канала в безразмерной форме  $\Phi_2$  определяется по формулам:

$$\Phi_2 = \frac{2}{\pi} \ln \left[ \frac{4(H - h_0)}{\pi \cdot b / 2} \cdot \frac{k_o}{k_T} \right] \text{ при } \frac{b}{2(H - h_0)} < 0,5,$$

$$\Phi_2 = 0,44 \text{ при } \frac{b}{2(H - h_0)} \geq 0,5.$$

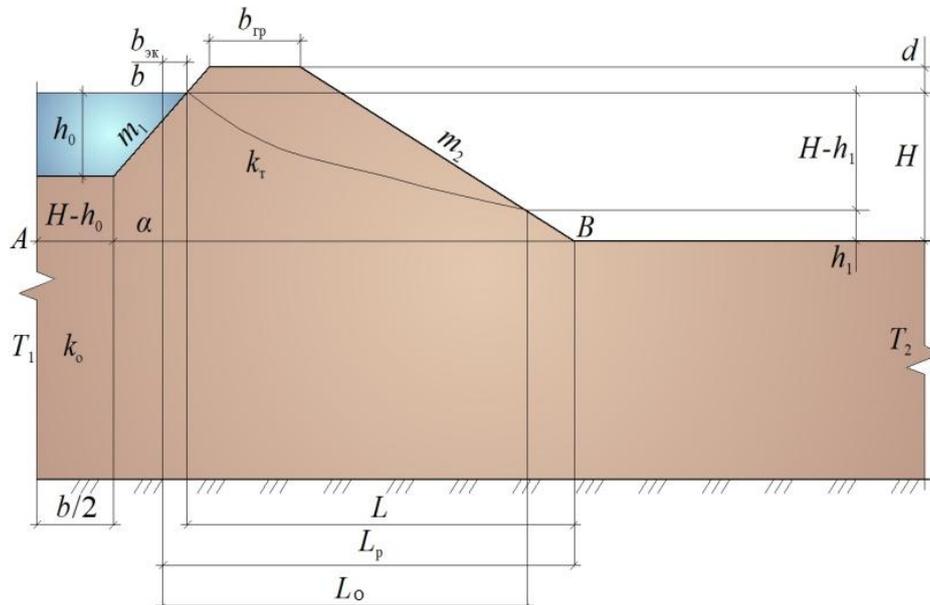
Условная ширина дамбы по основанию  $L_0$ , м, определяется по формуле [9]:

$$L_0 = b_{zp} + (H + d) \cdot (m_1 + m_2).$$

Совокупно удельный расход воды на фильтрацию  $q$ , м<sup>2</sup>/сут, из канала равен удвоенной сумме расходов через тело и основание:

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

На рисунке 1 представлена расчетная схема фильтрации для каналов, устроенных на проницаемых основаниях без дренажа, трапецеидального поперечного профиля.



$T_1, T_2$  – толщина водопроницаемого слоя грунта основания, м;  $k_0$  – коэффициент фильтрации грунта основания, м/сут;  $k_T$  – коэффициент фильтрации тела дамбы канала, м/сут;  $AB$  – плоскость границ областей фильтрации;  $m_1, m_2$  – коэффициенты заложения откосов, верхового и низового соответственно;  $L$  – ширина дамбы по основанию от уреза воды до сопряжения низового откоса с нижерасположенной территорией, м;  $L_p$  – ширина эквивалентного профиля дамбы по основанию, м;  $L_0$  – условная ширина дамбы по основанию, м;  $h_0$  – глубина воды в канале, м;  $h_1$  – высота точки выхода кривой депрессии на низовом откосе, м;  $d$  – превышение гребня дамбы над уровнем воды в канале, м;  $b_{эк}$  – расстояние до условной вертикальной грани  $ab$ , м;  $b_{зп}$  – ширина дамбы по гребню, м

