

УДК 626.824-52

UDC 626.824-52

05.00.00 Технические науки

Technical Science

**РАСЧЕТ УСТАНОВИВШЕГОСЯ
НЕРАВНОМЕРНОГО ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ В
ПРИГОРОДНОМ МАГИСТРАЛЬНОМ
КАНАЛЕ г. КРАСНОДАРА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ
ВОДОИЗМЕРЕНИЯ****CALCULATION OF THE UNSTEADY WATER
LINE IN THE KRASNODAR SUBURBAN
CHANNEL FOR WATER MEASUREMENT**

Иваненко Юрий Георгиевич
д-р техн. наук, профессор кафедры
«Использование водных ресурсов, гидравлика и
математика»
SPIN-код автора: 2715-4838
E-mail: pavodok37@gmail.com
*Новочеркасский инженерно-мелиоративный
институт имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВО
Донской ГАУ, Новочеркасск, Россия*

Ivanenko Yuriy Georgievich
Dr.Sci.Tech., professor of the Department “The use of
water resources, hydraulics and mathematics”
RSCI SPIN-code: 2715-4838
E-mail: pavodok37@gmail.com
*Novocherkassk Engineering Meliorative Institute
named after A.K.Kortunov, FSBE HE DSAU,
Novocherkassk, Russia*

Гурин Константин Георгиевич
к.т.н., профессор кафедры «Использование водных
ресурсов, гидравлика и математика»
SPIN-код автора: 9483-0262
E-mail: gurin-knstantin@rambler.ru
*Новочеркасский инженерно-мелиоративный
институт имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВО
Донской ГАУ, Новочеркасск, Россия*

Gurin Konstantin Georgievich
Cand.Tech.Sci., professor of the Department “The use
of water resources, hydraulics and mathematics”
RSCI SPIN-code: 9483-0262
E-mail: gurin-knstantin@rambler.ru
*Novocherkassk Engineering Meliorative Institute
named after A.K.Kortunov, Novocherkassk, Russia*

Низкий уровень водоучета и несовершенство управления водораспределением на ОС являются главными в ряду негативных факторов техногенного воздействия на орошаемые природно-территориальные комплексы. Экосистемный комплексный подход к управлению водными ресурсами предполагает качественное улучшение и оптимизацию работы всех звеньев и элементов оросительных систем, начиная от головного водозабора, магистрального канала и кончая участковыми распределительными каналами. В связи с этим при проектировании, строительстве, эксплуатации новых и реконструкции старых оросительных систем важными становятся проблемы оптимизации водоотборов из естественных водоисточников, разработка и внедрение высокоэффективных водосберегающих и энергосберегающих технологий водораспределения и водопотребления на ОС. Проблема экономного рационального расходования водных ресурсов на рассматриваемой водохозяйственной территории в настоящее время не может решаться успешно без взаимоувязанного рассмотрения вопросов водоучёта и управления водораспределением, основанных на системных принципах. Системные принципы предполагают осуществлять сбор, анализ и переработку информации с помощью комплекса технических средств, предназначенных для целей водоизмерения в условиях платного водопользования, а также для целей оптимального

Low level of water accounting and poor control in water distribution in the irrigation system are the main negative factors of industrial influence on irrigated natural complexes. Complex ecosystem way to control water resources involves qualitative improvement and optimization of all parts and elements of irrigation system, from the headwater pool, main channels to local water distribution channels. In this regard, when engineering, constructing, using some new and reconstructed old irrigated systems, the most important problems are the optimization of water use from natural water resources, development and use of highly efficient water-saving and energy-saving technologies of water distribution and water use in the irrigation system. The problem of economical and efficient consumption of water resources on the studied water complex cannot be solved successfully without any related consideration of water accounting and water consumption questions based on system principles. System principles are supposed to collect, analyze and use the information, with the help of complex technical means, which are used for water measurement in conditions of water charges, and for the purpose to control the technological processes of water supply and water drainage, when the needs of water users are satisfied and the environment get less damage. In the work, we study the mathematical calculation of the unsteady water line in the Krasnodar suburban channel for water measurement. The imitated research of hydraulic processes were carried out on the mathematical model of water measurement, based on

