

УДК 626.823.004:532.543

А. А. Чураев, М. В. Вайнберг

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

СОВРЕМЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА «УКЛОН – ПЛОЩАДЬ» НА ОТКРЫТЫХ КАНАЛАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В статье описаны два метода определения расхода воды на открытых каналах оросительных систем: «скорость – площадь» и «уклон – площадь». Описан разработанный авторами способ определения расхода воды на открытых каналах оросительных систем по методу «уклон – площадь», сущность которого сводится к использованию двух датчиков уровня воды, оснащенных средствами дистанционной передачи показаний уровня и расположенных в уровнемерных колодцах верхнего и нижнего гидрометрических створов, определению уровней воды в створах, перепада уровней между верхним и нижним створами и вычислению расхода воды. Для вычисления искомого расхода авторами предлагается решение дифференциального уравнения неравномерного установившегося плавно изменяющегося движения жидкости в открытом канале оросительной сети. Приводятся исследования гидравлических параметров по данным опыта методами «уклон – площадь» и «скорость – площадь», которые проводились на открытом канале Р-3 Райгородской оросительной системы. На основании полученных опытным путем данных была рассчитана относительная погрешность определения расхода воды. Максимальная погрешность измерения расхода воды по методу «уклон – площадь» по сравнению с методом «скорость – площадь» составила 2,6 %. Предложенный авторами способ может быть внедрен на открытых каналах оросительной сети. Эффективность внедрения данного способа заключается в уменьшении непроизводительных сбросов оросительной воды на 10–15 % за счет высокой точности (погрешность < 3 %) и оперативности водоизмерения.

Ключевые слова: гидравлический параметр, оросительная система, метод «уклон – площадь», метод «скорость – площадь», уклон водной поверхности, расход воды, относительная погрешность.

Вода является незаменимым для человечества ресурсом, который требует оперативного и объективного учета. Отсюда и появляется необходимость в постоянном совершенствовании методов и средств гидрологических наблюдений. В настоящее время для измерения расхода воды в открытых каналах оросительных систем широко применяются косвенные методы измерения, такие как «скорость – площадь» и «уклон – площадь».

Метод «скорость – площадь» основан на измерении двух параметров: средней скорости течения жидкости, проходящей через створ гидротехнического сооружения, и площади живого сечения потока [1]. Вычисление средней скорости потока производится путем последовательного во времени снятия некоторого количества точек значений скорости по створу гидрометрического сооружения и их осреднения. Данный метод применим только при свободном истечении и установившемся движении жидкости. При наличии подпорно-переменного режима движения жидкости возникают трудности с измерением скорости в различных точках его потока, т. к. расход воды может меняться в достаточно обширных пределах, что снижает точность и достоверность измерения. Следовательно, необходимо максимально сократить время измерительного процесса и решить проблему водоучета в подпорно-переменном режиме движения жидкости.

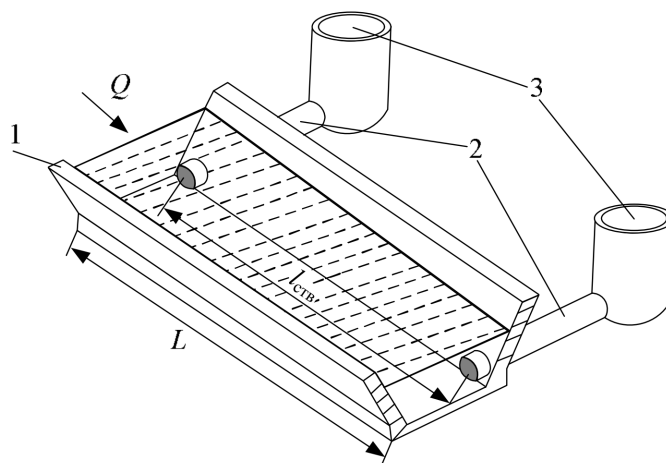
Для устранения вышеперечисленных недостатков можно использовать метод «уклон – площадь», который основан на измерении перепада уровней воды в контроль-

ных створах специально спрофилированного русла канала. По полученным данным определяется значение расхода воды. Данный метод измерения обеспечивает универсальность, заключающуюся в возможности определения расхода воды при наличии на гидростворе подпорно-переменного режима, при интенсивных русловых деформациях, при резко выраженном неустановившемся течении в русле.

Метод «уклон – площадь» обеспечивает:

- возможность определения расхода воды при любых режимах установившегося медленно изменяющегося режима течения воды;
- улучшение условий эксплуатации водомерного поста ввиду близости друг к другу мерных створов;
- повышение точности определения расхода воды использованием алгоритмов и формул, полученных из самих уравнений движения потока;
- увеличение точности измерения расхода путем укорачивания промежутка времени, необходимого для его получения.