$T_1, T_2$  – thickness of the permeable layer of foundation ground, m;  $k_0$  – filtration coefficient of the foundation ground, m/day;  $k_T$  – filtration coefficient of the channel body dam, m/day;  $AB$  – plane of the filtration area boundaries;  $m_1, m_2$  – laying slopes coefficients, upstream and downstream, respectively;  $L$  – dam width along the bed from the water's edge to the junction of the downstream slope with the underlying territory, m;  $L_p$  – equivalent dam profile width of the along the bed, m;  $L_0$  – conditional dam width along the bed, m;  $h_0$  – water depth in the channel, m;  $h_1$  – height of the depression curve exit point at the downstream slope, m;  $d$  – excess of the dam crest above the water level in the channel, m;  $b_{эк}$  – distance to the conditional vertical edge  $ab$ , m;  $b_{зп}$  – dam width along the crest, m

**Рисунок 1 – Расчетная схема фильтрации через однородную дамбу канала в насыпи на проницаемом основании разной толщины ( $T_1 > T_2$ )**  
**Figure 1 – Design diagram of filtration through a homogeneous dam channel in the embankment on a permeable base of different thicknesses ( $T_1 > T_2$ )**

Ввиду симметричности области фильтрации относительно оси канала, для выполнения расчетов учитывается ее половина, которая разделяется на следующие фрагменты:

- область фильтрации через тело дамбы канала с коэффициентом фильтрации  $k_T$ , м/сут, и относительным (удельным) расходом на фильтрацию  $q_T$ , м<sup>2</sup>/сут;

- область фильтрации через проницаемое основание дамбы с коэффициентом фильтрации  $k_o$ , м/сут, и относительным (удельным) фильтрационным расходом  $q_o$ , м<sup>2</sup>/сут.

Предложенная методика применима в случае, если толщина водопроницаемого слоя грунта в основании канала  $T_1$ , м, соизмерима с глубиной воды в канале  $h_0$ , м (т. е.  $T_1 \geq h_0$ ). В этом варианте рассматриваемая область фильтрации разделяется на фрагменты по плоскости  $AB$ .

В случае, если  $T_1 \ll h_0$ , расчет следует проводить так же, как и для однородных дамб на водонепроницаемом основании, увеличив глубину воды в канале (и, соответственно, высоту дамбы) на величину толщины слоя грунта под дном канала  $T_1$ .

**Результаты и обсуждение.** При расчете был принят следующий ряд допущений.

1 Процесс фильтрации рассматривается в одной плоскости и учитывается как установившийся.

2 Водоупорное основание принято теоретически непроницаемым и горизонтальным.

3 Грунт дамб канала (насыпи) учитывается как однородный и изотропный.

4 Слой воды за дамбой канала не учитывается.

5 Границей между верхней (тело насыпи) и нижней (основание) областями фильтрации является плоскость  $AB$ .

Определение потерь воды на фильтрацию рекомендуется выполнять по известным зависимостям [10] с учетом удельных расходов:

- на 1 м<sup>2</sup> смоченного периметра участка канала  $q_{\phi 1\text{м}^2}$ , л/(сут·м<sup>2</sup>):

$$q_{\phi 1\text{м}^2} = \frac{q}{\chi} \cdot 1000,$$

где  $\chi$  – смоченный периметр канала, м;

- на всем расчетном участке (длиной  $l_{\text{уч}}$ , м)  $q_{\phi}$ , м<sup>3</sup>/сут:

$$q_{\phi} = q \cdot l_{\text{уч}}.$$

Общие технические потери из канала (или его участка)  $Q_{\Pi}$ , м<sup>3</sup>/сут, складываются из потерь воды на фильтрацию  $q_{\phi}$ , м<sup>3</sup>/сут, и испарение  $q_{\text{И}}$ , м<sup>3</sup>/сут:

$$Q_{\Pi} = q_{\phi} + q_{\text{И}}.$$

Потери воды на испарение  $q_{\text{И}}$ , м<sup>3</sup>/сут, определялись расчетом по формуле А. Н. Костякова [11]:

$$q_{\text{И}} = h_0 \cdot \varepsilon_{\Pi} \cdot (\alpha + 2m_1) \cdot l_{\text{уч}},$$

