

УДК 626.87: 631.6

ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ РАСЧЕТ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ КОЛОНОК-ПОГЛОТИТЕЛЕЙ

В.М. Макоед, старший научный сотрудник
РУП «Институт мелиорации»

Ключевые слова: колонка-поглотитель, коэффициент фильтрации, фильтрующая засыпка, рабочая зона фильтрации, пропускная способность

Введение

В настоящее время расчет колонок-поглотителей проводится в соответствии с главой 6 Пособия ПИ-98 к СНиП 2.06.03-85 [1], при этом фильтрационные сопротивления дренажных труб определяются по РПИ-82 [2]. Анализ расчета пропускной способности типовых колонок-поглотителей на основе расчетных зависимостей, приведенных в [1,2], показывает, что основная расчетная формула (формула Дарси) отражает процесс фильтрации воды от поверхности почвы к дрене. В Пособии [1] расчетный коэффициент фильтрации колонки-поглотителя определяется как средневзвешенная величина между значениями коэффициентов фильтрации пахотного слоя и фильтрующей засыпки колонки так же, как при расчете дренажа в двухслойной среде. Но при вертикальной фильтрации, в условиях которой работают колонки-поглотители, пропускная способность конструкции зависит от проницаемости слоя с наименьшим коэффициентом фильтрации, где бы он ни находился – на поверхности или в виде прослойки внутри фильтрующей засыпки. В колонках-поглотителях отношение коэффициентов фильтрации засыпки и пахотного слоя колеблется от 8 до 100 раз и более, поэтому засыпка (ПГС, гравий, фашина) является просто дренажем, отводящим воду из пахотного слоя. При этом наблюдается разрыв фильтрационного потока, а, следовательно, уравнение Дарси не применимо. Расчетами по [1] это не учитывается.

Расчетный градиент фильтрации в [1] также определяется по аналогии с расчетами дренажа, т.е. с учетом гидравлических сопротивлений перфорации дренажной трубы, фильтра и т.д. В действительности при вертикальной фильтрации воды через фильтрующую засыпку к дрене расход воды лимитируют коэффициент фильтрации засыпки и ее мощность (толщина).

В типовых проектных решениях КП-1, КП-2 и ФП-1 [3], несмотря на слой крупнопористого материала (гравий, фашина) над дреной 0,5-0,7 м, вследствие наличия пахотного слоя толщиной 0,2-0,3 м с коэффициентом фильтрации около 1 м/сут пропускная способность конструкции будет определяться именно этим малопроницаемым слоем.

Расчетная площадь фильтрации в [1] определяется шириной траншеи и длиной

дрены в конструкции. При этом не учитывается, что в продольном сечении фильтрующая засыпка кверху расширяется (уклон примерно 0,25...1,25), за счет чего рабочая зона фильтрации увеличивается.

Анализ показывает, что требуется разработка новых расчетных схем и зависимостей для расчета пропускной способности колонок-поглотителей различных конструкций.

Основные результаты исследований и обсуждение

Исследования, проведенные на гидравлическом стенде и на моделях ЭГДА [4, 5], показали, что основная доля расхода конструкции – это расход, поступающий вертикально через сечение проекции нижнего или среднего элемента. Кроме того, дополнительно вода поступает и из засыпки верхнего элемента, находящейся вне контура проекции нижнего или среднего элементов, что можно учесть с помощью введения поправочных коэффициентов.

На рис. 1 приведена принципиальная расчетная схема усовершенствованной конструкции колонки-поглотителя КПФ-1 [4] с уширенным верхним водоприемным элементом (площадь сечения 10 м²) и толщиной 0,3-0,4 м. Средний водопроводящий элемент совмещен с нижним водоотводящим элементом и имеет объемный фильтр из ПГС вокруг фильтрующей вставки из гофрированной дренажной трубы с фильтром, подключенной к дрене соединительными фильтрующими муфтами. Средний и нижний элементы имеют ширину 0,5 м и расчетную длину. В приведенной конструкции вода из верхнего элемента поступает в нижний не только в пределах контура проекции нижнего элемента, а и с прилегающей зоны, т. е. рабочая зона фильтрации значительно больше площади проекции нижнего элемента.

