

up to the street Berezovaya alleya the necessary volumes are calculated (WPM) along the length of the river, on the spaces of the served territories, on the number of structures in operation of hydro technical districts (OHTD).

Meteorological and hydrological conditions; flooding forecast of the territory; efficiency of water protection measures, works on river operation, technologies of water protection works.

References

1. Otchet NKF Volga «Sostoyanie reki Yauza na 2004 g.» – M.: VNIGIM, 2010. – 273 s.
2. Stroitelnye normy i provila. «Kanalizatsiya. Naruzhnye seti i sooruzhwniya». SNiP 2.04.03-141 c.. <http://rosavtodor.ru/storage/b/2014/03/25/2.04.03-85.pdf>
3. **Ratkovich L.D., Markin V.N., Glazunova I.V., Sokolova S.A.** – Faktory vliyaniya diffuznogo zagryazneniya na vodnye objekty. // Prirodoobustrojstvo. – 2016. – № 3. – S. 64-75.
4. **Glazunova I.V., Barsukova M.V.** Analiz predotvrashchennyh ushcherbov ot zagryazneniya vody pri kompjuternyh raschetah parametrov bioinzhenernyh sooruzhenij // Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie. – 2017. – № 2. – S. 66-70.
5. **Markin V.N., Ratkovich L.D., Glazunova I.V.** Osobennosti metodologii kompleksnogo vodopoljzovaniya. Monografiya. – M.: RGAU-MSHA imeni K.A. Timiryazeva, 2016. – 117 s.

The material was received at the editorial office 19.11.2017

Information about the authors

Glazunova Irina Victorovna, candidate of technical sciences, associate pro-

fessor, Department of the integrated use of water resources and hydraulics – Federal State Budgetary Institution – Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Russia, 127550, Timiryazevskaya street, 49, building 28; a researcher of All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after. A.N. Kostyakov, Russia, Moscow; tel.: (8-499)976-23-49; e-mail: ivglazunova@mail.ru

Voronina Ksenia Petrovna, postgraduate student of the correspondence faculty, Department of the integrated use of water resources and hydraulics – Federal State Budgetary Institution – Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Russia, 127550, Timiryazevskaya street, 49, building 28, tel: (8-499)9762156, xenya.voronina2014@mail.ru

Barsukova Mariya Vasiljevna, associate professor of environmental engineering department, – Federal State Budgetary Institution – Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Russia, 127550, Timiryazevskaya street, 49, building 28, (8-499)9762156), gribovaa@rambler.ru

УДК 502/504:627.8.034.93:631.4

DOI 10.26897/1997-6011/2018-3-46-50

А.Е. КАСЬЯНОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

РАСЧЕТ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ НАРУШЕНИЙ КАНАЛОВ ЛОКАЛЬНО НЕОДНОРОДНЫХ ГРУНТАХ

Ложье ловчих коллекторных каналов русла отрегулированных водоприемников может разрушать фильтрационные потоки. В наибольшей мере этот процесс проявляется в условиях локально неоднородных грунтов, когда проницаемость локального включения существенно отличается от проницаемости основания ложка канала. Такие гидрогеологические условия характерны для пойменных и лесных земель. Вблизи контура включения формируются зоны с повышенными скоростями и градиентами фильтрационного потока, которые вызывают суффозию и контактный размыв. Решается задача стационарной плоской фильтрации в ложье канала, содержащем включение, проницаемость которого отличается от проницаемости грунта основания. Используется теорема об окружности и аналитическое продолжение

характеристической функции. Получены аналитические зависимости скорости и градиентов фильтрации внутри и вне включения. Наиболее существенное влияние на параметры фильтрации оказывает скорость фильтрационного потока в бесконечности и соотношение проницаемостей включения и грунта основания ложа канала. Если проницаемость включения ниже проницаемости грунта основания, то скорость фильтрации в основании повышается. Повышение скорости пропорционально разности проницаемостей включения и основания ложа канала. Влияние включения на скорость фильтрации и градиент фильтрационного потока снижается по квадратической зависимости по мере удаления от его контура. При проектировании и эксплуатации каналов необходимо учитывать особенности фильтрации на участках канала с включениями.

