Научная статья
УДК 627.824.7:532.546

РАСЧЕТ ФИЛЬТРАЦИИ ЧЕРЕЗ ЗЕМЛЯНУЮ ПЛОТИНУ С ВНУТРЕННИМ ДРЕНАЖЕМ

М.Н. Кокоев[1,*], А.Б. Балкизов[2], В.М. Казиев[2], Б.Х. Амшоков[2], А.С. Сасиков[2]

[1] Кабардино-Балкарский государственный университет, Нальчик, Россия
[2] ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, Нальчик, Россия
[*] E-mail: kbagrostroy@yandex.ru

Аннотация. В практике гидротехнического строительства и проектирования расчет фильтрации земляной плотины с внутренним дренажем одна из трудных задач. Поэтому, рассматривая задачу в рамках установившейся фильтрации, через земляную плотину с внутренним дренажем была упрощена расчетная схема фильтрации, определяя ее как частный случай, перенося объемный криволинейный четырехугольник в прямоугольник, принимая к рассмотрению плоское сечение. Такой подход, предопределяет основную задачу не как устранение, а как проектирование такой фильтрационной схемы, которая обеспечивает безопасный отвод воды, предотвращает суффозию и гарантирует долговременную устойчивость сооружения.

Ключевые слова: *плотина; фильтрация; дренаж; грунт; дрена; низовой откос.*

Для цитирования: Кокоев М.Н., Балкизов А.Б., Казиев В.М., Амшоков Б.Х., Сасиков А.С. Расчет фильтрации через земляную плотину с внутренним дренажем // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2026. Т. 12, № 1. С. 59-68.

Original article

CALCULATION OF FILTRATION THROUGH AN EARTH DAM WITH INTERNAL DRAINAGE

M.N. Kokoev[1,*], F.B. Balkizov[2], V.M. Kaziev[2], B.Kh. Amshokov[2], A.S. Sasikov[2]

[1] Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, Russia
[2] Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kabardino-Balkarian State Agrarian University, Nalchik, Russia
[*] E-mail: kbagrostroy@yandex.ru

Abstract. In hydraulic engineering and design, calculating the seepage of an earthen dam with internal drainage is a challenging task. Therefore, by considering the problem within the framework of steady-state seepage through an earthen dam with internal drainage, the seepage calculation model was simplified, defining it as a special case by transforming the volumetric curvilinear quadrilateral into a rectangle, assuming a flat cross-section. This approach defines the primary objective not as elimination, but as the design of a seepage system that ensures safe water drainage, prevents suffusion, and guarantees the long-term stability of the structure.

Key words: *water intake; sediment; flow; flushing; river; losses; particle size distribution.*

For citation: Kokoev M.N., Balkizov A.B., Kaziev V.M., Amshokov B.Kh., Sasikov A.S. Calculation of filtration through an earth dam with internal drainage // *Bulletin of science and education of the North-West of Russia*. 2025. Vol. 12, No. 1, pp. 59-68.

ISSN 2413–9858

Введение

Для накопления воды в целях орошения, водоснабжения, защиты от наводнений, строительства водохранилищ, использование земляных плотин остаётся актуальным благодаря таким их преимуществам, как низкая стоимость, простота строительства и универсальность применения, что делает их важной частью комплексных гидроузлов и гидротехнического строительства в целом.

Цель работы.

Совершенствование фильтрационного расчета при установившейся фильтрации через земляную плотину с внутренним дренажем, методом конформных отображений, в рамках допущения о не сжимаемости жидкости.

Задачи исследования.

В рамках установившейся фильтрации через земляную плотину с внутренним дренажем упростить расчетную схему фильтрации, рассматривая ее как частный случай, перенося объемный криволинейный четырехугольник в прямоугольник, принимая к рассмотрению плоское сечение.

Исходные данные

Рассматриваемая в данной работе схема земляной плотины с внутренним дренажем является наиболее общей и поэтому исходные данные приняты на примере берегоукрепительных работ реки Нальчик, водохранилищ и дамб по защите от подтоплений Кабардино-Балкарской республики.