Рассмотрим основную зависимость, характеризующую ламинарную фильтрацию в пористой среде применительно к расчетной схеме конструкции КПФ-1 [5].

$$Q = F \cdot K_{\phi} \cdot J, \quad (1)$$

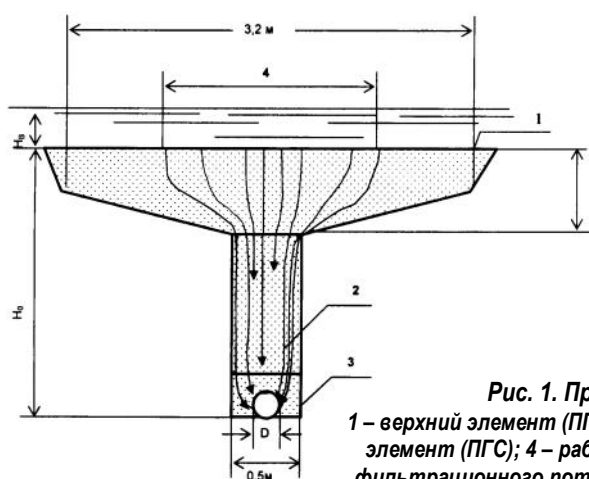


Рис. 1. Принципиальная расчетная схема КПФ-1.
1 – верхний элемент (ПГС); 2 – средний элемент (ПГС); 3 – нижний элемент (ПГС); 4 – рабочая зона фильтрации (охватывает 95 % фильтрационного потока, поступающего из верхнего элемента)

где $F = b \cdot L$ – площадь нижнего элемента, m^2 (здесь b – ширина нижнего элемента (траншеи), L – длина нижнего элемента (фильтрующей вставки); K_{ϕ} – коэффициент фильтрации засыпки (ПГС), м/сут; J – градиент напора фильтрационного потока.

$$J = \frac{H_0 + H_{\text{воды}}}{H_0}, \quad (2)$$

где H_0 – глубина заложения дрены, м; $H_{\text{воды}}$ – глубина воды, м.

Расход $Q_{\text{пл}}$, поступающий в нижний элемент в пределах плановой проекции его контура, будет равен 0,178 л/с при принятых параметрах конструкции (площадь поперечного сечения нижнего элемента в плане 2,5x0,5 м, $H_0=1,1$ м, коэффициент фильтрации ПГС засыпки $K_{\phi}=10$ м/сут, расчетный градиент фильтрационного потока $J=1,23$, $D=0,063$ м). Рассчитанный по гидродинамическим сеткам полный расход $Q_{\text{КПФ-1}}=0,233$ л/с, что в 1,31 раза больше расхода $Q_{\text{пл}}$. Влияние диаметра дрены учитывается коэффициентом $K_D=f(D)$, полученным на основании анализа гидродинамических сеток притока воды к дрене (рис. 2). При увеличении длины фильтрующей вставки влияние торцевых участков на размеры рабочей зоны фильтрации будет снижаться, тогда как влияние ее ширины остается постоянным, что можно оценить по гидродинамическим сеткам. Рассчитав по ним расходы КПФ-1 при значениях длины фильтрующей вставки от 1,2 до 4,6 м и используя дополнительно рис. 2, получаем график (рис. 3) для определения коэффициента $K_{\text{план}}$, учитывающего размеры рабочей зоны фильтрации КПФ-1 в плане для фильтрующих вставок различного диаметра.

Таким образом, для расчета колонки-поглотителя КПФ-1 с учетом коэффициента $K_{\text{план}}$ получаем зависимость:

$$Q_{\text{КПФ-1}} = \frac{(1 + K_{\text{план}}) \cdot L \cdot b \cdot K_{\phi} \cdot J}{86,4}, \quad \text{л/с}, \quad (3)$$

