

дис. ... канд. с.-х. наук. – М.: НИИ картофельного хозяйства, 1984. – 220 с.

6. **Али Аджидж Басам.** Исследование методов и разработка установок для физико-химической очистки природных вод от нитратов и нитритов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: МГУП, 1995. – 25 с.

7. **Поддубная О. В.** Сезонная динамика минеральных форм азота в водных источниках, прилегающих к техногенным объектам: Агрохимия и экология: история и современность: материалы Международной научной конференции. – Н.Новгород: ВВАГС, 2008. – Т.3. – С. 75–78.

8. **Седых В. А., Савич В. И., Сидоренко О. Д.** Применение в земледелии органических удобрений на основе птичьего помета. – М.: РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева, 2011. – 172 с.

9. **Лысенко В. П., Еськов А. И., Нови-**

ков М. Н. Подготовка и переработка помета на птицефабриках. – Сергиев-Посад: РАСХН, ВНИТИП, 2006. – 107 с.

Материал поступил в редакцию 21.12.12.

Байбеков Роман Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАСХН, заместитель директора по научной работе

Тел. 8 (499) 976-47-89

Дубенок Николай Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАСХН

Тел. 8 (499) 124-84-90

Савич Виталий Игоревич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Тел. 8 (499) 976-16-17

Седых Владимир Александрович, доктор биологических наук, генеральный директор

Тел. 8-985-725-00-15

УДК 502/504:631.6

А. Е. КАСЬЯНОВ

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

ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ФИЛЬТРАЦИИ В МЕЛИОРАЦИИ

Приведены гидромеханические решения задач фильтрации в локально-неоднородных плоских областях течения. Рассмотрена фильтрация к дренам в траншейной засыпке, фильтрация к дрене в дренажном фильтре. Даны гидромеханические решения задач фильтрации в трехмерных областях течения. Выполнен расчет фильтрации к сходящимся дренам участка контроля дренажа.

Задачи фильтрации, фильтрация в локально-неоднородной плоскости, дрена в траншейной засыпке, дрена в дренажном фильтре, фильтрация в трехмерных областях течения.

There are given hydromechanical solutions of filtration problems in locally heterogeneous flat areas of the flow. There is considered a filtration to the drains in the trench filling, filtration to the drain in the drainage filter. Hydromechanical solutions of the filtration problems are given in the flow three-dimensional areas. Filtration calculation is fulfilled to the convergent drains of the drainage control site.

Filtration problems, filtration in the locally heterogeneous plane, drain in the trench filling, drain in the drainage filter, filtration in the flow three-dimensional areas.

Гидромеханические методы решения задач фильтрации широко применяли в гидротехнике и мелиорации до середины XX века. Рассматривали плоские движения в вертикальной плоскости в

однородных и слоистых грунтах. Были получены классические решения задач фильтрации к дренажной щели на водопоре, к дрене без водопора, к плоскому флютбету без водопора, к флютбету с

дренажным отверстием. А. Н. Костяков, В. В. Ведерников, С. Ф. Аверьянов дали свои решения задач стационарной фильтрации к дренам в грунтах без водоупора и при наличии водоупора [1]. В. В. Ведерников и С. Ф. Аверьянов исследовали гидромеханическими методами фильтрацию из каналов. Решения включали конформные отображения области фильтрации на полуплоскость, метод инверсий [2]. Значительное число задач фильтрации методами гидромеханики было решено П. Я. Полубариновой-Кочиной [3].

Гидромеханические методы дают картину течения, включая координаты линий тока, равных потенциалов, скоростей фильтрации, градиентов напора во всех точках области течения. Они позволяют найти аналитические зависимости параметров фильтрации от элементов конструкции техноприродных систем. Применение этих методов к изучению нестационарной фильтрации, к фильтрации в неоднородных областях течения со сложными границами, трехмерных не осесимметричных течений встречает затруднения. Интенсивное развитие численных методов расчета фильтрации во второй половине XX века замедлило развитие гидромеханических методов. Расчетная схема показана на рис. 1. Над подошвой пахотного слоя имеется слой воды H (S – расстояние между вертикальными осями дрены и включения). Рассматривается плоская стационарная фильтрация.