Методика и результаты исследования

Фильтрация воды через земляную плотину — это сложный, но управляемый физический процесс, описываемый законом Дарси [1], который устанавливает линейную зависимость между скоростью фильтрации и градиентом напора.

Добавление дренажа в конструкцию земляной плотины кардинально меняет картину фильтрации и является ключевым элементом обеспечения ее безопасности. Расчет фильтрации через земляную плотину с внутренним дренажем — одна из наиболее трудных задач плоской установившейся фильтрации, на базе предпосылки о несжимаемой жидкости.

Поэтому при расчете фильтрации через такие плотины приходится значительно упрощать схему фильтрации, рассматривать лишь некоторые частные случаи. Так, например, еще Ф. Б. Нельсоном-Скорняковым [2,3] была решена задача о фильтрации через земляную плотину с заглубленной дреной, расположенной в области низового откоса.

Однако принятая в работах [4,5] схема является лишь частным случаем общей схемы фильтрации рассматриваемого здесь класса задач (рис. 1).

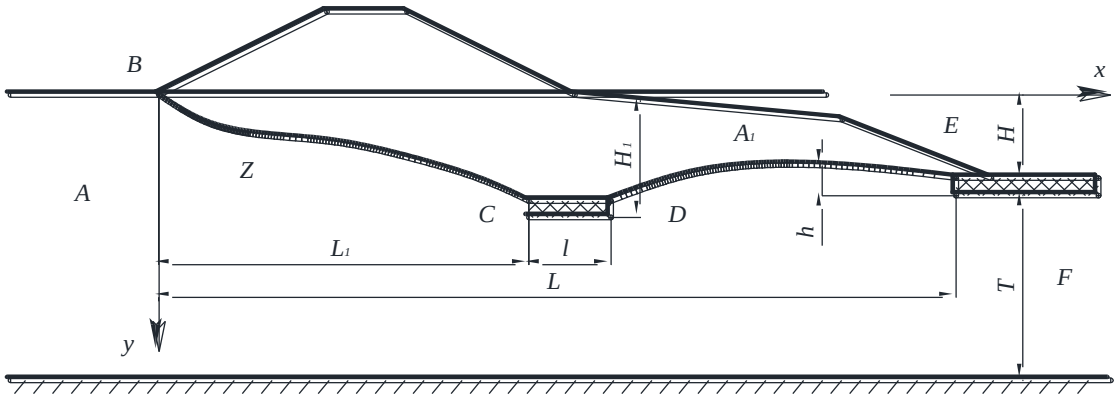


Рисунок 1 – Расчетная схема фильтрации через земляную плотину с заглубленным дренажем

Не останавливаясь на некоторых других частных решениях, заметим, что в достаточно полной постановке решены задачи для довольно сложных схем фильтрации через земляные плотины с внутренним дренажем в работах [6, 7].

Рассматриваемая в данной работе схема земляной плотины с внутренним дренажем является наиболее общей и поэтому включает в себя все отмеченные выше схемы. Область комплексного потенциала $\omega = \varphi + i\psi$ в данном случае изображается в виде прямолинейного семиугольника (рис. 2, *а;* область ω_1). Найти точное решение данной задачи очень трудно, но даже и полученное решение было бы малоэффективным для практических расчетов. Поэтому будем решать поставленную здесь задачу при помощи одного приближенного метода конформных отображений.

