

Бейсембин К.Р.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ БОКОВЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

K.R. Beisembin

HYDRAULIC CALCULATION SIDE FILTER WATER INTAKE STRUCTURE

УДК:532.526

В настоящее время отсутствуют работы, рассматривающие процессы, протекающие в системе водоток – боковая фильтрующая плотина.

Currently, there are work dealing with the processes in the system water flow - side filter dam.

Эффективным методом борьбы с поступлением наносов в боковой отвод могут быть боковые фильтрующие водозаборы, устраиваемые на берегах и откосах водотоков в виде каменнонабросной дамбы из местных материалов. В этом случае требуется установить закономерности взаимодействия гидравлических процессов, протекающих в русле водотока и в теле боковой фильтрующей плотины.

Практический интерес представляет изучение гидравлических явлений в системе водоток — боковая фильтрующая плотина и разработка методики расчета таких систем.

На практике фильтрующие сооружения широко используются в дорожном строительстве, когда канал пересекает дорогу: вместо моста или водопропускного сооружения устраиваются дамбы из фильтрующих материалов (камень, щебень, галька и др.). К недостаткам подобных сооружений относится быстрое закупоривание поровых пространств дамбы взвешенными наносами и плавающими предметами, что приводит к потере ее пропускной способности. Поэтому основное внимание при разработке конструкции фильтрующих сооружений уделялось сохранению их работоспособности.

Анализ показывает, что существующие фильтрующие сооружения служат для забора воды из открытого водоема, озера или водохранилища.

Основным элементом водозаборов является фильтрующая дамба, в которой используются различные фильтрующие материалы (камень, щебень, галька и т. п.), однако в результате биологической и волновой активности водоема дамбы колы мигрируются планктоном, водорослями, илом, мусором, что ведет к снижению пропускной способности и срока службы (в среднем до 2 лет).

Для устранения недостатков используются береговые дамбы, выполненные из сильно фильтрующих материалов, используемых в роли водозаборных очистных сооружений для водоснабжения и орошения. Они не разрушают естественный режим реки или канала, защищают (восполняя роль отстойников)

от наносов, плавающего мусора и шуги, производят первичную очистку воды.

Русла предгорных и горных рек, имеющие естественные и хорошо фильтрующие основания по всему смоченному периметру боковых стенок и дна, могут отфильтровать необходимое количество чистой воды без наносов в ближайшие от русла (естественные или искусственные) водоемы.

Устройство фильтрующей насыпи в теле береговой дамбы выполняет функции:

- забор воды из реки в расположенное рядом водохранилище для последующей подачи воды с целью орошения или водоснабжения;
- защита от наносов;
- заградительное пространство для рыб и др.

При отборе части расхода из водотока происходит деление потока. Часть расхода отделяется, когда появляется возможность образования гидравлического уклона, а следовательно, скорости большей, чем существовавшая ранее в этом направлении.

Процесс деления потока при боковом отводе осуществляется на сравнительно небольшом участке водотока, обычно соизмеримом с его шириной. На этом участке течение теряет характер плавно изменяющегося, если оно имело его до отбора части расхода. Естественный режим при этом изменяется в связи с перераспределением поля скоростей, уменьшением естественного расхода, понижением уровня и деформации свободной поверхности, и на участке водозабора движение жидкости приобретает типичный пространственный характер.

Решение пространственной задачи гидравлики связано, как известно, с большими трудностями, несмотря на некоторые достигнутые успехи (расширение свободной турбулентной струи в неограниченном пространстве, плановое расширение спокойного потока в ограниченной акватории и др.), имеется ряд попыток использовать для этой цели теорию плоского потенциального потока. Полученные приближенные решения исходят из заведомо схематизированных условий (плоское дно, горизонтальная сводная поверхность, постоянная по глубине скорость), и поэтому возможности их практического использования ограничены.