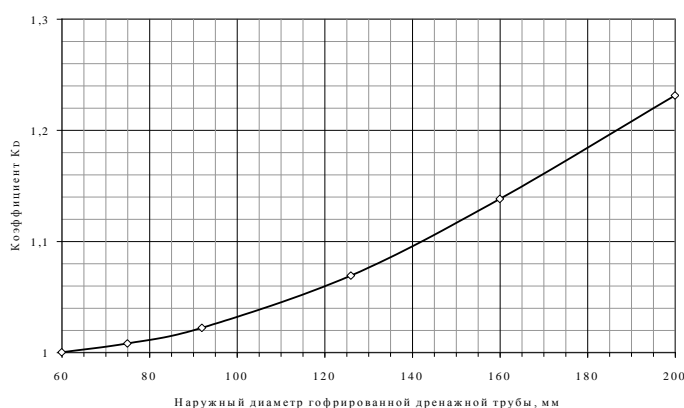


Рис. 2. Коэффициент учета влияния диаметра фильтрующей вставки

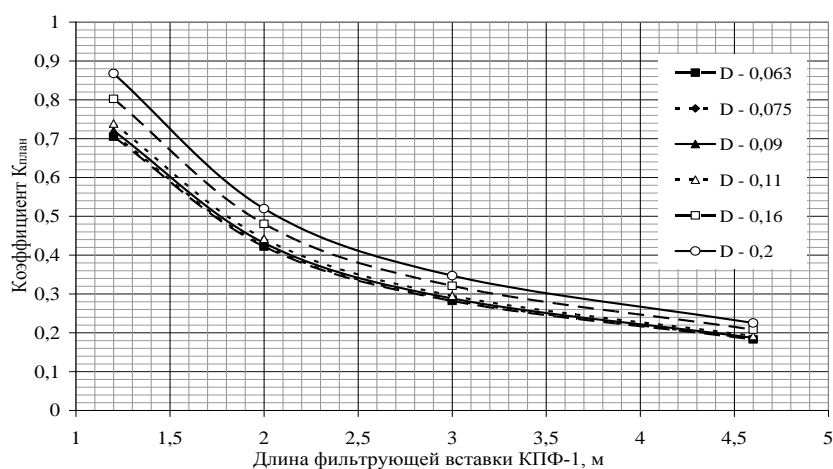


Рис. 3. Коэффициент увеличения рабочей зоны фильтрации (в плане) конструкции КПФ-1

где $K_{\text{план}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение рабочей зоны фильтрации (в плане), который определяется по кривой, соответствующей принятому диаметру фильтрующей вставки (рис. 3); L и b – длина и ширина нижнего элемента, м; $K_{\text{ф}}$ – коэффициент фильтрации засыпки, м/сут; J – расчетный градиент фильтрационного потока, определяется по формуле (2).

Следует иметь в виду, что длина нижнего элемента с фильтрующей вставкой определяется расчетным расходом при конкретном коэффициенте фильтрации засыпки из ПГС ($K_{\text{ф}}=10$ м/сут). Конструктивно длину нижнего элемента с фильтрующей вставкой принимаем равной 2,35 м. Минимальный диаметр (D) гофрированной дренажной трубы – 0,063 м. По графику (рис. 3) получаем: коэффициент $K_{\text{план}}=0,36$. При этом расход, определенный по формуле (2), равен 0,227 л/с, а величина опытного расхода колонки-поглотителя КПФ-1, полученного на гидравлическом стенде на модели в масштабе $M 1:1$, $Q_{\text{расч}}=0,221$ л/с. Погрешность расчета по формуле (2) составляет 2,7%.

На рис. 4 и 5 приведены принципиальные расчетные схемы колонок-поглотителей КПФ-2 и КПФ-3, которые состоят из трех элементов – нижнего, среднего и верхнего с сечениями разной площади. В конструкции КПФ-2 средний элемент имеет фильтрующую засыпку из крупнопористого материала (гравий, щебень). Нижний элемент состоит из гофрированной дренажной трубы с фильтром, засыпанной гравием (щебнем). Между нижним и средним элементами уложен слой фильтра из нетканого полимерного полотна.

В конструкции КПФ-3 нижний элемент состоит из фильтрующего блока (например, оболочка из фильтрующего полотна, заполненная керамзитом), в который вмонтирована дренажная труба. Средний элемент состоит из одного фильтрующего блока и шести фильтрующих матов, которые также представляют собой, например, оболочки из фильтрующего полотна, заполненные керамзитом.