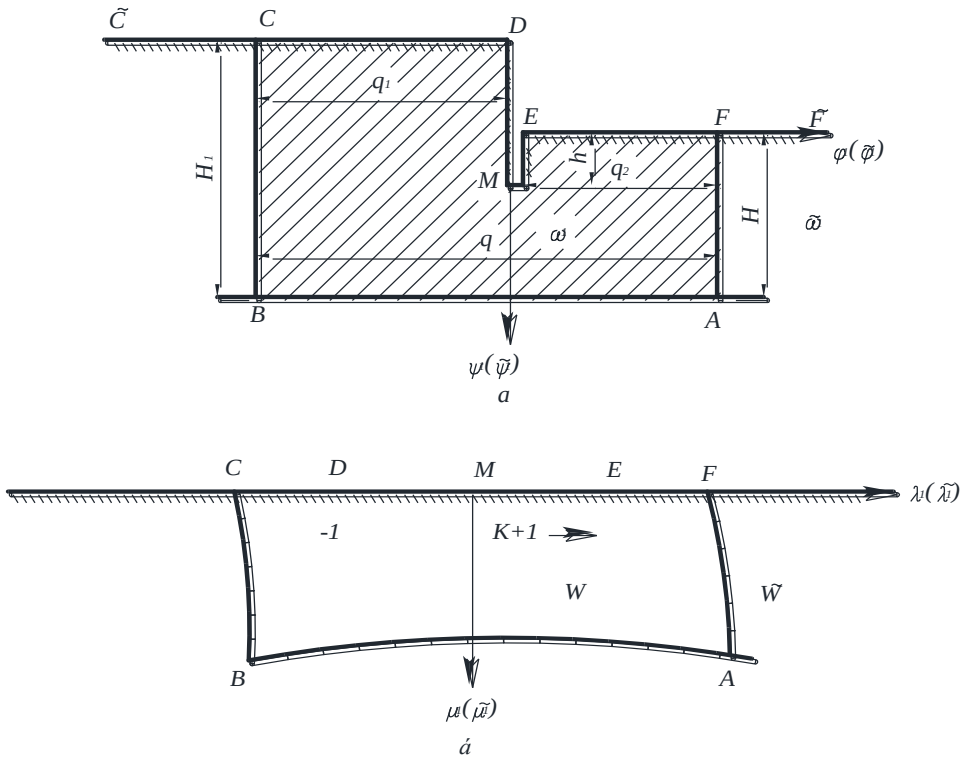


Рисунок 2 – Расчетная схема приближенного метода конформного отображения земляной плотины с внутренним дренажем

Для этого приближенно отобразим область комплексного потенциала на вспомогательную полуплоскость ζ. Так как такое отображение в данной задаче занимает существенное место, то следуя П. Ф. Фильчакову [8], будем называть его основным. Зная основное отображение, легко отобразить полуплоскость ζ на область функции Жуковского [9,10]

$$G = z - i\frac{\omega}{\chi},$$

где z — комплексная переменная исходной области фильтрации; коэффициент фильтрации.

Чтобы осуществить основное отображение, преобразуем сначала область комплексного потенциала ω к удобному для дальнейших рассуждений виду ω_1 (рис. 2, *а)* при помощи соотношения [11,12]

$$\omega_1 = \varphi_1 + i\psi_1 = -\frac{i}{\chi[\omega - (\chi H + iQ)]} \quad (1)$$

или

$$\varphi_1 = \frac{\psi}{\chi} - q_1; \quad \psi_1 = H - \frac{\varphi}{\chi} \tag{2}$$

где q_1 — приведенный удельный фильтрационный расход; H — действующий напор.

