

Исследование гидравлических характеристик в заросших руслах каналов на примере оросительных систем КБР

А.Б. Балкизов, А.С. Сасиков, Ж.Х. Шогенова, Е.А. Кушаева, Амшоков Б.Х.

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, Нальчик

Аннотация: Определение основных гидравлических параметров заросших русел каналов с использованием методик различных авторов Шези, Альтшуля и др., применительно к условиям оросительных систем Кабардино-Балкарской республики.

Построена эпюра распределения скоростей в условиях заросших русел. Распределение скоростей в заросших руслах в сильной степени зависят от гибкости стеблей.

Ключевые слова: скорость, сопротивление, гибкость, орошение, канал.

Вопрос исследования гидравлических и морфометрических характеристик, в том числе площади живого сечения, скорости и расхода воды в земляных каналах, частично заросших травой, всегда был актуален. Но особенно острым он стал в последние годы, так как в республике быстрыми темпами возрождается сельское хозяйство, особенно интенсивное садоводство, для которого необходимо орошение. Прокладывать новые оросительные каналы является неэффективным и дорогостоящим мероприятием. Поэтому вода для орошения садов подается по старым земляным каналам, частично заросшим травой.

Работа традиционными гидрометрическими приборами является затруднительной, так как не все каналы оборудованы гидрометрическими мостиками и водомерными рейками, а трава, особенно дикий шиповник и ежевика, создают непроходимые препятствия для работ по измерению характеристик канала.

Поэтому стало целесообразным для определения расхода применять известные формулы и методы расчета [1-3], скорректировав их в соответствии с местной растительностью и формой каналов.

Принято считать, что в открытых руслах, в том числе и каналах, движение жидкости турбулентное, зависящее главным образом от шероховатости, т.е. имеет место квадратичная область сопротивления [1].

Обычно для расчета основных гидравлических показателей открытых русел - скорости и расхода, применяется формула Шези, в которой коэффициент Шези C тесно связан с коэффициентом гидравлического сопротивления трению λ :

$$\lambda = \frac{8g}{C^2}, \quad (1)$$

В случае земляных каналов сильно заросших травой и колючими кустарниками для расчета коэффициента Шези C хорошие результаты дает формула Павловского [4]:

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (2)$$

а так же обычно используются формулы Маннинга и Форгеймера, полученные из формулы Павловского, в которых коэффициент n не превышает 0,04. В этих формулах учитывались характер и высота растительности, а также глубина и скорость течения воды в каналах [1]:

$$\text{(формула Маннинга)} \quad C = \frac{1}{n} R^{1/6};$$

$$\text{(формула Форгеймера)} \quad C = \frac{1}{n} R^{1/5}$$

где: n - коэффициент шероховатости стенок канала;

R - гидравлический радиус, м;

y - показатель степени при $0,1 \leq R \leq 3,0$ м; $y = -0.13 + 2.5\sqrt{n} - 0.75(\sqrt{n} - 1)\sqrt{R}$.

Более упрощенные формулы, дающие хорошие результаты в нашем случае:

$$y = 1.5\sqrt{n} \quad \text{если } R < 1 \text{ м};$$

$$y = 1.3\sqrt{n} \quad \text{если } R > 1 \text{ м}.$$

Полученные по данным многочисленных исследований, проведенных на Чегемской оросительной системе в течение нескольких лет, коэффициенты шероховатости для конкретных гидростворов земляных каналов, заросших разными видами трав, во много раз превосходят это значение.

Исследования ряда ученых, проводящих натурные измерения в открытых водотоках с заросшими берегами и откосами, показали, что скорости по глубине и ширине потока не соответствуют основным эпюрам распределения скоростей, и турбулентное движение встречается крайне редко и соответственно коэффициент гидравлического сопротивления не лежит в квадратичной области.

В связи с такими доводами, основанными на многочисленных исследованиях, представляется неправомерным использование формул, приведенных выше для расчета каналов в земляных руслах [2-4].

В течение вегетационного периода растений естественная шероховатость, связанная с зарастанием русла земляного канала, может сильно изменяться, также как и при изменении скоростей.