Наряду с такими решениями существует ряд работ, предлагающих более простые решения, основанные на применении различных методов, используемых в гидравлике. Необходимо отметить, что деление потока в случае боковых фильтрующих

водозаборных сооружений имеет ряд особенностей, к которым можно отнести наличие фильтрующей плотины с шероховатой и проницаемой стенкой, ее влияние на структуру деления потока в основном русле и т.д. В этом случае возникает задача установления закономерностей взаимодействия гидравлических процессов, протекающих в русле водотока и в теле боковой фильтрующей плотины, и увязки законов движения воды в основном русле с фильтрационными законами в теле плотины. Главной особенностью деления потока при наличии боковой фильтрующей плотины является то обстоятельство, что движение воды в теле плотины и в основном русле водотока подчиняется различным закономерностям.

Поэтому при процессе деления потока необходимо произвести стыковку условий на границе раздела: основное русло — тело плотины. Так как границей раздела является шероховатая и проницаемая поверхность, то взаимное влияние двух потоков происходит в целой области, обусловленной наличием пограничного слоя.

В настоящее время отсутствуют работы, рассматривающие процессы, протекающие в системе водоток — боковая фильтрующая плотина.

На основании обработки результатов собственных опытов Форхгеймер предложил описывать процесс фильтрации уравнениями:

$$J = \alpha v + \beta v^2 \quad (1)$$

$$J = \alpha v + \beta v^2 + \gamma v^3 \quad (2)$$

При малых скоростях течения жидкости слагаемыми скорости во второй и третьей степенях можно пренебречь. Отсюда Форхгеймер сделал вывод о применимости основного закона фильтрации для расчетов сравнительно медленных потоков. В настоящее время (1) носит название закона Дюпи-Форхгеймера.

Эксперименты показывают [1], что при числе Рейнольдса

$$Re \quad (3)$$

где d — средний диаметр слагающих грунт частиц, больших 10 мм, зависимость между Re и d перестает быть линейной.

При числах Рейнольдса, больших 150 фильтрационный поток, по-видимому, становится турбулентным, хотя резкого перехода из ламинарного режима в турбулентный не наблюдается.

В случае сильно турбулентной фильтрации вместо (1) обычно пользуются зависимостью

$$J = \beta v^2, \quad \beta = \frac{+1}{K_T^2}$$

K_T - коэффициент турбулентной фильтрации.

Коэффициенты ламинарной и турбулентной фильтрации или коэффициенты α и β (3 в (2) опреде-

ляются из экспериментов и обычно при гидравлических расчетах считаются постоянными. В действительности эти коэффициенты зависят от многих факторов: точки пористой среды, направления фильтрационного потока, продолжительности фильтрации, пористости среды., формы и структуры зерен, расположения зерен, жидкости и т. д.

Коэффициенты ламинарной и турбулентной фильтрации или коэффициенты α и (3 в (2) определяются из экспериментов и обычно при гидравлических расчетах считаются постоянными. В действительности эти коэффициенты зависят от многих факторов: точки пористой среды, направления фильтрационного потока, продолжительности фильтрации, пористости среды., формы и структуры зерен, расположения зерен, жидкости и т. д.

В случае турбулентной фильтрации для определения коэффициента K_T в каменной наброске С.В. Избаш предложил формулу [2]

$$K_T = \left(20 - \frac{14}{d}\right)^n \sqrt{d_3}$$

где d - эквивалентный диаметр частиц.

С. В. Избашем и Н. М. Лелеевой предлагается формула, учитывающая коэффициент формы зерен [3]:

$$K_T = 28,7 = \frac{n^{3/2}}{\sqrt{(-n)\psi}} \sqrt{d_3}$$

Значения Ψ принимаются в следующих пределах: для шаров $\Psi = 1$; для округленных фракций $\Psi = 1,25 \dots 1,65$; для угловатых фракций $\Psi = 1,65 \dots 2,35$.