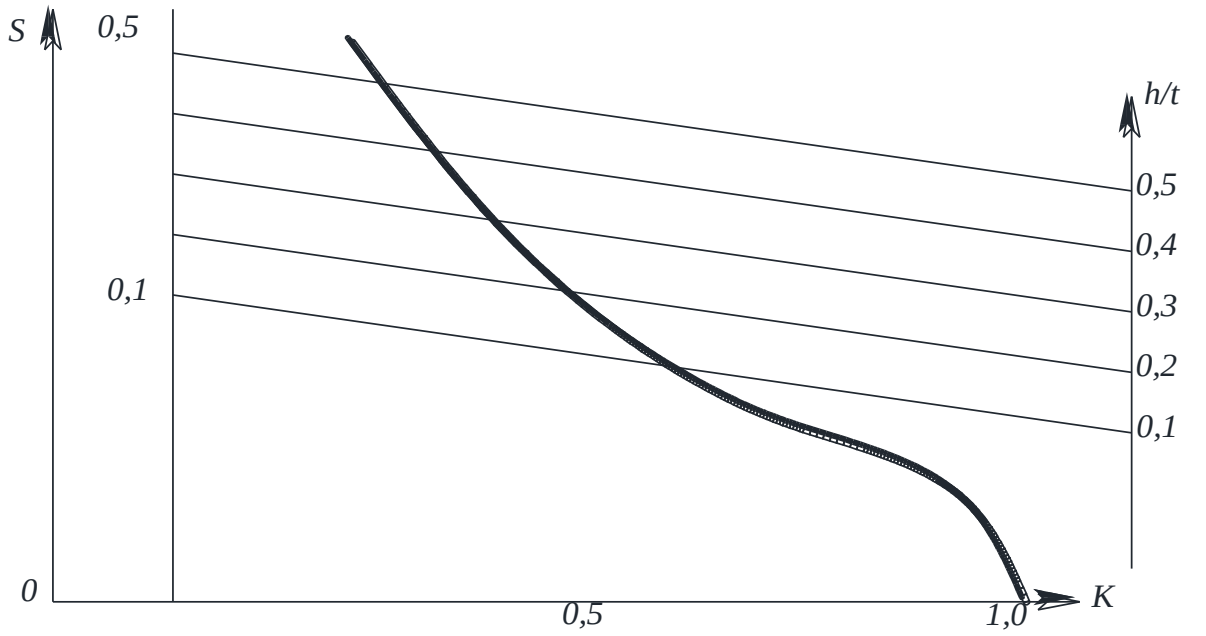


Рисунок 3 – График определения константы k для различных значений отношений $\frac{h}{t}$

Рассмотрим расширенную область ω_1 (рис 2,а) представляющую четырехугольник *CDMEF* с углами — π , $\frac{\pi}{2}$, и $\frac{\pi}{2}$. Как видно из рис. 2, *а,* расширенная область ω_1 выбрана так, чтобы часть ее границы полностью совпадала с частью *CDMEF* границы области ω_1. Затем отобразим область ω_1 на нижнюю полуплоскость $\widetilde{W} = \tilde{\lambda} + \tilde{\mu}$ воспользовавшись интегралом Кристоффеля-Шварца [13]

$$\tilde{\omega}_1 = A_1 \int_0^{\widetilde{W}} \frac{z-k}{\sqrt{z^2-1}} dz + A_2 \tag{3}$$

или после интегрирования

$$\tilde{\omega}_1 = A_1 \left(\sqrt{\widetilde{W}^2 - 1} - k \operatorname{Arch} \widetilde{W} \right) + A_2 \tag{4}$$

Определив постоянные и из соответствия точек (рис.2, *а*, *б*), запишем отображающую функцию в виде

$$\tilde{\omega}_1 = \frac{t}{k\pi\left(\sqrt{\tilde{W}^2 - 1} - k\mathrm{Arch}\tilde{W}\right)} \quad (5)$$

где константа k определяется уравнением

$$\frac{h\pi}{t} = \frac{\sqrt{1-k^2}}{k} - arccosk \quad (6)$$

причем $t = H_1 - H$.

Для различных значений отношения $\frac{h}{t}$ константа k определяется как точка пересечения кривых (рис. 3):

$$S\left(k, \frac{h}{t}\right) = \frac{h}{t}\pi + \mathrm{arccos}k \;;$$

$$S(k) = \frac{\sqrt{1-k^2}}{k}, \qquad (0 < k < 1) \quad (7)$$

Чтобы определить искомое преобразование, введем вспомогательную переменную

$$W_1 = \lambda_1 + i\mu_1 = \sqrt{\tilde{W}^2 - 1} \quad (8)$$

Учитывая выражение (8) и то, что Arch $\tilde{W} = \mathrm{Arch}\sqrt{\tilde{W}^2 - 1}$, из формулы (5) получим

$$W_1 = \mathrm{sh}\left(\frac{W_1}{k} - \frac{\pi\tilde{\omega}_1}{k}\right) \quad (9)$$

Очевидно, преобразования (6) и (7), где $\tilde{W}$ и $\tilde{\omega}_1$ необходимо соответственно заменить на W и ω_1, конформно отображают прямолинейный семиугольник ω_1 на криволинейный четырехугольник W (рис. 2, *а*, *б*). Для того чтобы найти приближенно вершины криволинейного четырехугольника W , воспользуемся разложением в ряд

$$\mathrm{Arcsh}W_1 = \ln 2W_1 + \frac{1}{2*2*W_1^2} - \frac{1*3}{2*4*4*W_1^4} + \cdots ,$$