Анализ результатов исследований конструкций колонок-поглотителей КПФ-2 и

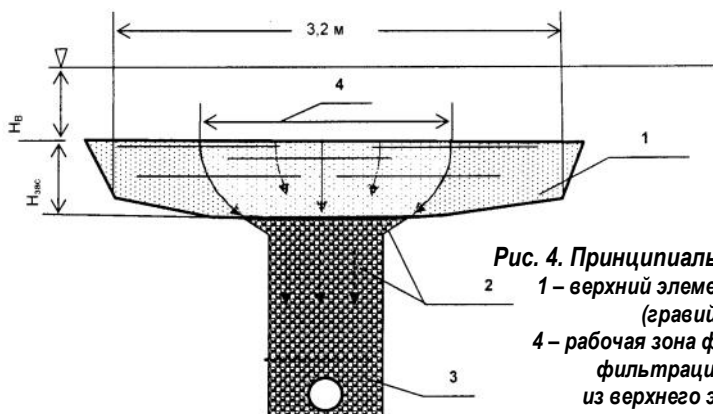


Рис. 4. Принципиальная расчетная схема КПФ-2.
 1 – верхний элемент (ПГС); 2 – средний элемент (гравий); 3 – нижний элемент (гравий); 4 – рабочая зона фильтрации (охватывает 95% фильтрационного потока, поступающего из верхнего элемента в гравийную засыпку)

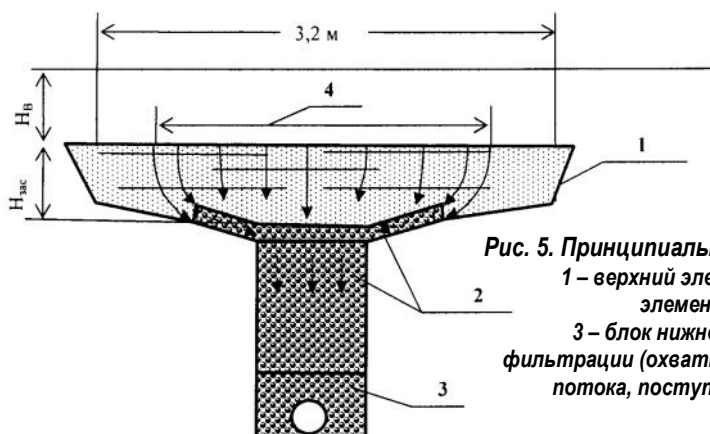


Рис. 5. Принципиальная расчетная схема КПФ-3.
 1 – верхний элемент (ПГС); 2 – блок среднего элемента с фильтрующими матами; 3 – блок нижнего элемента; 4 – рабочая зона фильтрации (охватывает 95% фильтрационного потока, поступающего из верхнего элемента в фильтрующие маты)

КПФ-3 в гидравлическом лотке, моделей ЭГДА показал, что их принципиальные расчетные схемы однотипны и отличаются только параметрами рабочей зоны фильтрации. Для расчета параметров рабочей зоны фильтрации по гидродинамическим сеткам определяется коэффициент торцевого притока к крупнопористой засыпке $K_{\text{торц}}$ (фильтрующие маты – КПФ-3, гравийная засыпка – КПФ-2) как средневзвешенная величина:

$$K_{\text{торц}} = \frac{K_{\text{торц, прод}} \cdot a + K_{\text{торц, попер}} \cdot b_1}{a + b_1}, \quad (4)$$

где $K_{\text{торц, прод}}$ и $K_{\text{торц, попер}}$ – соответственно коэффициенты учета торцевого расхода по каждому из направлений; a и b_1 – соответственно общая длина и ширина матов (гравийная засыпка), м.

На основании расчетов по гидродинамическим сеткам и формулы (4) получены значения $K_{\text{торц}}$, приведенные в табл.1.