где  $\alpha$  – параметр, учитывающий размеры канала,  $\alpha = b/h$ ;

$\varepsilon_{\Pi}$  – слой испарения, м/сут;

$h_0$  – глубина воды в канале, м;

$m_1$  – заложение верхового откоса;

$l_{\text{уч}}$  – длина канала (расчетного участка), м.

Технический КПД канала (рассматриваемого участка канала)  $\eta$  (без учета сброса) определяется по зависимости [11–13]:

$$\eta = 1 - \frac{Q_{\Pi}}{Q},$$

где  $Q$  – расход воды в канале на рассматриваемом участке, м<sup>3</sup>/с.

Согласно СП 100.13330.2016<sup>2</sup> КПД магистрального канала, распределителя, оросителя или их участков следует определять по формуле:

$$\eta_k = \frac{Q_{nt}^{max}}{Q_{br}^{max}},$$

где  $Q_{nt}^{max}$  – максимальный расход воды, подаваемый на орошение, м<sup>3</sup>/с;

$Q_{br}^{max}$  – максимальный расход воды брутто в голове канала с учетом потерь воды на фильтрацию и испарение по его трассе, м<sup>3</sup>/с.

В методических рекомендациях<sup>3</sup> КПД магистрального канала, распределителя, оросителя или их участков определяется по формуле:

$$\eta_k = \frac{W_{nt}}{W_{br}},$$

где  $W_{nt}$  – объем воды, поданной на орошение, м<sup>3</sup>;

$W_{br}$  – объем воды, забранной из водоисточника, м<sup>3</sup>.

Значение КПД канала в целом согласно СП 100.13330.2016 должно быть не менее 0,90 для магистральных каналов и его основных распределителей и 0,93 – для распределителей более низкого порядка.

На основе представленных методических рекомендаций разработана программа для ЭВМ «Фильтрационный расчет оросительных каналов на проницаемом основании» [14] на языке программирования Visual Basic for Applications, позволяющая автоматизировать процесс инженерных расчетов для количественной оценки фильтрационных потерь из насыпных участков каналов ООС с определением их КПД. Рабочая область программы для ЭВМ с результатами расчетов водопроводящей сети Яшкульского распределительного канала Черноземельской ООС представлена на рисунках 2 и 3.

---

<sup>2</sup>Мелиоративные системы и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.03-85: СП 100.13330.2016 (с изм. № 1): введ. в действие с 17.06.17. М.: Стандартинформ, 2017. 231 с.

<sup>3</sup>Методические рекомендации по оценке энергоэффективности мелиоративных объектов для трех природных условий, обеспечивающих экологически безопасное использование природно-ресурсного потенциала агроландшафтов: науч. изд. Коломна: ИП Воробьев О. М., 2015. 44 с.

| Исходные данные для расчетов:  |        |
|--|--------|
| Коэффициент заложения верхового откоса ( $m_1$ )                         | 1,5    |
| Коэффициент заложения низового откоса ( $m_2$ )                          | 2      |
| Глубина воды в канале ( $h_0$ ), м                                       | 1,9    |
| Ширина дамбы по гребню ( $b_{гр}$ ), м                                   | 3      |
| Действующий напор на дамбу (Н), м  | 3,1    |
| Ширина по дну (b), м   | 3      |
| Глубина воды за дамбой канала ( $h_1$ ), м                               | 0,96   |
| Коэффициент фильтрации грунта основания ( $k_0$ ), м/сут                 | 0,255  |
| Коэффициент фильтрации грунта дамбы ( $k_T$ ), м/сут                     | 0,255  |
| Превышение гребня дамбы над уровнем воды в канале (d), м                 | 0,3    |
| Толщина водопроницаемого основания ( $T_2$ ), м                          | 10     |
| Расход воды в канале на рассматриваемом участке (Q), м <sup>3</sup> /сут | 259200 |
| Длина расчетного участка ( $l_{рч}$ ), м                                 | 1300   |
| Слой испарения ( $e_n$ ), м/сут  | 0,0027 |