Гидромеханический расчет фильтрации, ложа канала, характеристическая функция фильтрационного течения, теорема об окружности, аналитическое продолжение характеристической функции, включение в основание ложа канала, скорость фильтрации, градиент фильтрационного потока

Введение. Через дно и откосы в ловчие, коллекторные и картовые каналы, русла отрегулированных водоприемников, в осушители мелиоративных систем на лесных землях поступают фильтрационные потоки грунтовых вод. Фильтрационные потоки вызывают суффозию, контактный размыв и способствуют нарушению ложа канала. В наибольшей мере этот процесс проявляется в условиях локально неоднородных грунтов, когда проницаемость локального включения существенно отличается от проницаемости основания ложа канала. Такие гидрогеологические условия характерны для пойменных и лесных земель [1, 2]. В зоне локального включения отмечаются повышенная скорость фильтрации и повышенный градиент фильтрационного потока, которые способствуют разрушению ложа канала. При проектировании каналов необходимо учитывать параметры фильтрационного потока в зоне локального включения. Гидромеханический метод расчета позволяет найти указанные величины. Решается плоская задача стационарной фильтрации в ложе канала, размещенного в однородном грунте, содержащем включение, проницаемость которого отличается от проницаемости основного массива грунта.

Материалы и методы исследований. Вдоль дна канала пролегает локальное включение грунта, отображаемое полукругом радиуса R , где $2R$ – ширина включения, aR – его глубина. Коэффициенты фильтрации основания ложа канала – k_1 , включения – k_2 . В русле канала есть слой воды h . Наблюдается плоская стационарная фильтрация в ложе канала. Скорость фильтрации потока V . Схема размещения локального включения и ложа канала показана на рисунке 1.

Параметры фильтрационного потока дают элементы характеристической функции фильтрационного течения $f(z) = \varphi + i\psi$, где φ – потенциал скорости течения; ψ – функция тока; i – мнимая единица. Для определения элементов характеристической функции воспользуемся теоремой об окружности и методом аналитического продолжения [3, 4]. Назовем область фильтрации вне включения $|z| > R$ зоной 1, а внутри включения $|z| < R$ – зоной 2. Обозначим параметры течения, относящиеся к указанным зонам, соответствующими индексами 1 и 2. Фильтрационное течение создает точечный источник бесконечно большой мощности q , размещенный в точке с координатами $y = -i\infty$.

Так как поверхность дна канала является эквипотенциалью $\varphi = -k_1 h$, выполним аналитическое продолжение характеристической функции течения в верхнюю полуплоскость плоскости z , которое заключается в симметричном продолжении зон 1 и 2 в верхнюю полуплоскость и размещении в точке с координатами $x = 0$ и $y = +i\infty$ точечного стока бесконечно большой мощности q . В результате в плоскости z мы получаем бесконечный слой грунта проницаемости k_1 , содержащий круговое включение радиуса R , заполненное грунтом проницаемости k_2 . В слое наблюдается плоско-параллельное стационарное фильтрационное течение под действием точечных источника и стока бесконечно большой мощности q , которые размещаются в точках с координатами $x = 0$, $y = -i\infty$ и $x = 0$, $y = +i\infty$ (рис. 2).

Характеристические функции фильтрационного течения в зонах 1 и 2 соответственно будут иметь вид:

$$\omega_1(z) = Viz + \lambda \frac{VR^2}{iz} + C_1, \quad (1)$$

$$\omega_2(z) = (1 - \lambda)Viz + C_2, \quad (2)$$

где: V – скорость фильтрации потока в бесконечности;

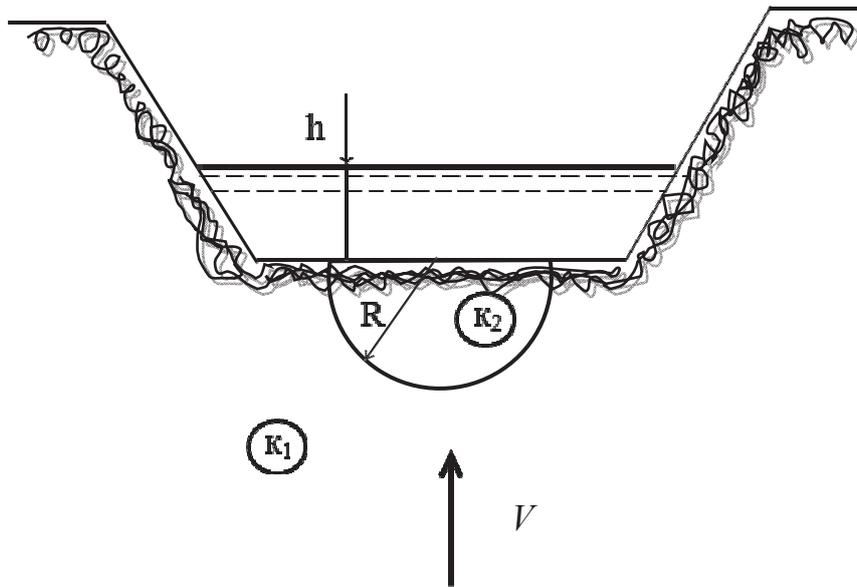


Рис. 1. Схема размещения локального включения в основании ложа канала

C_1, C_2 – постоянные;

$$\lambda = \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2}.$$

Продифференцировав выражение (1) по z , найдем комплексную скорость фильтрации $U_1(z)$ в зоне 1.