Отсутствие экспериментальных исследований по определению влияния параметров частиц фильтрующего материала и т. д. при боковом водозаборе из каналов затрудняет проектирование соответствующих гидротехнических сооружений. Определенное теоретическое и практическое значение в этой связи имеют исследования, связанные с установлением и оценкой зависимости конструктивных параметров дамбы на ее пропускную способность.

Лабораторные исследования, представленные в работе, проводились с целью определения степени влияния на пропускную способность фильтрующей дамбы:

- напора воды;
- средней скорости потока в лотке;
- диаметра частиц фильтрующего материала и пористости
- плотины; длины и ширины фильтрующей дамбы.

Экспериментальные исследования проводились в лаборатории гидравлики. Опыты были проведены на модели фильтрующей плотины прямоугольного поперечного сечения, установленной у боковой ступени гидравлического лотка в виде бокового

водозабора под углом отвода 90° к оси лотка. Гидравлический лоток имеет прямоугольное поперечное сечение шириной 0,65 м, высотой 0,4 м, длиной 10 м. Модель фильтрующей боковой плотины с поперечными размерами 1 X 0,4 и длиной 0,6 м имеет непроницаемые боковые стенки и бетонное дно.

Равномерный режим в лотке поддерживается с помощью концевого затвора, выполненного в виде вертикальных шандорных спиц.

Для определения положения депрессионной кривой в теле фильтрующей дамбы по оси плотины на расстоянии 10 см устанавливались пьезометры.

Опыты начинались подготовкой фильтрующей дамбы, включающей засыпку бокового отвода фильтрующим материалом определенных фракций, установление ширины и длины дамбы. С подачей в лоток определенного расхода и после реализации установившихся гидродинамических процессов производились замеры уровня воды в лотке и расходов ее в процессе прохождения через фильтрующую дамбу.

Изменение ширины дамбы осуществлялось установлением на определенном расстоянии в теле плотины непроницаемой перегородки и закрыванием определенной части верхнего откоса непроницаемой пластиной.

Диаметры частиц, из которых слагалась плотина, принимались равными 1, 2 и 3,5 см. Для диаметров частиц 1 и 2 см проводились по девять серий опытов с различной шириной и длиной фильтрующей плотины. Ширина плотины $B = 33; 66; 100$ см. Длина плотины - 30; 40; 60 см, а для диаметра 3,5 см проводились четыре серии опытов с $B = 5; 100$ и соответственно 40; 60 см. В каждой серии опытов значение пористого тела плотины определялось общепринятым методом [1]. Внутри серии изменялась глубина воды в лотке, которая поддерживалась с помощью концевого затвора. Общий расход лотка изменялся в пределах 4...9 л/с. Каждая серия состояла из 12 опытов, в которых глубина в лотке принимала четыре значения в пределах 9,8...25 см, при постоянном общем расходе. В каждом опыте определялись: средняя скорость воды в лотке по формуле $U_0 = Q_0/H_0-L$ (7) где Q_0 - общий расход; H_0 - глубина воды; L - ширина лотка; - коэффициент водозабора. Из результатов экспериментальных исследований следует, что на пропускную способность фильтрационной плотины влияют в основном следующие факторы: пористость; диаметр частиц d , слагающих тело плотины; входной напор в

плотину (глубина воды в лотке) H_0 ; ширина плотины B незначительно влияет на скорость воды в лотке.

На рис.1 приведены графики зависимости удельного фильтрационного расхода плотины от входного напора H_0 для различных диаметров частиц d , слагающих тело плотины, при различных значениях B и L .