Нами предлагается способ определения расхода воды на открытом канале оросительной сети по методу «уклон – площадь» [2], позволяющий повысить точность измерения уклона водной поверхности, а следовательно, и расхода воды. В предложенном способе в исходном канале выполняют облицованный участок длиной $L = 50\text{--}60$ м. Затем на облицованном участке устраиваются два гидрометрических створа (верхний и нижний), расстояние между створами выбирают равным $l_{\text{ств}} = 20\text{--}40$ м. В створах устраиваются уровнемерные колодцы, предназначенные для размещения и функционирования датчиков уровня воды. Колодцы с помощью соединительной трубы соединяются с водным потоком в гидрометрическом створе. Диаметр колодцев назначается не менее 300 мм, чтобы обеспечивалась возможность очистки дна колодцев от осевшего ила или мусора. Конструкция измерительного участка канала показана на рисунке 1.



l – измерительный участок канала; 2 – подводящая труба к зоне верхнего гидрометрического створа; 3 – уровнемерный колодец; $l_{\text{ств}}$ – расстояние между гидрометрическими створами; L – длина облицованного участка канала; Q – расход

Рисунок 1 – Конструкция измерительного участка канала

Последовательность операций при определении расхода по предлагаемому способу следующая (рисунок 1). Из измерительного канала l по соединительным трубам 2 вода поступает в успокоительные колодцы в верхнем и нижнем гидрометрических створах 3. Когда течение воды установится, в успокоительных колодцах датчиками уровня воды будут непрерывно регистрироваться измеряемые параметры с заданным интервалом, и

с помощью средств дистанционной передачи информация будет передаваться на пункт диспетчера, оснащенный средствами ее обработки и вычисления расхода.

По полученным данным и при известных параметрах измерительного участка канала (расстояние между сечениями верхнего и нижнего гидрометрического створа $l_{\text{ств}}$, уклон дна канала i_0 , коэффициент шероховатости канала n , ширина канала по дну b , коэффициент заложения откосов m и т. д.) вычисляется искомый расход.

Для вычисления искомого расхода рассмотрим дифференциальное уравнение неравномерного установившегося плавно изменяющегося движения жидкости в открытом канале оросительной сети [3], автором которого является А. И. Богомолов.

Для призматического русла при прямом уклоне ($i_0 > 0$) уравнение имеет вид:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{i_0 - \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R}}{1 - \frac{\alpha Q^2}{g} \cdot \frac{B}{\omega^3}},$$

где dh – перепад глубин потока на рассматриваемом участке dl ;

dl – расстояние между створами;

i_0 – уклон дна русла;

Q – расход, м³/с;

ω – площадь живого сечения в створе, м²;

C – коэффициент Шези, м^{0,5}/с;

R – гидравлический радиус, м;

α – коэффициент скорости, равный 1,1;

g – ускорение свободного падения, равное 9,8 м/с²;

B – ширина потока по свободной поверхности, м.

Для призматического русла при нулевом уклоне ($i = 0$) уравнение имеет следующий вид:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{\frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R}}{1 - \frac{\alpha Q^2}{g} \cdot \frac{B}{\omega^3}}.$$

Решив данные уравнения, получим следующие выражения для вычисления расхода воды:

- при прямом уклоне ($i_0 > 0$):

$$Q = \frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2) \sqrt{\frac{h_1 - h_2 - i_0 l_{\text{ств}}}{\frac{\alpha(h_1 - h_2)(B_1 + B_2)}{g(\omega_1 + \omega_2)} - \frac{8l_{\text{ств}}}{(C_1 + C_2)^2(R_1 + R_2)}}}; \quad (1)$$

- при нулевом уклоне ($i = 0$):

$$Q = \frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2) \sqrt{\frac{h_1 - h_2}{\frac{8l_{\text{ств}}}{(C_1 + C_2)^2(R_1 + R_2)} - \frac{\alpha(h_1 - h_2)(B_1 + B_2)}{g(\omega_1 + \omega_2)}}}, \quad (2)$$

где Q – расход, м³/с;

h_1, h_2 – глубина воды в створах «1» и «2», м;

i_0 – уклон дна канала;

$l_{\text{ств}}$ – расстояние между створами, м;

α – коэффициент скорости, равный 1,1;
 B_1, B_2 – ширина канала по свободной поверхности воды в створах «1» и «2»;
 ω_1, ω_2 – площадь живого сечения в створах «1» и «2», м²;
 C_1, C_2 – коэффициент Шези в створах «1» и «2», м^{0,5}/с;
 R_1, R_2 – гидравлические радиусы в створах «1» и «2», м;
 g – ускорение свободного падения, равное 9,8 м/с².

Полученные выражения (1) и (2) позволяют упростить расчет расхода воды в открытых каналах с призматическим руслом, т. к. дают возможность использовать любые датчики учета перепада уровней и расхода воды.