который сходится в области значений $|W_1| \geq 1$. Ограничиваясь только первым членом данного ряда, из соотношения (9) получим итерационные формулы для нахождения *n*-го приближения значений λ_1 и μ_1:

$$(\lambda_1)_n = f(\lambda_1, \mu_1) = k\left[\frac{\pi}{t}\varphi_1 + \ln 2 + \frac{1}{2}\ln\left(\lambda_1^2 + \mu_1^2\right)\right];$$

$$[\,[(\mu\,]_1 1)\,]\,{}^{\uparrow}n = g(\lambda_1 1, \mu_1 1) = k[\pi/t\,(\psi_1 1 + r) + arctg\,\mu_{\downarrow}1/(\lambda_1 1\;))] \quad (10)$$

Итерационный процесс (10) сходится [1], так как функции $f(\lambda_1 1\,, \mu_1 1)$ и $g(\lambda_1, \mu_1)$ непрерывно дифференцируемы в рассматриваемой области искомых значений λ_1 и μ_1 и для всех $\lambda_1 > 1$ и $\mu_1 > 1$ выполняются неравенства

$$\left|\frac{\partial f}{\partial \lambda_1}\right| + \left|\frac{\partial f}{\partial \mu_1}\right| = k\frac{|\lambda_1| + |\mu_1|}{\lambda_1^2 + \mu_1^2} < 1 \;;$$

$$\left|\frac{\partial g}{\partial \lambda_1}\right| + \left|\frac{\partial g}{\partial \mu_1}\right| = k\frac{|\lambda_1| + |\mu_1|}{\lambda_1^2 + \mu_1^2} < 1 \qquad (11)$$

В качестве нулевого приближения в формулах (10) удобно положить $\lambda_1 = \pi\varphi_1, \mu_1 = \psi_1$. Чтобы уточнить найденные по формулам (10) значения $[(\lambda]_1)_n$ и $[(\mu]_1)_n$, запишем соотношение (9) в развернутом виде:

$$\lambda_1 = \mathbf{sh}\left(\frac{\lambda_1}{k} - \frac{\pi}{t}\varphi_1\right)\cos\left(\frac{\mu_1}{k} - \frac{\pi\psi_1}{t}\right);$$

$$\mu_1 = \mathbf{ch}\left(\frac{\lambda_1}{k} - \frac{\pi}{t}\varphi_1\right)\sin\left(\frac{\mu_1}{k} - \frac{\pi\psi_1}{t}\right) \qquad (12)$$

Тогда уточненное значение величин λ_1 и μ_1 можно определить по методу оптимизации Ньютона из системы

$$[(\lambda]_1)_{n+1} = (\lambda_1)_n - \frac{1}{\Delta}\begin{vmatrix} F_n, & \frac{\partial F_n}{\partial \mu_1} \\ G_n, & \frac{\partial G_n}{\partial \mu_1} \end{vmatrix};$$

$$[(\mu]_1)_{n+1} = (\mu_1)_n - \frac{1}{\Delta}\begin{vmatrix} \frac{\partial F_n}{\partial \lambda_1} & F_n, \\ \frac{\partial G_n}{\partial \lambda_1} & G_n, \end{vmatrix} \qquad (13)$$

где

$$\Delta = \begin{vmatrix} \frac{\partial F_n}{\partial \lambda_1}, & \frac{\partial F_n}{\partial \mu_1} \\ \frac{\partial G_n}{\partial \lambda_1}, & \frac{\partial G_n}{\partial \mu_1} \end{vmatrix} \qquad (14)$$

$$F(\lambda_1, \mu_1) = \lambda_1 - sh\left(\frac{\lambda_1}{k} - \frac{\pi\varphi_1}{t}\right)\cos\left(\frac{\mu_1}{k} - \frac{\pi\psi_1}{t}\right)$$

$$G(\lambda_1, \mu_1) = \mu_1 - ch\left(\frac{\lambda_1}{k} - \frac{\pi\varphi_1}{t}\right)\cos\left(\frac{\mu_1}{k} - \frac{\pi\psi_1}{t}\right) \qquad (15)$$

Значения функций F_n и G_n и их частных производных вычисляют при $\lambda_1 = (\lambda_1)_n$, $\mu_1 = (\mu_1)_n$.