$$U_1(z) = U_{1X} - iU_{1Y} = Vi + \lambda \frac{VR^2}{z^2} i. \quad (3)$$

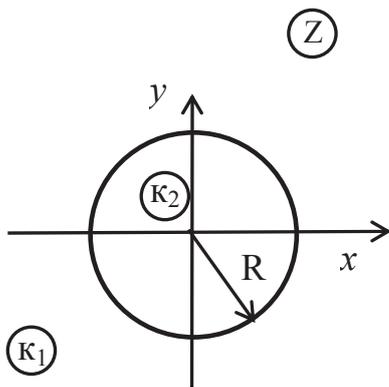


Рис. 2. Схема для расчета фильтрации в ложе канала в бесконечном слое грунта при наличии кругового включения

Выделив мнимую часть (3), найдем вертикальную $U_1(x, y)$ скорость фильтрации в зоне 1: U

$$U_1(x, y) = V + \lambda \frac{VR^2(x^2 - y^2)}{(x^2 + y^2)^2}. \quad (4)$$

Положив $y = 0$, из (4) получим вертикальную скорость фильтрации в верхнем слое дна канала:

$$U_1(x, 0) = V + \lambda \frac{VR^2}{x^2}. \quad (5)$$

Скорость фильтрации внутри включения будут описывать зависимости (3) – (5) без последнего члена, умноженные на коэффициент $(1 - \lambda)$. Градиент скорости фильтрации в верхнем слое дна канала вне включения J_1 определяется делением $U_1(x, 0)$ на k_1 , а внутри включения – $J_2 - U_2(x, 0)$ на k_2 . Разрушению ложа канала будут способствовать суффозия и контактный размыв. Вероятность суффозии участка дна канала возможна при градиенте $J_i > J_{кр}^c$, где $J_{кр}^c$ – критический градиент суффозии. Вероятность контактного размыва возможна при градиенте $J_i > J_{кр}^{к.р.}$, где $J_{кр}^{к.р.}$ – критический градиент контактного размыва.

Скорость фильтрации на контуре включения в зоне 1 дает подстановка в (5) $x = R$.

$$U_1(R, 0) = (1 + \lambda)V. \quad (6)$$

Скорость фильтрации на контуре включения в зоне 2 дает зависимость

$$U_2(R, 0) = (1 - \lambda)V. \quad (7)$$

Геометрию сечения локального включения более точно отображает половина эллипса. Расчет для этого случая включает конформное преобразование эллипса

на плоскости z в концентрические окружности риманновой поверхности на плоскости z_1 . Аналитические зависимости параметров фильтрационного потока от параметров включения и основания ложа канала содержат бесконечные ряды и цепные дроби. Ход расчетов аналогичен представленному выше.

Результаты исследований. Анализ зависимостей для расчета скорости фильтрации в верхнем слое дна канала (5), (6), (7) показывает следующее. Наиболее существенное влияние на ее величину оказывает скорость фильтрационного потока в бесконечности V , а также соотношение проницаемостей грунта основания ложа канала и включения, которое характеризуется величиной λ . Если проницаемость включения k_2 больше проницаемости грунта основания ложа канала k_1 ($\lambda < 0$), то скорость фильтрации вне включения по отношению скорости фильтрации в бесконечности снижается. Так, при изменении λ в четыре раза от (-0.2) до (-0.8) скорость фильтрации вне включения по отношению к скорости фильтрации в бесконечности снижается от $0.8V$ до $0.2V$. В противном случае, когда k_1 больше k_2 ($\lambda > 0$) скорость фильтрации вне включения по отношению к скорости фильтрации в бесконечности повышается. Так, при изменении λ в 4 раза от $0,2$ до $0,8$ отмечается повышение скорости фильтрации от $1,2V$ до $1,8V$. Обратная зависимость характерна для скорости фильтрации внутри включения. При

$k_2 > k_1$ ($\lambda < 0$) скорость фильтрации по отношению к скорости фильтрации в бесконечности внутри включения повышается. При $k_2 < k_1$ ($\lambda > 0$) отмечается обратная зависимость.

Из уравнения (5) видно, что влияние включения на фильтрационный поток снижается по мере удаления от его контура по квадратичной зависимости. Так, скорость фильтрации в точке $x = 4R$ снижается по сравнению со скоростью фильтрации в точке $x = R$ в 16 раз.