В естественно заросших каналах глубина потока h в зависимости от осадков и сезона, может иметь разные соотношения с высотой растительного покрова t :

$$h < t; h = t; h > t$$

В процессе многочисленных исследований каналов в земляных руслах, заросших конкретными видами травяной и кустарниковой растительности, расположенных на Чегемской оросительно-обводнительной системе и анализируя опыты различных авторов [3,5], для расчета коэффициента гидравлического сопротивления трению были выбраны следующие показатели движения воды и характерные элементы растительности: высота, форма, плотность, гибкость стеблей, глубина воды в канале, средняя

скорость движения воды др. Для отыскания зависимости между показателями движения воды в естественно заросших каналах и характерными элементами растительности использовался метод анализа размерностей [5].

Для предварительного анализа пренебрегаем влиянием поверхности боковых стенок и дна на расчетное сопротивление, т.к. травяная растительность обладает достаточной густотой, а кустарники шиповника и дикой ежевики обладают высокой ползучестью.

Таким образом, можно подытожить, что коэффициент гидравлического сопротивления можно представить, как функцию следующих величин:

$$\lambda_h = f(Re, t/h, xh^2, \sigma_h), \quad (3)$$

$$\sigma_h = \frac{h^4 v^2 \rho}{EJ}, \quad (4)$$

где: Re – число Рейнольдса;
 t – начальная высота стебля;
 h – цилиндрическая жесткость.
 x – количество стеблей на единицу площади;
 σ_h – критерий гибкости стебля;
 v – средняя скорость;
 ρ – плотность воды;
 E, J – модуль упругости и момент поперечного сечения стебля.

Каждый параметр, входящий в функцию (3) был тщательно исследован в процессе проведения многочисленных измерений показателей движения воды и характеристик растительности земляных русел.

Участки для измерений гидравлических показателей подбирались по типам стеблей растений трав и кустарников, наиболее часто встречающихся в районах орошения. Особенно часто повторялись два типа стеблей. Первый тип — отдельные стебли в виде трубок с наружным диаметром $d = 0,50$ см и высотой $t = 3,5$ и 12 см. Количество стеблей — от 0,05 до 0,32 стебля на 1 см². Второй тип — сплошные заросли в виде кустов дикого шиповника и

ежевики с диаметром стеблей $d = 0,035$ см и высотой $t = 6, 8, 14$ см, создающими по берегам каналов и откосам естественную сетку из побегов. Количество кустов изменялось от 385 до 3300 на всей длине потока. Оба типа стеблей ограничивались формой дерна, имеющего следующие размеры: ширина 0,2 м и длина 4 м.

Нормальная глубина определялась гидрометрическими водомерными рейками с повышенной точностью (шпиценмасштаб, рейка с успокоителем) и гидрометрической штангой. Заращение русла способствовало быстрому установлению равномерного движения, что, позволило определить нормальные глубины с высокой относительной точностью (ошибка не превышала 1,6%).

На рис. 1 в координатах $\lg 100 \lambda_h$ и $\lg Re$ видны результаты измерений (в расчетах t, x, E, J — постоянные), относящиеся к первому типу растительности.

Значения коэффициента гидравлического трения λ_h в заросших руслах значительно выше, чем в гидравлически гладких руслах. Положение опытных точек вдоль одной линии при $h > t$ подтверждает зависимость коэффициента гидравлического трения от числа Рейнольдса [6,7]. Натурные наблюдения подтвердили присутствие ламинарного режима течения. При $h > t$ коэффициент λ_h зависит главным образом от отношения $h/t.F$

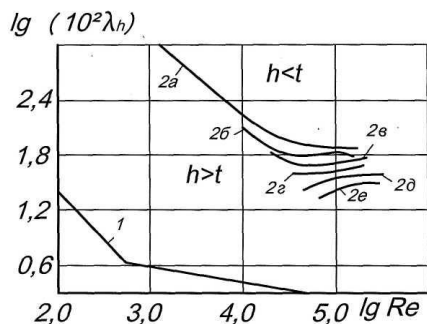


Рис. 1 Кривые $\lambda_h = f(Re)$ [5]:

1 — для гидравлически гладких русл; 2 — для заросших русл при h/t : 2а — < 1 ; 2б — 1; 2в — 1,25; 2г — 1,5; 2д — 1,75; 2е-2.