Итак, по формулам (8), (10) и (13) можно с достаточной степенью точности определить вершины *A, B, C* и *F* криволинейного четырехугольника W.

Аппроксимируя (согласно [14]) полученный криволинейный четырехугольник W соответствующим, прямоугольником W * (возможно параллелограммом), прямоугольник легко отобразить на нижнюю полуплоскость ζ, а затем и на область функции Жуковского G.

Этим самым осуществлено основное отображение, зная его и учитывая, что прямоугольник W * отображается на вспомогательную полуплоскость при помощи

эллиптического синуса, можно записать характеристическую функцию течения и найти неизвестные фильтрационные характеристики

$$\zeta = sn\left[\frac{W^* - \lambda_c}{a} 2K - K\right] \quad (16)$$

причем модуль m полного эллиптического интеграла первого рода K, входящего в формулу (16), определяется из соотношения

$$\frac{b}{a} = \frac{K'}{2K} \quad (17)$$

где a и b — стороны прямоугольника W^*, а λ_c — абсцисса вершины C.

Заключение

Результаты фильтрационного расчета земляных плотин с использованием конформных отображений многогранны и приводят к следующим основным выводам и количественным показателям.

1. Определение количественных параметров фильтрационного потока.

Кривая депрессии – это главное уравнение (график), показывающее положение уровня грунтовых вод (пьезометрической поверхности) внутри тела плотины и в ее основании, что наглядно демонстрирует просачивание воды через плотину.

Положение депрессионной кривой напрямую влияет на силы, действующие в грунте. Насыщенный водой грунт тяжелее, а поровое давление воды снижает эффективные напряжения, уменьшая прочность.

2. Оценка устойчивости и безопасности тела плотины.

Оценка фильтрационной прочности (суффозии), сравниваются действительные градиенты в теле плотины и, особенно, в зоне выхода воды на низовой откос, с критическими градиентами для грунтов тела плотины и основания. Если действительный градиент превышает критический, начинается вынос мелких частиц грунта (суффозия), что может привести к образованию промоин и разрушению.

Прогнозирования возникновения кривых высачивания.

3. Конструктивные выводы и проектные решения, основа для принятия ключевых проектных решений.

На основании фильтрационного расчета подбирается тип и параметры противофильтрационного элемента:

- размеры и конфигурацию ядра или экрана (глинистого, бетонного, асфальтобетонного);
- необходимость и параметры зуба или шпунтовой стенки в основании для перекрытия водоносного слоя;

На основе положения депрессионной кривой и расхода фильтрации проектируется:

- конструкция и мощность дренажа;
- дренажный банкет (размеры, материал);
- дренажную призму (распушка) в низовой части;
- дренирующие прослойки.

Если расчет выявил фильтрацию через основание с опасными градинатами, проектируется завеса (глинизация, цементация) или понур (водонепроницаемое или маловодопроницаемое покрытие) дна водохранилища.

4. Прогноз долгосрочного поведения земляной плотины.

Математическое моделирование позволяет оценить, как будет меняться депрессионная кривая при быстром заполнении или понижении нормального уровня водохранилища, позволяет предусмотреть запас надежности на случай частичного снижения эффективности дренажа со временем.

Фильтрационный расчет не является самоцелью. Это инструмент, результаты которого прямо приводят к технически и экономически обоснованному проекту, гарантирующему, что плотина будет безопасно пропускать фильтрационный поток без размыва, суффозии или потери устойчивости на протяжении всего срока службы. Без этого расчета проектирование грунтовой плотины считается недопустимым.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Darcy H. Les fontaines publiques de la ville de Dijon: exposition et application des principes à suivre et des formules à employer dans les questions de distribution d'eau. Paris: V. Dalmont, 1856. 647 p.