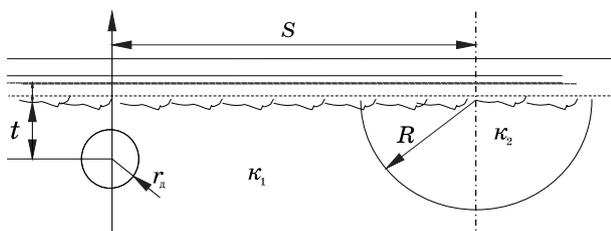


Рис. 1. Схема для расчета фильтрации к дренам при наличии включения в грунте

Заменяем дренау точечным стоком обильностью $-q$ с координатой $\bar{z}_0 = x_0 - ti$, где x_0 – абсцисса точечного стока; t – глубина заложения центра дрены относительно подошвы пахотного слоя; i – мнимая единица. Выполняем аналитическое продолжение функции течения из нижней полуплоскости в верхнюю полуплоскость комплексной плоскости $z = x +$

yi и получаем течение в безграничной области фильтрации под действием точечных источника $+q$ с координатой z_0 и стока $-q$ при наличии кругового включения (рис. 2).

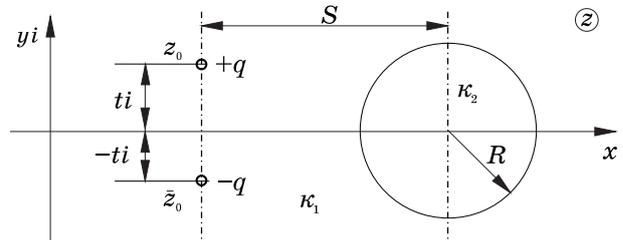


Рис. 2. Схема для расчета фильтрации к дренам в бесконечном слое грунта при наличии кругового включения

Теорема об окружности дает следующие выражения для комплексного потенциала течения в грунте $\omega_1(z)$ и внутри включения $\omega_2(z)$:

$$\omega_1(z) = \frac{q}{2\pi} \left(\ln \frac{z - z_0}{z - \bar{z}_0} + \lambda \ln \frac{z - \bar{z}_{01}}{z - z_{01}} \right) + C_1; \quad (1)$$

$$\omega_2(z) = \frac{q}{2\pi} (1 - \lambda) \ln \frac{z - z_0}{z - \bar{z}_0} + C_2; \quad (2)$$

$$z_{01} = S + \frac{R^2}{z_0 - S}; \quad \bar{z}_{01} = S + \frac{R^2}{\bar{z}_0 - S};$$

$$\lambda = (K_1 - K_2) / (K_1 + K_2),$$

где C_1 и C_2 – постоянные.

Найдем потенциал скорости течения в зоне K_1 , выделив действительную часть из (1):

$$\varphi_1(x, y) = \frac{q}{2\pi} \left(\ln \sqrt{\frac{(x - x_0)^2 + (y - t)^2}{(x - x_0)^2 + (y + t)^2}} + \lambda \ln \sqrt{\frac{A^2 + B^2}{A^2 + B^2}} \right) + C_3, \quad (3)$$

$$\text{где } A = \left(x - S - \frac{R^2(x_0 - S)}{(x_0 - S)^2 + t^2} \right); \quad B = (y + U);$$

$$B = (y + U); \quad U = \frac{R^2 t}{(x_0 - S)^2 + t^2}; \quad C_3 - \text{ постоянная.}$$

За контур дрены, как это делали С. Ф. Аверьянов, П. Я. Полубаринова-Кочина, принимаем эквипотенциаль $\varphi_1 = -K_1(-t + r_d)$, проходящую через точку с координатами $x = x_0; y = -t + r_d$. Положим, $C_3 = -K_1 H$, чтобы при $y = 0$ выполнялось очевидное условие $\varphi(x = 0) = -K_1 H$. Подставим в (3) заданные

условия и, пренебрегая r_d , найдем:

$$q = \frac{2\pi K_1(H + t - r_d)}{\ln\left(\frac{2t}{r_d}\right) + \lambda \ln \sqrt{\frac{A_0^2 + B_0^2}{A_0^2 + B_0^2}}}, \quad (4)$$

где $x = x_0$; $B_0 = B$; $y = -t + r_d$.