Расчет

| Результаты расчетов:  |                 |
|---|-----------------|
| Коэффициент, учитывающий крутизну верхового откоса ( $\beta$ )  | 0,375           |
| Ширина дамбы по основанию от уреза воды до сопряжения низового откоса (L), м  | 10,250          |
| Ширина эквивалентного профиля дамбы по основанию ( $L_p$ ), м   | 10,963          |
| Безразмерное фильтрационное сопротивление ( $\Phi_1$ )  | 0,012           |
| Дополнительное фильтрационное сопротивление под основанием русла ( $L_{дон}$ ), м   | 0,014           |
| <b>Удельный расход на фильтрацию через тело насыпной дамбы с проницаемым основанием (<math>q_T</math>), м<sup>2</sup>/сут</b>     | <b>0,122</b>    |
| Условная ширина дамбы по основанию ( $L_0$ ), м   | 14,900          |
| Фильтрационное сопротивление под основанием канала ( $\Phi_2$ )   | 0,012           |
| <b>Удельный фильтрационный расход в основании дамбы канала на водопроницаемом основании (<math>q_0</math>), м<sup>2</sup>/сут</b> | <b>0,333</b>    |
| Совокупный удельный расход воды на фильтрацию (q), м <sup>2</sup> /сут  | 0,912           |
| Смоченный периметр канала ( $\chi$ ), м   | 9,851           |
| Потери воды на фильтрацию на 1 м <sup>2</sup> смоченного периметра канала ( $q_{ф1м2}$ ), л/(сут · м <sup>2</sup> )               | 92,535          |
| <b>Потери воды на фильтрацию на всём расчетном участке канала (<math>q_{ф}</math>), м<sup>3</sup>/сут</b>                         | <b>1184,972</b> |
| Потери воды на испарение на расчетном участке ( $q_n$ ), м <sup>3</sup> /сут  | 30,537          |
| Непроизводительные потери воды на расчетном участке ( $Q_n$ ), м <sup>3</sup> /сут  | 1215,509        |
| <b>Технический КПД участка канала (<math>\eta</math>)</b>   | <b>0,995</b>    |

**Рисунок 2 – Результаты определения фильтрационных расходов, потерь и КПД для участка Яшкульского распределительного канала Черноземельской обводнительно-оросительной системы (по паспортным данным при максимальном наполнении)**

**Figure 2 – Results of determining filtration flow rates, losses and efficiency for the section of the Yashkul distribution channel of the Chernozemelskaya watering and irrigation system (according to passport data at maximum filling)**

В результате выполнения фильтрационных расчетов по предложенной методике (по двум вариантам исходных данных) получены значения удельного расхода на фильтрацию через тело дамбы  $q_T$  0,122 и 0,033 м<sup>2</sup>/сут при максимальном (1,9 м) и фактическом (на начало июня 2023 г. – 0,57 м) наполнении канала соответственно. Общий двусторонний удельный расход воды на фильтрацию  $q$  с учетом проницаемости основания канала и его дамб составил 0,912 и 0,445 м<sup>2</sup>/сут для первого и второго вариантов.