2. Нельсон-Скорняков Ф.Б. Фильтрация в однородной среде: монография. Москва: Изд-во «Советская наука», 1949. 279 с.

3. Расчет подпертой фильтрации из земляных русел / М.Н. Кокоев, В.М. Казиев, Б.Х. Амшоков и др. // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2024. Т.10, №4. С. 27-36.

4. Лаврик В.И. Расчет дренажных каналов при фильтрации из рек и бассейнов // Вопросы математической физики и теории функций. Киев: Наукова думка, 1964. С. 81-85.

5. Лаврик В.И. Савенков В.Н. Справочник по конформным отображениям. Киев: Наукова думка, 1970. 736 с.

6. Лаврик В.И, Олейник А.Я. Расчет фильтрации через земляную плотину на проницаемом основании конечной мощности с внутренним дренажем // Прикладная механика, 1965. Выпуск 10. С.93-102.

7.Амосов А. А., Дубинский Ю. А., Копченова Н. П. Вычислительные методы для инженеров: учеб. пособие. Москва: Высшая школа, 1994. 544 с.

8. Фильчаков П.Ф. Численные и графические методы прикладной математики: справочник. Киев: Наукова думка, 1970. 791 с.

9. Расчет пространственной фильтрации воды к горизонтальной дрене конечной длины в однородном потоке / Б.Х. Амшоков, Т.А. Сасиков, А.А. Анахаев и др. // Инженерный вестник Дона. 2024. № 5. С. 271-282.

10. Уиттекер Э., Робинсон Т. Математическая обработка результатов наблюдений. Москва: Изд-во «ЁЁ Медиа», 2025. 385 с.

11. Пособие по проектированию методов регулирования водно-теплового режима верхней части земляного полотна (к СНиП 2.05.02-85). Москва: Стройиздат 1989. 86 с.

12. Евграфов М. А. Аналитические функции. Москва: Наука, 1991. 448 с.

13.Формула Кристоффеля – Шварца. URL: https://bigenc.ru/c/formula-kristoffelia-shvartsa-f904bd (дата обращения 09.10.2025)

14. Цуй Синь, Чжао Баоюй, Чжан Юэсянь. Исследование кавитационных явлений на гидротехнических сооружениях и в гидротурбинах. Ленинград, ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1967. 83 с.

REFERENCES

1. Darcy H. *Les* fontaines publiques de la ville de Dijon: exposition et application des principes à suivre et des formules à employer dans les questions de distribution d'eau. Paris: V. Dalmont, 1856. 647 p.

2. Nelson-Skornyakov F.B. *Fil'traciya v odnorodnoj srede: monografiya* [Filtration in a Homogeneous Environment]. Moscow: Sovetskaya Nauka, 1949. 279 p.

3. *Raschet podpertoj fil'tracii iz zemlyanyh rusel* [Calculation of Supported Seepage from Earthen Channels]. M.N. Kokoev, V.M. Kaziev, B.H. Amshokov i dr. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*. 2024. Vol.10, No.4, pp. 27-36.

4. Lavrik V.I. *Raschet drenazhnyh kanalov pri fil'tracii iz rek i bassejnov funkcij* [Calculation of drainage channels with seepage from rivers and basins]. *Voprosy matematicheskoj fiziki i teorii*. Kyiv: Naukova Dumka, 1964, pp. 81-85.

5. Lavrik V.I. Savenkov V.N. *Spravochnik po konformnym otobrazheniyam* [Handbook of Conformal Mappings]. Kyiv: Naukova Dumka, 1970. 736 p.

6. Lavrik V.I., Oleynik, A.Ya. *Raschet fil'tracii cherez zemlyanuyu plotinu na pronicaemom osnovanii konechnoj moshchnosti s vnutrennim drenazhem* [Calculation of seepage through an earth dam on a permeable foundation of finite thickness with internal drainage]. *Prikladnaya mekhanika.* 1965. Vol. 10, pp. 93-102.

7. Amosov A.A., Dubinsky Yu.A., Kopchenova N.P. *Vychislitel'nye metody dlya inzhenerov: ucheb. posobie* [Computational Methods for Engineers: a textbook]. Moscow: Vysshaya shkola, 1994. 544 p.