Таким образом, для расчета пропускной способности колонок-поглотителей КПФ-2 и КПФ-3 с гравийной засыпкой или фильтрующими матами на контакте с верхним элементом предлагается использовать следующую зависимость:

Таблица 1. Коэффициенты увеличения расхода $K_{\text{торц}}$ среднего элемента

| Параметры фильтрующих матов - КПФ-3 (гравийная засыпка – КПФ-2) | | | | |
|---|---------------------------|-------|-------|-------|
| Общая длина, м (а) | Общая ширина, м (b_1) | | | |
| | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 |
| 0,5 | 0,3 | 0,25 | 0,18 | 0,16 |
| 1 | 0,25 | 0,21 | 0,16 | 0,14 |
| 1,5 | 0,18 | 0,17 | 0,135 | 0,115 |
| 2 | 0,14 | 0,14 | 0,115 | 0,10 |
| 4 | 0,1 | 0,10 | 0,09 | 0,08 |
| 6 | 0,095 | 0,095 | 0,085 | 0,075 |
| 8 | 0,09 | 0,09 | 0,08 | 0,070 |
| 20 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |

$$Q_{\text{КПФ-2(КПФ-3)}} = \frac{(1 + K_{\text{торц}}) \cdot a \cdot b_1 \cdot K_{\text{ф}} \cdot J}{86,4}, \text{ л / с,} \quad (5)$$

где $K_{\text{торц}}$ определяется по табл.1;

$K_{\text{ф}}$ – коэффициент фильтрации ПГС верхнего элемента колонки-поглотителя, м/сут;

J – градиент фильтрационного потока в верхнем элементе, определяемый по формуле:

$$J = \frac{H_{\text{зас}} + H_{\text{воды}}}{H_{\text{зас}}}, \quad (6)$$

при этом $H_{\text{зас}}$ и $H_{\text{воды}}$ – соответственно толщина слоя засыпки из ПГС над фильтрующими матами (гравийная засыпка) и глубина воды над поверхностью верхнего элемента из ПГС.

Пример расчета:

- для конструкции КПФ-2 при размерах водоприемной части среднего элемента из гравийной засыпки 1,5x1,5 м, коэффициент $K_{\text{торц}} = 0,135$, а расход $Q = 0,42$ л/с, что на 4-5% меньше полученного в опытах на гидравлическом стенде;
- для конструкции КПФ-3 при общей длине матов 2 м и их ширине – 1,5 м, значение $K_{\text{торц}}$ (табл.1) будет равно 1,115. При этом пропускная способность КПФ-3 $Q = 0,524$ л/с. В опытах на гидравлическом стенде расход конструкции составил 0,51 л/с. Погрешность расчета по отношению к опытным данным, полученным на гидравлическом стенде, составляет 2,7%, что говорит о правомерности принятой расчетной схемы.

Подобрать диаметр фильтрующей вставки в зависимости от уклона дрены можно по рис. 6. График построен по зависимостям для безнапорного режима движения воды в гофрированных дренажных трубах [1].

В колонках-поглотителях КПФ-1 и КПФ-2 с расчетным расходом 0,2 и 0,4 л/с может быть использована вставка из гофрированной дренажной трубы диаметром от 0,063 м и более (при уклоне коллектора $i \geq 0,003$).