Исследования гидравлических элементов по данным опыта методами «уклон – площадь» и «скорость – площадь» проводились на открытом канале Р-3 на ПК 243 + 80, расположенном на границе Республики Калмыкии и Волгоградской области. Гидрометрическое сооружение предназначено для измерения уровня и расхода воды (пункт водоучета). Створ открытого типа, русло канала земляное. Сооружение расположено на прямолинейном участке распределительного канала Р-3 на расстоянии 480 м от поворота канала. Движение воды в створе может быть как установившимся, так и неустановившимся плавно изменяющимся, равномерным и неравномерным в плане и по вертикали. Максимальная пропускная способность канала в гидрометрическом створе – 20 м³/с. Иллюстрационные материалы сооружения на ПК 243 + 80 приведены на рисунках 2, 3.



Рисунок 2 – Общий вид гидрометрического створа на ПК 243 + 80



Рисунок 3 – Общий вид гидрометрического створа на ПК 243 + 80

На данном канале был выбран участок, длина которого составила 100 м, произведены замеры гидравлических элементов и рассчитан уклон и расход воды по методам «скорость – площадь» и «уклон – площадь». Для определения коэффициента Шези [2] была применена полуэмпирическая формула И. И. Агроскина:

$$C = \frac{1}{n} + 17,72 \lg R.$$

В таблице 1 представлен расчет гидравлических элементов по данным измеренных величин по методу «скорость – площадь» и «уклон – площадь».

Таблица 1 – Расчет гидравлических элементов по данным опыта методами «уклон – площадь» и «скорость – площадь»

Q по методу «уклон – площадь», м ³ /с	Q по методу «скорость – площадь», м ³ /с	h_1 , м	h_2 , м	Δh , м	ω , м ²	R , м	C , м ^{0,5} /с	n
13,69	13,38	1,731	1,724	0,007	37,13	1,44	36,72	0,0295
16,43	16,68	1,943	1,938	0,005	42,45	1,59	36,69	0,0302
11,68	11,92	1,572	1,565	0,007	33,19	1,33	36,48	0,0292
6,60	6,43	1,144	1,138	0,006	23,12	1,00	34,13	0,0293
3,66	3,70	0,872	0,867	0,005	17,17	0,78	28,84	0,0325
11,06	10,89	1,521	1,517	0,004	31,98	1,29	36,39	0,0290

Примечание – Q – расход воды; h_1 – глубина потока в верхнем гидрометрическом створе; h_2 – глубина потока в нижнем гидрометрическом створе; Δh – перепад уровней свободной поверхности воды между двумя гидрометрическими створами; ω – площадь живого сечения потока; R – гидравлический радиус; C – коэффициент Шези; n – коэффициент шероховатости.

На основании полученных опытным путем данных была рассчитана погрешность определения расхода воды по методам «уклон – площадь» и «скорость – площадь». Результаты приведены в таблице 2 и на рисунке 4.

Таблица 2 – Значения погрешностей измерения расхода воды методом «уклон – площадь» и «скорость – площадь» по данным опыта

Q по методу «уклон – площадь», м ³ /с	Q по методу «скорость – площадь», м ³ /с	Погрешность, %
13,69	13,38	2,30
16,43	16,68	1,50
11,68	11,92	2,01
6,60	6,43	2,60
3,66	3,70	1,08
11,06	10,89	1,56

На рисунке 4 представлен график погрешностей измерения расхода воды по данным опыта.

Значения расходов воды, измеренных по методу «уклон – площадь», сравнивались со значениями, полученными с помощью метода «скорость – площадь». На рисунке 5 приведены результаты измерения расхода воды по данным методам.

По результатам полевых исследований максимальная погрешность измерения расхода воды по методу «уклон – площадь» по сравнению с методом «скорость – площадь» составила 2,6 %.

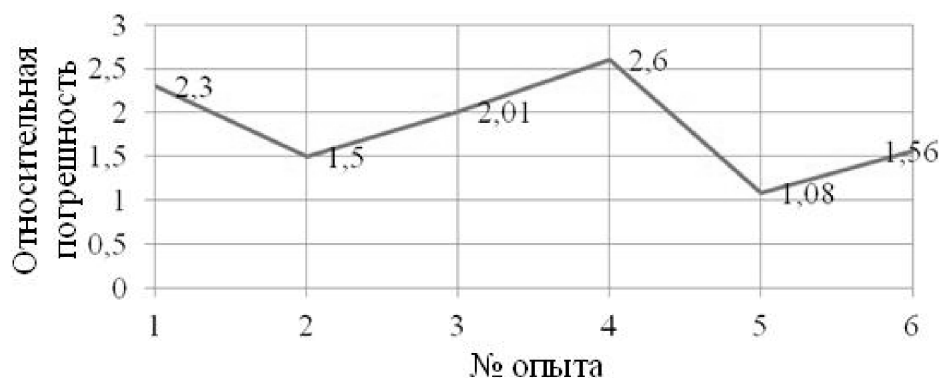


Рисунок 4 – График погрешностей измерения расхода воды по методам «уклон – площадь» и «скорость – площадь»