Как видно из рисунков, с ростом входного напора H_0 удельный фильтрационный расход растет почти прямолинейно при $B = 33$ см, а при $B = 66; 100$ см зависимость более пологая. При каждом фиксированном значении B, H_0, L, d измерения проводились для трех различных значений общего расхода лотка, чему соответствуют три различные обозначения точек (рис. 1-4). Необходимо отметить, что при ширине плотины $B = 100$ см изменение длины плотины не влияет на изменение удельного расхода. Но наблюдается зависимость удельного фильтрационного расхода от общего расхода лотка. При $B = 33$ см удельный фильтрационный расход зависит только от входного напора H_0 и диаметра частиц d . По нашему мнению, влияние параметров плотины на удельный фильтрационный расход должен изменяться в зависимости от времени, за которое частицы жидкости минуют ширину плотины. Поэтому отсутствие влияния общего расхода лотка на удельный расход фильтрации $v=33$ см и некоторый разброс значений удельных фильтрационных расходов при $B=66$ см можно объяснить этим обстоятельством. Как видно из рисунка, удельный расход фильтрации растет пропорционально росту диаметра частиц.

Зависимость коэффициента водозабора боковой плотины от скорости воды в лотке показана на рис.5. Вследствие того, что фильтрующая дамба расположена на боковом отводе лотка, предполагалось значительное влияние на фильтрационный расход скорости потока воды в лотке. Данные, приведенные на рис.5 в виде зависимости коэффициента водозабора от скорости потока в лотке подтвердили правильность высказанного предположения. С ростом скорости потока в лотке наблюдается снижение коэффициента водозабора. Данный эффект обусловлен, что по нашему мнению, образованием (из-за возрастания скорости потока) вихревых течений, препятствующих фильтрации воды через тело дамбы. Из рис. 5 также следует, что коэффициент водозабора увеличивается с шириной плотины B и диаметром частиц.