| Исходные данные для расчетов:  |        |
|--|--------|
| Коэффициент заложения верхового откоса ( $m_1$ )                         | 1,5    |
| Коэффициент заложения низового откоса ( $m_2$ )                          | 2      |
| Глубина воды в канале ( $h_0$ ), м                                       | 0,57   |
| Ширина дамбы по гребню ( $b_{гр}$ ), м                                   | 3      |
| Действующий напор на дамбу (Н), м  | 1,77   |
| Ширина по дну (b), м   | 2,74   |
| Глубина воды за дамбой канала ( $h_1$ ), м                               | 0,25   |
| Коэффициент фильтрации грунта основания ( $k_0$ ), м/сут                 | 0,255  |
| Коэффициент фильтрации грунта дамбы ( $k_r$ ), м/сут                     | 0,255  |
| Превышение гребня дамбы над уровнем воды в канале (d), м                 | 1,63   |
| Толщина водопроницаемого основания ( $T_2$ ), м                          | 10     |
| Расход воды в канале на рассматриваемом участке (Q), м <sup>3</sup> /сут | 77760  |
| Длина расчетного участка ( $l_{рч}$ ), м                                 | 1300   |
| Слой испарения ( $e_n$ ), м/сут  | 0,0027 |

Расчет

| Результаты расчетов:  |         |
|---|---------|
| Коэффициент учитывающий крутизну верхового откоса ( $\beta$ )   | 0,375   |
| Ширина дамбы по основанию от уреза воды до сопряжения низового откоса (L), м  | 12,245  |
| Ширина эквивалентного профиля дамбы по основанию ( $L_p$ ), м   | 12,459  |
| Безразмерное фильтрационное сопротивление ( $\Phi_1$ )  | 0,069   |
| Дополнительное фильтрационное сопротивление под основанием русла ( $L_{дон}$ ), м                                   | 0,083   |
| Удельный расход на фильтрацию через тело насыпной дамбы с проницаемым основанием ( $q_r$ ), м <sup>2</sup> /сут     | 0,033   |
| Условная ширина дамбы по основанию ( $L_0$ ), м   | 14,900  |
| Фильтрационное сопротивление под основанием канала ( $\Phi_2$ )   | 0,069   |
| Удельный фильтрационный расход в основании дамбы канала на водопроницаемом основании ( $q_0$ ), м <sup>2</sup> /сут | 0,190   |
| Совокупный удельный расход воды на фильтрацию (q), м <sup>2</sup> /сут  | 0,445   |
| Смоченный периметр канала ( $\gamma$ ), м   | 4,795   |
| Потери воды на фильтрацию на 1 м <sup>2</sup> смоченного периметра канала ( $q_{ф1м2}$ ), л/(сут · м <sup>2</sup> ) | 92,759  |
| Потери воды на фильтрацию на всём расчетном участке канала ( $q_{ф}$ ), м <sup>3</sup> /сут                         | 578,234 |
| Потери воды на испарение на расчетном участке ( $q_n$ ), м <sup>3</sup> /сут  | 15,620  |
| Непроизводительные потери воды на расчетном участке ( $Q_n$ ), м <sup>3</sup> /сут                                  | 593,853 |
| Технический КПД участка канала ( $\eta$ )   | 0,792   |

**Рисунок 3 – Результаты определения фильтрационных расходов, потерь и КПД для участка Яшкульского распределительного канала Черноземельской обводнительно-оросительной системы (по данным обследований в июне 2023 г.)**

**Figure 3 – Results of determining filtration costs, losses and efficiency for the section of the Yashkul distribution channel of the Chernozemelskaya watering and irrigation system (according to survey data in June 2023)**

Сопоставление полученных результатов с результатами расчета по известным зависимостям других ученых показало хорошую сходимость значений как относительных фильтрационных расходов через тело дамбы канала (с расхождением от плюс 0,25 до минус 5,04 %), так и общего двухстороннего удельного (относительного) фильтрационного расхода (с минимальным и максимальным расхождением 2,41 и 7,19 % соответственно).

Подробный анализ результатов фильтрационных расчетов подтверждает возможность использования предложенной методики для фильтрационного расчета однородных грунтовых дамб каналов на проницаемом основании без дренажа.