Выводы

Локальные включения с проницаемостью, отличающейся от проницаемости грунта основания ложа каналов, формируют повышенные скорости и градиенты фильтрационного потока. Они способствуют нарушению дна и откосов каналов.

Даны аналитические формулы расчета скорости фильтрации градиента в верхнем слое ложа канала при наличии локального включения. Наибольшее влияние на параметры фильтрационного потока оказывает скорость фильтрации потока в бесконечности V , соотношение проницаемостей включения и грунта основания ложа канала, характеризуемое λ . Если проницаемость включения меньше проницаемости грунта основания, то вблизи включения отмечается повышение скорости фильтрации. При четырехкратном изменении λ разница между скоростями фильтрации внутри и вне включения составляет 50%. Изменение скорости фильтрации вне включения по мере удаления от его контура снижается по квадратичной зависимости.

При проектировании каналов, в которые поступают фильтрационные потоки, необходимо количественно учитывать особенности фильтрации при наличии включений в основания его ложа. Расчет можно выполнять по предложенным формулам. Служба эксплуатации должна обращать особое внимание на участки каналов с включениями.

Библиографический список

1. **Касьянов А.Е.** Природоохранные технологии осушительных мелиораций. Монография. – М.: ФГБОУ ВПО МГУП, 2012. – 196 с.
2. **Пчелкин В.В.** Обоснование мелиоративного режима осушаемых пойменных земель. Монография. – М.: КолосС, 2003. – 253 с.
3. **Мильн-Томсон Л.М.** Теоретическая гидродинамика. – М.: Изд-во Мир, 1964. – 660 с.
4. **Полубаринова-Кочина П.Я.** Теория фильтрации грунтовых вод. – М.: Наука, 1977. – 664 с.

Материал поступил в редакцию
21.12.2017 г.

Сведения об авторе

Касьянов Александр Евгеньевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Мелиорации и рекультивации земель» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Б. Академическая д.44, e-mail: kasian64@mail.ru

A.E. KASYANOV

Federal state budgetary institution of higher education «Russian state agrarian university – Moscow Timiryazev agricultural academy», Moscow, Russian Federation

CALCULATION OF FILTRATION FAILURES OF CHANNELS IN THE LOCALLY HETEROGENEOUS SOILS

A bed of trappers, collector canals and channels of adjusted water receivers can destroy filtration flows. To the greatest extent this process appears under the conditions of locally heterogeneous inhomogeneous soils, when permeability of the local inclusion significantly differs from the permeability of the channel bed base. Such hydro geological conditions are characteristic for floodplain and forest lands. Near the inclusion contour zones with increased velocities and gradients of the filtration flow are formed which cause suffosion and contact erosion. There is solved a problem of stationary flat filtration in the channel bed containing an inclusion the permeability of which differs from that of the base soil. We use a circle theorem and analytic continuation of the characteristic function. Analytic dependences of the velocity and gradients of the filtration inside and outside the inclusion are obtained. The most significant effect on the filtration parameters is made by the filtration flow velocity at infinity and the ratio of the inclusion permeability and soil bed of the channel. If the inclusion permeability is lower than the base soil permeability, the filtration rate at the base increases. The increase in speed is proportional to the difference of the inclusion permeability and the channel bed base. The inclusion effect on the filtration rate and gradient of the filtration flow decreases according to the quadratic dependence as per removing from its contour. When designing and operating the channels it is necessary to take into account the filtration features in sections of the channel with inclusions.

Hydro mechanical calculation of filtration, channel bed, characteristic filtration flow function, circle theorem, analytic continuation of the characteristic function, inclusion in the channel bed base, filtration rate, filtration flow gradient

References

1. **Kasyanov A.E.** Prirodoohrannye tehnologii osushitel'nyh melioratsij: monografiya. – M.: FGBOU VPO MGUP, 2012. – 196 s.
2. **Pchelkin V.V.** Obosnovanie meliorativnogo rezhima osushaemyh poimennyh zemel: monografiya. – M.: KolosS, 2003. – 253 s.
3. **Miljn-Tomson L.M.** Teoreticheskaya gidrodinamika. – M.: Izd-vo Mir, 1964. – 660 s.
4. **Polubarinova-Kochina P.Ya.** Teoriya filtratsii gruntovyh vod. – M.: Nauka, 1977. – 664 s.

The material was received at the editorial office 21.12.2017

Information about the author

Kasyanov Aleksandr Evgenjevich, doctor of technical sciences, professor of the chair «Lands reclamation and recultivation» RGAU-MTAA, 127550, Moscow, ul. B. Akademicheskaya, d.44, e-mail: kasian64@mail.ru