Если ось дрены совпадает с осью полукруглого включения ($x_0 = S$), выражение (4) упрощается:

$$q = \frac{2\pi K_1(H + t - r_d)}{\ln\left(\frac{2t}{r_d}\right) + \lambda \ln \frac{t^2 + R^2}{t^2 - R^2}}. \quad (5)$$

Для оценки действия дренажа необходимо знать значения скорости фильтрации в любой точке области течения. Дифференцируем характеристическую функцию течения $\omega_1(z)$ по z и получим комплексную скорость фильтрации $v_1(z)$ в зоне K_1 :

$$v_1(z) = v_{1x} - iv_{1y} = \frac{q}{2\pi} \left(\left(\frac{1}{z - z_0} - \frac{1}{z - \bar{z}_0} \right) + \lambda \left(\frac{1}{z - \bar{z}_0} - \frac{1}{z - z_0} \right) \right). \quad (6)$$

Дифференциал $\omega_2(z)$ по z дает комплексную скорость фильтрации $v_2(z)$ внутри включения в зоне K_2 :

$$v_2(z) = v_{2x} - iv_{2y} = (q/2\pi) (1 - \lambda) ((z - z_0)^{-1} - (z - \bar{z}_0)^{-1}). \quad (7)$$

Разделив (6) на мнимую и действительную части, найдем вертикальную v_{1y} и горизонтальную v_{1x} составляющие скорости фильтрации в зоне K_1 :

$$v_{1y} = -\frac{q}{2\pi} \left(-\frac{y+t}{(x-x_0)^2 + (y+t)^2} - \frac{y-t}{(x-x_0)^2 + (y-t)^2} \right) + \lambda \left(\frac{y+t^*}{(x-x_0^*)^2 + (y+t^*)^2} - \frac{y-t^*}{(x-x_0^*)^2 + (y-t^*)^2} \right); \quad (8)$$

$$x_0^* = S + \frac{R^2(x_0 - S)}{(x_0 - S)^2 + t^2}; \quad t^* = \frac{R^2 t}{(x_0 - S)^2 + t^2};$$

$$v_{1x} = \frac{q}{2\pi} \left(\frac{x-x_0}{(x-x_0)^2 + (y+t)^2} - \frac{x-x_0}{(x-x_0)^2 + (y-t)^2} \right) + \lambda \left(\frac{y+t^*}{(x-x_0^*)^2 + (y-t^*)^2} - \frac{y-t^*}{(x-x_0^*)^2 + (y+t^*)^2} \right). \quad (9)$$

Если ось дрены совпадает с осью включения, то $x_0^* = S$; $t^* = R^2/t$; и v_{1y} можно переписать так:

$$v_{1y} = -\frac{q}{2\pi} \left(-\frac{y+t}{(x-S)^2 + (y+t)^2} - \frac{y-t}{(x-S)^2 + (y-t)^2} \right) + \lambda \left(\frac{y+t^*}{(x-S)^2 + (y+R^2/t)^2} - \frac{y-t^*}{(x-x_0^*)^2 + (y-R^2/t)^2} \right); \quad (10)$$

$$v_{1y} = -\frac{q}{2\pi} \left(-\frac{y+t}{(x-S)^2 + (y+t)^2} - \frac{y-t}{(x-S)^2 + (y-t)^2} \right) + \lambda \left(\frac{y+t^*}{(x-S)^2 + (y+R^2/t)^2} - \frac{y-t^*}{(x-x_0^*)^2 + (y-R^2/t)^2} \right). \quad (11)$$

Скорость фильтрации внутри включения будут описывать зависимости (8)... (11) без последней скобки, умноженные на коэффициент $(1-\lambda)$.

Выводы

Полученное решение распространяется на бесконечное число дрен и круговых включений. Конформные отображения на окружности включений с границами, описываемыми различными кривыми, дают решения задач фильтрации: дрена в дренажном фильтре; дрена в однородной траншейной засыпке; дрена в неоднородной траншейной засыпке; рыхление средних частей междренней; уплотнение средних частей междренней. Решения позволяют оценить градиенты напора на границах неоднородностей, динамику скоростей фильтрации на междренье. Эти данные необходимы для определения параметров элементов конструкции дренажа и оценки его экологических характеристик.

1. **Аверьянов С. Ф.** Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 84 с.

2. **Аверьянов С. Ф.** Фильтрация из каналов. – М.: Колос, 1982. – 237 с.

3. **Полубаринова-Кочина П. Я.** Теория фильтрации грунтовых вод. – М.: Наука, 1977. – 664 с.

4. **Касьянов А. Е.** Природоохранные технологии осушительных мелиораций: монография. – М.: ФГБОУ ВПО МГУП, 2012. – 196 с.

Материал поступил в редакцию 17.04.13.

Касьянов Александр Евгеньевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Мелиорация и рекультивация земель»
Тел. 8 (499) 976-30-70
E-mail: kasian64@vail.ru