### **Выводы**

1 Хорошая сходимость значений относительных фильтрационных расходов с результатами расчета по известным зависимостям (с расхождением от плюс 0,25 до минус 5,04 %) подтверждает возможность использования предложенной методики для фильтрационного расчета однородных грунтовых дамб каналов на проницаемом основании без дренажа.

2 Методика расчета, представленная в виде программы для ЭВМ, в последующем может быть использована проектными и эксплуатирующими организациями. Практическое применение рекомендаций положительно повлияет на развитие отрасли в части своевременного принятия решений о проведении ремонтно-восстановительных работ на действующей водопроводящей сети оросительно-обводнительных систем.

3 Разработанная на основе выполненных исследований программа позволяет осуществлять расчет фильтрационных потерь воды на насыпных участках оросительных каналов, выполненных на проницаемом грунтовом основании (без дренажа), а также оценивать текущий КПД оросительной системы.

### **Список источников**

1. Сангаджиев М. М., Онкаев В. А. Вода Калмыкии – экология и современное состояние // Вестник Калмыцкого университета. 2012. № 3(15). С. 18–25. EDN: RMRTDB.
2. Баев О. А., Талалаева В. Ф., Бакланова Д. В. Результаты гидравлических расчетов каналов Черноземельской обводнительно-оросительной системы // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2024. Т. 14, № 1. С. 123–135. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1428> (дата обращения: 15.04.2024). DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-1-123-135. EDN: ODYXET.
3. Баев О. А. Обоснование методов гидравлических расчетов оросительных каналов // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2023. Т. 13, № 3. С. 274–295. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1391> (дата обращения: 10.10.2023). DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-3-274-295. EDN: MCZWUA.

4. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика / Г. В. Железняков, Ю. А. Ибад-заде, П. Л. Иванов, А. М. Латышенков, В. П. Недрига, А. С. Образовский, Д. Я. Раткович, Н. П. Розанов, В. С. Шайтан, А. Е. Асарин, В. В. Буренкова, И. А. Васильева, В. Г. Дианов, Г. М. Каганов, И. С. Клейн, Т. В. Колесникова, А. М. Мотинов, В. М. Павилонский, Г. И. Покровский, Н. Н. Розанов, В. И. Титова, С. А. Березинский, В. С. Забавин; под общ. ред. В. П. Недриги. М.: Стройиздат, 1983. 253 с.

5. Косиченко Ю. М., Бакланова Д. В. Расчет фильтрации через дамбу канала в насыпи и оценка риска аварийных ситуаций // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2012. № 4(168). С. 77–81. EDN: PAJZIH.

6. Косиченко Ю. М., Бакланова Д. В. Определение вероятного риска аварии крупного канала вследствие фильтрационных деформаций // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2012. № 1(5). С. 145–156. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=561> (дата обращения: 10.10.2023). EDN: OSKLFB.

7. Бакланова Д. В. Расчет фильтрации через земляные дамбы на проницаемом основании // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2016. № 1(21). С. 196–208. URL: [https://rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb13-гес402-field6.pdf](https://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-гес402-field6.pdf) (дата обращения: 10.10.2023). EDN: VQUGKL.

8. Бакланова Д. В. Расчетное обоснование вероятности разрушения потенциально опасных участков крупного канала от фильтрационных воздействий // Природообустройство. 2013. № 2. С. 43–48. EDN: QBDLNF.

9. Руководство по проектированию стен сооружений и противофильтрационных завес, устраиваемых способом «стена в грунте» / под ред. А. Л. Арсеньева, А. С. Снарского, Б. С. Федорова, В. Ф. Раюка; НИИОСП им. Н. М. Герсеева. М.: Стройиздат, 1977. 128 с.

10. Щедрин В. Н., Косиченко Ю. М., Шкуланов Е. И. Безопасность гидротехнических сооружений мелиоративного назначения. М.: Росинформагротех, 2011. 268 с. EDN: RMBXQZ.