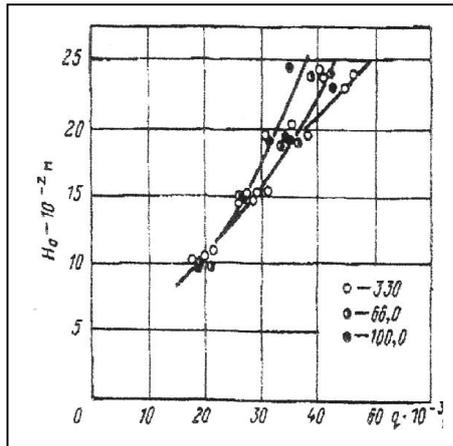


Рис.1. Зависимость удельного фильтрующего расхода и среднего напора воды H_0

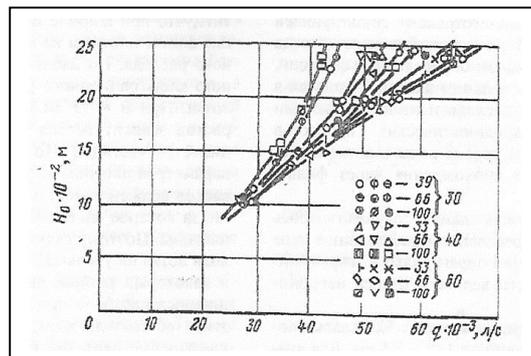


Рис.2. Зависимость удельного фильтрующего расхода и среднего напора воды H_0

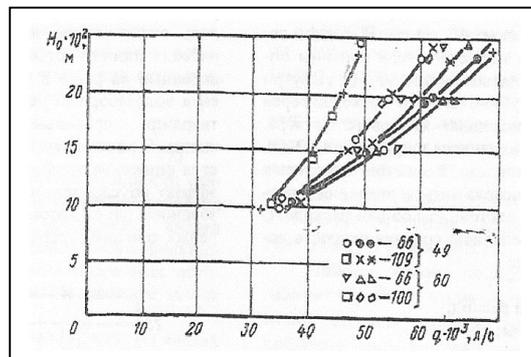


Рис.3. Зависимость удельного фильтрующего расхода и среднего напора воды H_0

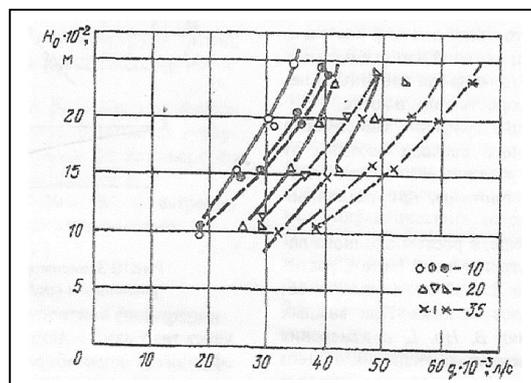


Рис.4. Зависимость удельного фильтрующего расхода и среднего напора воды H_0

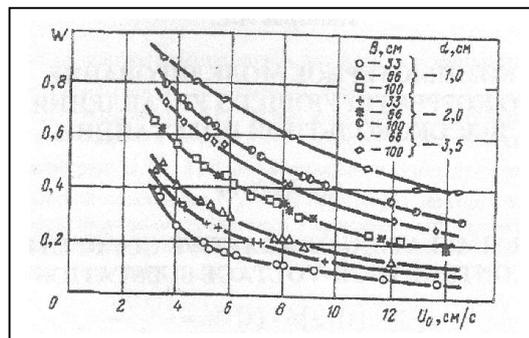


Рис.5. Влияние средней скорости потока (u_0) водоводе на коэффициент водозабора фильтрующей плотины (W)

Из экспериментальных данных можно заметить прямо пропорциональную зависимость пористости и удельного фильтрационного расхода (коэффициента водозабора). Таким образом, основными факторами, влияющими на коэффициент водозабора W являются:

- скорость воды в лотке и;
- ширина плотины B ;
- диаметр частиц d ;
- пористость p_0 .

Кроме фильтрационного расхода в лабораторных опытах изменялась ширина зоны влияния для выяснения структуры деления потока.

Анализ полигонных данных показывает, что ширина зоны влияния зависит от ширины плотины, скорости воды в лотке и диаметра частиц. Глубина воды в лотке существенного влияния на ширину зоны не оказывает.

В общем смысле под гидравлическим расчетом водозаборных сооружений понимают определение группы неизвестных характеристик процесса по известным или заданным значениям других характеристик и параметров.

В случае боковых фильтрующих водозаборных сооружений в качестве известных и неизвестных характеристик могут быть геометрические размеры водотока и боковой плотины, климатические и гидравлические характеристики водотока, фильтрационный расход плотины, характеристики фильтрующего материала тела плотины, параметры фильтрационного процесса, коэффициент водозабора и зона влияния боковой плотины.

Основная задача расчета боковых фильтрующих плотин состоит в определении фильтрационного расхода (Оф) или коэффициента водозабора плотины (W), максимальной ширины зоны влияния боковой плотины (B) и режима фильтрации в теле плотины при известных основных параметрах водотока и плотины.

Выводы. 1. Основными факторами, влияющими на пропускную способность плотины, являются: пористость плотины, диаметр частиц, слагающих плотину, входной напор в плотину, ширина плотины.

Влияние средней скорости воды в лотке на расход фильтрации незначительно.

2. Основными факторами, влияющими на коэффициент водозабора являются: скорость воды в лотке, ширина плотины, диаметр частиц, пористость плотины.

3. Ширина зоны влияния зависит от ширины плотины, скорости воды в лотке и от диаметра частиц. Глубина воды в лотке существенно не влияет на ширину зоны влияния.

4. С увеличением диаметра частиц фильтрация в теле плотины становится турбулентной. В то же время зависимость числа Рейнольдса, плотины от Рейнольдса лотка более сильная для больших диаметров частиц, чем для малых.

Литература:

1. Бэр Я., Засловски Д., Ирмей С. Физико-математические основы фильтрации воды. М: Мир, 1971.
2. Избаш С. В. Постройка плотин наброской камня в текущую воду. М.: Стройиздат, 1932.
3. Ломизе Г. М. Фильтрация в трещиноватых породах. М: Стройиздат, 1951.

Рецензент: д.тех.н., профессор Мукунов Р.