8. Fil'chakov P.F. *Chislennye i graficheskie metody prikladnoj matematiki: spravochnik* [Numerical and graphical methods of applied mathematics: a handbook]. Kyiv: Naukova Dumka, 1970. 791 p.

9. Amshokov B.H., Sasikov T.A., Anahaev A.A. i dr. *Raschet prostranstvennoj fil'tracii vody k gorizontal'noj drene konechnoj dliny v odnorodnom potoke* [Calculation of the spatial seepage of water to a horizontal drain of finite length in a uniform flow]. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2024. No 5, pp. 271-282.

10. Uitteker E., Robinson T. *Matematicheskaya obrabotka rezul'tatov nablyudenij* [Mathematical processing of observation results]. Moscow: Izd-vo «YoYo Media», 2025. 385 p.

11. *Posobie po proektirovaniyu metodov regulirovaniya vodno-teplovogo rezhima verhnej chasti zemlyanogo polotna (k SNiP 2.05.02-85*) [Manual for designing methods for regulating the water-thermal regime of the upper part of the subgrade (to SNiP 2.05.02-85)]. Moscow: Stroyizdat 1989. 86 p.

12. Evgrafov M.A. *Analiticheskie funkcii* [Analytical Functions]. Moscow: Nauka, 1991. 448 p.

13. Formula Kristoffelya – Shvarca. URL: https://bigenc.ru/c/formula-kristoffelia-shvartsa-f904bd (data obrashcheniya 09.10.2025).

14. Cui Xin, Zhao Baoyu, Zhang Yuexian. *Issledovanie kavitacionnyh yavlenij na gidrotekhnicheskih sooruzheniyah i v gidroturbinah* [Study of cavitation phenomena in hydraulic structures and hydraulic turbines]. Leningrad, VNIIG im. B.E. Vedeneeva, 1967. 83 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ	INFORMATION ABOUT THE AUTHORS
Кокоев Мухамед Нургалиевич – профессор, доктор технических наук, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный университет, (360004, Россия, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173), e-mail: kbagrostroy@yandex.ru.	Kokoev Mukhamed Nurgalievich – Prof., Dr. Sci. (Eng), Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kabardino-Balkarian State University, (360004, Russia, Nalchik, Chernyshevsky St., 173), e-mail: kbagrostroy@yandex.ru.
Балкизов Афрасим Баширович – доцент, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, (360030, Россия, г.	Balkizov Afrasim Bashirovich – Assoc. Prof., Ph.D. (Eng), Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kabardino-Balkarian State Agrarian

Нальчик, пр. Ленина, 1в), e-mail: afrasim_1960@mail.ru	University, (360030, Russia, Nalchik, Lenin Ave., 1v), e-mail: afrasim_1960@mail.ru
Казиев Валерий Михайлович – доцент, кандидат экономических наук, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, (360030, Россия, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в), e-mail: val-kaziev@mail.ru.	Kaziev Valery Mikhailovich – Assoc. Prof., Ph.D. (Econ), Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kabardino-Balkarian State Agrarian University, (360030, Russia, Nalchik, Lenin Ave., 1v), e-mail: val-kaziev@mail.ru.
Амшоков Батыр Хаширович – доцент, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, (360030, Россия, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в), e-mail: ambat72@mail.ru.	Amshokov Batyr Khashirovych – Assoc. Prof., Ph.D. (Eng), Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kabardino-Balkarian State Agrarian University, (360030, Russia, Nalchik, Lenin Ave., 1v), e-mail: ambat72@mail.ru.
Сасиков Анатолий Сергеевич – доцент, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, (360030, Россия, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в), e-mail: rufus1972@mail.ru.	Sasikov Anatoly Sergeevich – Assoc. Prof., Ph.D. (Eng), Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kabardino-Balkarian State Agrarian University, (360030, Russia, Nalchik, Lenin Ave., 1v), e-mail: rufus1972@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 17.11.2025; одобрена после рецензирования 15.12.2025, принята к публикации 31.01.2026.
The article was submitted 17.12.2025; approved after reviewing 15.12.2025; accepted for publication 31.01.2026.