11. Костяков А. Н. Основы мелиорации. 6-е изд., доп. и перераб. М.: Сельхозгиз, 1960. 622 с.

12. Косиченко Ю. М., Косиченко М. Ю., Иовчу Ю. И. Критерии эксплуатационной надежности оросительных каналов // Природообустройство. 2008. № 1. С. 70–73. EDN: KBDTXN.

13. Косиченко М. Ю., Иовчу Ю. И. Гидравлическая эффективность и надежность функционирования каналов оросительных систем // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2008. № 1(143). С. 75–79. EDN: KZRQMJ.

14. Фильтрационный расчет оросительных каналов на проницаемом основании: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2023667451 Рос. Федерация / Баев О. А., Бакланова Д. В., Гарбуз А. Ю.; заявитель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. Заявка № 2023665501; заявл. 24.07.23; опубл. 15.08.23. EDN: HOFTAQ.

## References

1. Sangadzhiev M.M., Onkaev V.A., 2012. *Voda Kalmykii – ekologiya i sovremennoe sostoyanie* [Water of Kalmykia – ecology and current state]. *Vestnik Kalmytского universiteta* [Bulletin of Kalmyk University], no. 3(15), pp. 18-25, EDN: RMRTDB. (In Russian).

2. Baev O.A., Talalaeva V.F., Baklanova D.V., 2024. [Results of hydraulic calculations of the Chernozemelskaya watering and irrigation system channels]. *Melioratsiya i gidrotehnika*, vol. 14, no. 1, pp. 123-135, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1428> [accessed 15.04.2024], DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-1-123-135, EDN: ODYXET. (In Russian).

3. Baev O.A., 2023. [Justification of hydraulic calculation methods for irrigation channels]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 3, pp. 274-295, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1391> [accessed 10.10.2023], DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-3-274-295, EDN: MCZWUA. (In Russian).

4. Zheleznyakov G.V., Ibad-zade Yu.A., Ivanov P.L., Latyshenkov A.M., Nedriga V.P., Obrazovsky A.S., Ratkovich D.Ya., Rozanov N.P., Shaitan V.S., Asarin A.E., Burenkova V.V., Vasilyeva I.A., Dianov V.G., Kaganov G.M., Klein I.S., Kolesnikova T.V., Motinov A.M., Pavilonsky V.M., Pokrovsky G.I., Rozanov N.N., Titova V.I., Berezinsky S.A., Zabavin V.S., 1983. *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya. Spravochnik proyektirovshchika* [Waterworks. Designer's Handbook]. Moscow, Stroyizdat Publ., 253 p. (In Russian).

5. Kosichenko Yu.M., Baklanova D.V., 2012. *Raschet fil'tratsii cherez dambu kanala v nasypi i otsenka riska aviariynykh situatsiy* [Calculation of filtration through the embankment of canal in fill and risk assessment for emergencies]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Technical Science], no. 4(168), pp. 77-81, EDN: PAJZIH. (In Russian).

6. Kosichenko Yu.M., Baklanova D.V., 2012. [Determination of the probable emergency risk of a large-scale canal due to the seepage deformations]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(5), pp. 145-156, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=561> [accessed 10.10.2023], EDN: OSKLFB. (In Russian).

7. Baklanova D.V., 2016. [Calculation of filtration through earthen dams at permeable foundation]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(21), pp. 196-208, available: [https://rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb13-rec402-field6.pdf](https://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec402-field6.pdf) [accessed 10.10.2023], EDN: VQUGKL. (In Russian).

8. Baklanova D.V., 2013. *Raschetnoe obosnovanie veroyatnosti razrusheniya potentsial'no opasnykh uchastkov krupnogo kanala ot fil'tratsionnykh vozdeystviy* [The calculated substantiation of the destruction probability of potentially dangerous parts of a large canal resulted from filtration impacts]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 2, pp. 43-48, EDN: QBDLNF. (In Russian).