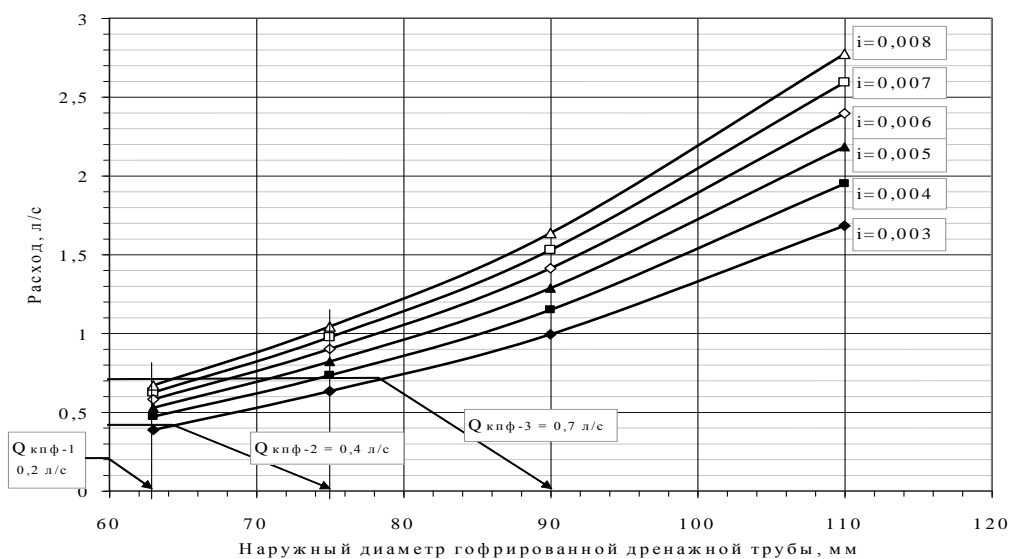


Рис. 6. Подбор диаметра фильтрующей вставки нижнего элемента колонок-поглотителей (безнапорный режим)

В колонке-поглотителе КПФ-3 с расчетным расходом 0,7 л/с при уклоне коллектора $i = 0,003$ диаметр дренажной вставки должен быть не менее 0,09 м. По конструктивным соображениям принимаем с запасом диаметр дренажной вставки – 0,11 м.

В табл. 2 даны основные расчетные параметры элементов усовершенствованных конструкций колонок-поглотителей, которые определяют пропускную способность конструкций.

Таблица 2. Основные расчетные параметры конструкций колонок-поглотителей (коэффициент фильтрации ПГС 10 м/сут.)

| Тип конструкции | Площадь верхнего элемента, м ² | Параметры | | | |
|-----------------|---|------------------------------|---|--------------------|-----------------------------|
| | | длина фильтрующей вставки, м | площадь рабочей зоны фильтрации, м ² | расчетный градиент | пропускная способность, л/с |
| КПФ-1 | 10 | 2,35 | 1,68 | 1,23 | 0,2 |
| КПФ-2 | 10 | 0,66* | 2,55 | 1,625 | 0,4 |
| КПФ-3 | 10 | 0,33* | 3,45 | 1,625 | 0,7 |

* Длина фильтрующей вставки принята конструктивно.

Выводы

1. Предложены новые принципиальные расчетные схемы для определения пропускной способности усовершенствованных колонок-поглотителей.

2. Получены зависимости для определения пропускной способности колонок-поглотителей различных конструкций.

3. Сопоставление расчетных значений расходов с опытными показало хорошую сходимость результатов (погрешность 3-6%).

Литература

1. Проектирование и возведение мелиоративных систем и сооружений. Пособие П1-98 к СНиП 2.06.03-85. – Мн., 1999. – 85 с.
2. Руководство по проектированию и изысканиям объектов мелиоративного и водохозяйственного строительства в Белорусской ССР (РПИ-82). Часть II. Осушительные и осушительно-увлажнительные системы. Книга I. Осушительные системы самотечные. – Мн., 1985. – 280 с.
3. Сооружения для отвода поверхностных вод на осушительных системах. Типовые проектные решения 820-1-081.88. Утверждены и введены в действие приказом Минводхоза СССР № 738 от 25 ноября 1987 г.
4. Макоед, В.М. Совершенствование конструкций колонок-поглотителей для отвода избыточных поверхностных вод из замкнутых понижений / В. М. Макоед, Г. В. Хмелевская // Мелиорация сельскохозяйственных земель в XXI веке: проблемы и перспективы. Докл. Междунар. науч.-практ. конф.– Мн., 2007. – С. 245-247.
5. Макоед, В.М. Методика расчета колонок-поглотителей дренажных систем./ В. М. Макоед, Г. В. Хмелевская// Вестник Национального университета водного хозяйства и природопользования. Сб. науч. тр., вып. 4(40). Часть 1. – Ровно, 2007. – С. 297-304.
6. Справочник проектировщика. Гидротехнические сооружения. – М.: Стройиздат, 1983. – 543 с.

Summary

Макоед В. Filtration Analysis of Updated Column-Absorbers

Procedure from the Manual П1-98 to СНиП 2.06.03-85 is inapplicable for analysis of standard column-absorbers. Suggested: new principal analytical models of improved design. Based on the analysis of hydrodynamic systems for principal models of various design of column-absorbers developed: estimated dependences by evaluation of their hydraulic performance.

Поступила 28 декабря 2007 г.