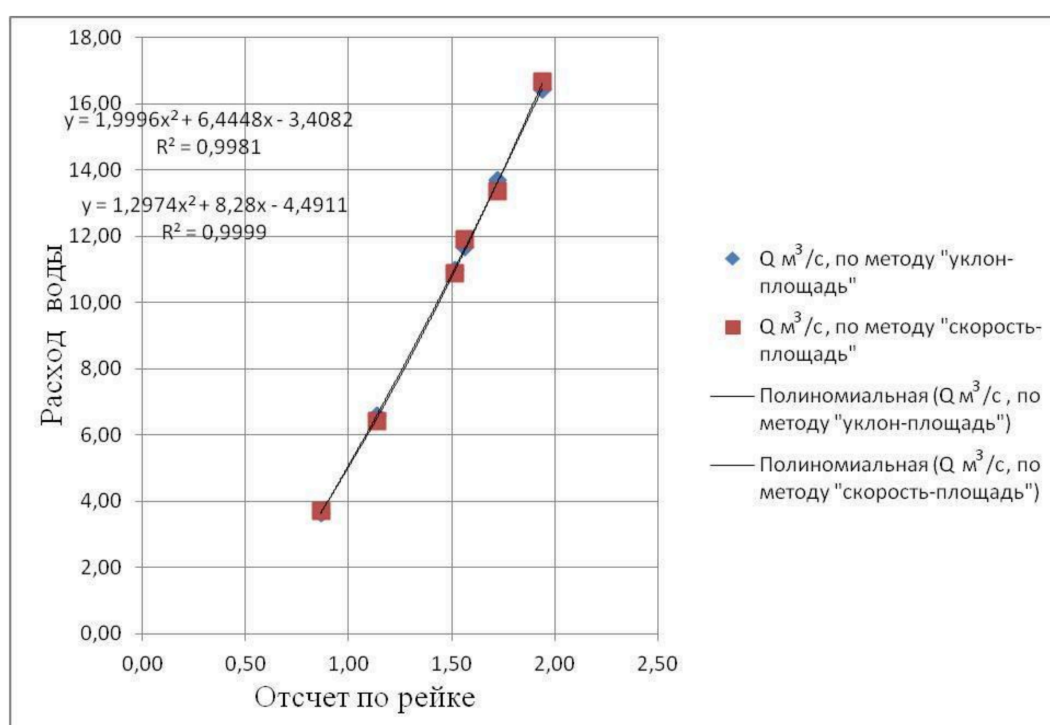


Рисунок 5 – Расходная характеристика канала Р-3 на ПК 243 + 80 по методам «уклон – площадь» и «скорость – площадь»

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

- метод «уклон – площадь» по сравнению с методом «скорость – площадь» обеспечивает универсальность измерения, заключающуюся в возможности определения расхода воды при наличии подпорно-переменного режима, при интенсивных русловых деформациях, при резко выраженном неустановившемся течении в русле;
- разработанный способ измерения расхода воды и перепада уровней позволяет значительно уменьшить погрешность измерения уклона свободной поверхности, что в свою очередь позволяет сократить расстояние между гидрометрическими створами с 1000 до 60 м. Сокращение расстояния между створами снижает затраты на эксплуатацию и обслуживание гидрометрического поста;
- применение на открытых каналах современных датчиков определения уровня воды позволяет повысить точность и достоверность измерений;

- по результатам полевых исследований максимальная относительная погрешность измерения расхода воды по методу «уклон – площадь» по сравнению с методом «скорость – площадь» составила 2,6 %;

- предложенный способ может быть внедрен на открытых каналах оросительной сети. Эффективность внедрения данного способа заключается в уменьшении производительных сбросов оросительной воды на 10–15 % за счет высокой точности (погрешность менее 3 %) и оперативности водоизмерения.

Список использованных источников

1 Системные принципы водоучета и управления водораспределением на оросительной сети / В. Н. Щедрин, Ю. Г. Иваненко, В. И. Ольгаренко, А. М. Жарковский, Е. Г. Филиппов. – Новочеркасск: НГТУ, 1994. – 235 с.

2 Богомолов, А. И. Гидравлика / А. И. Богомолов, К. А. Михайлов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1972. – 648 с.

3 Чураев, А. А. Способ определения расхода воды на открытых каналах оросительных систем по методу «уклон – площадь» / А. А. Чураев, М. В. Вайнберг // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: «Геликон», 2014. – Вып. 54. – С. 117–124.