9. Arsenyev A.L., Snarsky A.S., Fedorov B.S., Rayuk V.F. (ed.), 1977. *Rukovodstvo po proektirovaniyu sten sooruzheniy i protivofil'tratsionnykh zaves, ustraivaemykh sposobom "stena v grunte"* [Guide to the Design of Walls of Structures and Anti-Filtration Curtains Constructed Using the "Wall-in-the-Ground" Method]. Gersevanov Research Institute of Bases and Underground Structures, Moscow, Stroyizdat Publ., 128 p. (In Russian).

10. Shchedrin V.N., Kosichenko Yu.M., Shkulanov E.I., 2011. *Bezopasnost' gidrotekhnicheskikh sooruzheniy meliorativnogo naznacheniya* [Security of Waterworks for Reclamation Purposes]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 268 p., EDN: RMBXQZ. (In Russian).

11. Kostyakov A.N., 1960. *Osnovy melioratsii* [Fundamentals of Land Reclamation]. 6<sup>th</sup> ed., add. and rev. Moscow, Selkhozgiz Publ., 622 p. (In Russian).

12. Kosichenko Yu.M., Kosichenko M.Yu., Iovchu Yu.I., 2008. *Kriterii ekspluatatsionnoy nadezhnosti orositel'nykh kanalov* [Criteria for operational reliability of irrigation canals]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 1, pp. 70-73, EDN: KBDTXN. (In Russian).

13. Kosichenko M.Yu., Iovchu Yu.I., 2008. *Gidravlicheskaya effektivnost' i nadezhnost' funktsionirovaniya kanalov orositel'nykh sistem* [Hydraulic efficiency and reliability of the irrigation system channel operation]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Technical Science], no. 1(143), pp. 75-79, EDN: KZRQMJ. (In Russian).

14. Baev O.A., Baklanova D.V., Garbuz A.Yu., 2023. *Fil'tratsionnyy raschet orositel'nykh kanalov na pronitsaemom osnovanii* [Filtration Calculation of Irrigation Channels on a Permea-

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2024. Т. 93, № 2. С. 249–263.  
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2024. Vol. 93, no. 2. P. 249–263.

ble Base]. Certificate of State Computer Program Registration of the Russian Federation, no. 2023667451, EDN: HOFTA0. (In Russian).

---

#### ***Информация об авторах***

**О. А. Баев** – ведущий научный сотрудник, доктор технических наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, Oleg-Baev1@ya.ru, AuthorID: 699695, ORCID ID: 0000-0003-0142-4270;

**В. Ф. Талалаева** – младший научный сотрудник, аспирант, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, vika-silchenko@mail.ru, AuthorID: 988798, ORCID ID: 0000-0002-2541-204X.

#### ***Information about the authors***

**O. A. Baev** – Leading Researcher, Doctor of Technical Sciences, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, Oleg-Baev1@ya.ru, AuthorID: 699695, ORCID ID: 0000-0003-0142-4270;

**V. F. Talalaeva** – Junior Researcher, Postgraduate Student, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, vika-silchenko@mail.ru, AuthorID: 988798, ORCID ID: 0000-0002-2541-204X.

*Вклад авторов: О. А. Баев – формирование цели и задач исследования, выполнение расчетов, участие в написании статьи; В. Ф. Талалаева – сбор и анализ данных, подготовка иллюстративного материала, подготовка выводов, подготовка статьи.*

*Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.*

*Contribution of the authors: O. A. Baev – formulated the goals and objectives of the study, performed calculations, participated in writing the article; V. F. Talalaeva – collected and analyzed data, prepared illustrative material, made conclusions, wrote the article.*

*All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 25.04.2024; одобрена после рецензирования 03.05.2024; принята к публикации 11.06.2024.*

*The article was submitted 25.04.2024; approved after reviewing 03.05.2024; accepted for publication 11.06.2024.*