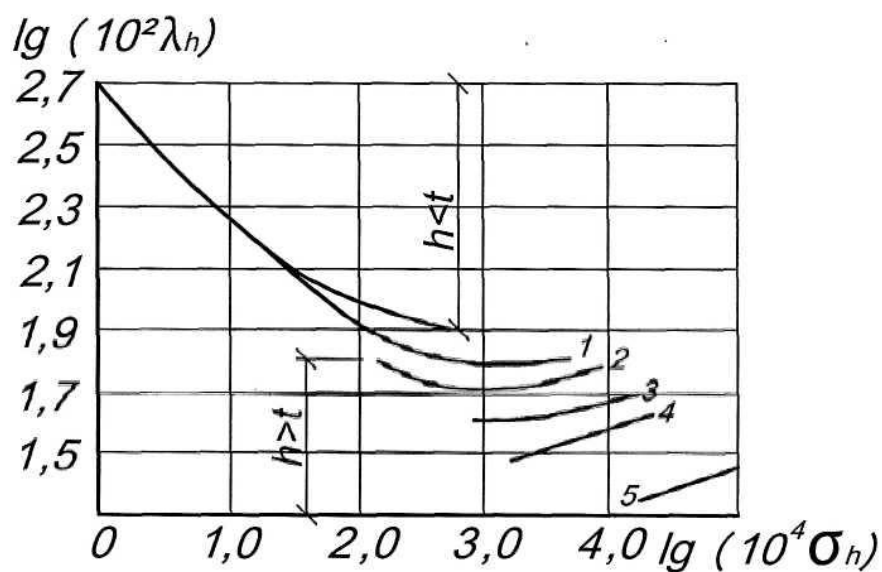


Рис. 2 Кривые $\lambda_h = f(\sigma_h)$ [5]:
 при h/t : 1 — 1,0; 2 — 1,25; 3 — 1,5; 4 — 1,75.

Графики на рисунке. 2. показывают, что с увеличением критерия гибкости σ_h коэффициент трения λ_h уменьшается.

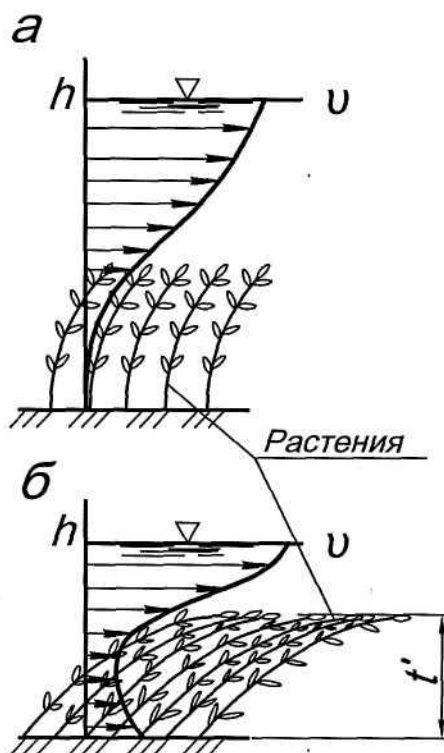


Рис. 3 Эпюры распределения скоростей по вертикали в заросших руслах:
 а — по данным Н. Ковена [8]; б — по данным опытных исследований.

На рис. 3 приведены эпюры распределения скоростей по вертикали в заросших руслах по измерениям разных авторов [9-11]. Видно, что в стадии наибольшего развития растительности максимальные скорости движения воды наблюдаются в верхней части русла, уменьшаясь к центру.

Измерение скорости гидрометрическими приборами, проведенные в земляных руслах оросительных каналов, показали, что минимальная скорость наблюдается не на дне потока, как принято на нормальной эпюре скоростей, а в том месте, где стебли плотно укладываются друг на друга (рис. 3-б). Положение точки с минимальной скоростью можно определить зная следующие показатели: растений - гибкости стеблей, потока - среднюю скорость и глубину воды в канале.

Выводы

1. Когда высота травянистых или кустарниковых растений превышает глубину потока в земляных каналах, имеет место ламинарный режим течения, и коэффициент гидравлического трения зависит только от числа Рейнольдса.

2. Если глубина воды больше высоты стеблей растений, коэффициент трения зависит как от числа Рейнольдса, так и от отношения глубины воды к высоте стеблей, а также плотности их произрастания.

3. Гидравлическое сопротивление и распределение скоростей в земляных каналах, заросших травами и кустарниками, в сильной степени зависят от гибкости стеблей. С увеличением критерия гибкости σ_n , коэффициент гидравлического трения (при прочих равных условиях) уменьшается.

4. Наименьшее значение скорости в условиях зарастания русла наблюдается не у дна, а на некотором расстоянии от него.

Литература

1. Fenzl R., Davis J. Hydraulic resistance relationships for surface flows in vegetated channels // Transactions of the ASAE v. 7, № 1, 1964. С.46-51.
2. Амелина С.С. О гидравлическом сопротивлении русел с заросшими поймами // Вестник ВНИИЖД. 1969. С.126-129.
3. Сепп М., Маастик А. Гидравлические исследования залуженных откосов// Сб. трудов Эстонской сельскохозяйственной академии. Труды кафедры мелиорации. Т. 31. Тарту: 1963. С.85-92.
4. Серпокрылов Н.С., Мкртчян Т.М. Определение коэффициентов шероховатости и Шези для расчета участков сетей водоотведения в условиях сокращения расходов сточных вод // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1925
5. Альтшуль А. Д. Гидравлические сопротивления. М.: Недра, 1970. 216 с.
6. Зегжда А. П. Гидравлические потери на трение в каналах и трубопроводах. М.: Госстройиздат, 1957. 278 с.
7. Бандурин М.А. Особенности технической диагностики длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений // Инженерный вестник Дона, 2012, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/861
8. Kouwen N., Unny T. E., Hill H. M. Flow retardance in vegetated channels. Journal of the ASAE, June, 1969. С. 329-342.
9. Альтшуль А. Д., Пулявский А.М. О гидравлических сопротивлениях в руслах с усиленной искусственной шероховатостью // Сборник трудов № 89, каф. Гидравлики, МИСИ им. В.В .Куйбышева. М.: 1972. С.13-20.
10. Альтшуль А. Д., Нгуен Тай. Исследование гидравлических сопротивлений в заросших руслах // Гидротехника и мелиорация. - 1973. №4. С. 5-25.
11. Нгуен Тай. Исследование гидравлических сопротивлений заросших русел // Сб.труд. МИСИ № 89. М.: 1972. С. 65-72.

References

1. Fenzl R., Davis J. Transactions of the ASAE. v. 7, № 1, 1964. pp.46-51.
2. Amelina S.S. Vestnik VNIIZhD. 1969. pp.126-129.
3. Sepp M., Maastik A. Sb. trudov Ehstonskoj seljskokhozyajstvennoj akademii. Trudih kafedrih melioracii. T. 31. Tartu: 1963. pp.85-92.
4. Serpokrylov N.S., Mkrtchyan T.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1925
5. Aljtshulj A. D. Gidravlicheskie soprotivleniya [Hydraulic resistance]. M.: Nedra, 1970. 216 p.
6. Zegzhda A. P. Gidravlicheskie poteri na trenie v kanalakh i truboprovodakh [Hydraulic friction losses in channels and pipelines]. M.: Gosstroyjizdat, 1957. 278 p.
7. Bandurin M.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/861
8. Kouwen N., Unnu T. E., Ni11 N. M. Journal of the ASAE, June, 1969. pp. 329-342.
9. Aljtshulj A. D., Pulyavskiy A.M. Sbornik trudov № 89, kaf. Gidravliki, MISI im. V.V .Kuyjbihsheva. M.: 1972. pp.13-20.
10. Aljtshulj A. D., Nguen Tayj. Gidrotekhnika i melioraciya. 1973. №4. pp. 5-25.
11. Nguen Tayj. Sb.trud. MISI № 89. M.: 1972. pp. 65-72.