управления технологическими процессами водоподачи и водоотведения, при максимальном удовлетворении потребностей в воде водопотребителей и минимальном нанесении ущерба окружающей среде. В работе рассматривается решение математической задачи расчета установившегося неравномерного течения воды в Пригородном магистральном канале г. Краснодара для целей водоизмерения. Имитационные исследования гидравлических процессов проводились на математической модели водоизмерения, основанной на методе характеристик, с использованием аналитических решений обыкновенных дифференциальных уравнений начальных характеристик. Внедрение рассмотренного способа водоизмерения на оросительных магистральных каналах с применением аналитических решений обыкновенных дифференциальных уравнений начальных характеристик позволит оптимизировать процессы водоизмерения и минимизировать холостые и нетехнологические сбросы воды

Ключевые слова: ВОДОУЧЁТ, КАНАЛ, ВОДОИЗМЕРЕНИЕ, РАСХОД ВОДЫ, ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ, ПАРАМЕТР КИНЕТИЧНОСТИ

the characteristic methods, with the use of analytical solution of ordinary differential equations of the initial characteristics. The use of the considered method of water measurement in irrigation channels with the use of analytical solution of ordinary differential equations of initial characteristics will allow to optimize the processes of water measurement and to minimize idle and non-technological discharges of water from the system.

Keywords: WATER ACCOUNTING, CHANNEL, WATER MEASUREMENT, WATER CONSUMPTION, DIFFERENTIAL EQUATIONS, OPTION OF KINETICS

Введение

Внедрение системного водоучета на действующих системах орошения предполагает режим эксплуатации каналов, при котором средства водоучета и управления водораспределением взаимосвязаны и функционируют как единый технологический комплекс. При этом, уровню оснащенности ОС должны соответствовать водоучет, регулирование и управление в достаточной степени автоматизированные, когда большинство технологических операций осуществляется автоматически, без вмешательства человека.

Однако одновременное прямое измерение гидравлических характеристик в контролируемых створах канала для целей водоизмерения затруднено даже при установившемся режиме течения воды. Поэтому актуальным становится применение методов математического моделирования и имитационных исследований.

Постановка и решение задачи

При режимах течения воды в водотоках, близких к установившемуся, профиль потока на коротких участках соответствует профилю равномерного или неравномерного потока.

Процесс приведения расчетных участков непризматических русел к призматическим состоит в аппроксимации участка непризматического русла призматическим каналом, имеющим средние гидравлические и морфометрические параметры естественного русла.

Гидравлические параметры русла на стыке участков соответствуют условиям их сопряжения. Условия сопряжения определяются створами, которые характеризуются: внезапным расширением или сужением русла, сменой приведенного уклона дна русла или заложения откосов, местом впадения сосредоточенных боковых притоков и др.

При докритическом режиме течения потока его установившийся профиль строится вверх по течению, начиная от заданного начального уровня водной поверхности в низовом сечении.

При сверхкритическом режиме течения потока его установившийся профиль строится вниз по течению, начиная от заданного начального уровня водной поверхности в верховом сечении.

Для построения установившегося профиля водотока в работе принят метод, имеющий ряд преимуществ, при использовании его для непризматических русел:

- приведенное призматическое русло может иметь произвольную форму;

- если на расчетном участке русла или вблизи от него глубина или отметка уровня воды неизвестна, можно принять глубину или отметку уровня в створе, отдаленном от расчетного на заданное расстояние вверх или вниз по течению.

Для расчета установившегося профиля потока необходимо иметь следующие данные:

- расход, для которого строится профиль потока;
- глубина воды или отметка уровня водной поверхности в заданном створе. При отсутствии этих данных расчет следует начать от створа, в котором отметка уровня воды известна;
- гидравлические и морфометрические параметры русла на расчетном участке;
- приведенный уклон дна русла на расчетном участке. При отсутствии этих данных можно воспользоваться данными по уклону свободной поверхности на расчетном участке или на ближайших от него участках;
- коэффициент шероховатости русла и др.

Основой для рассматриваемой в работе модели водоизмерения являются аналитические решения дифференциальных уравнений начальных характеристик.

В работе рассматривается решение математической задачи расчета установившегося неравномерного течения воды в Пригородном магистральном канале г. Краснодара для целей водоизмерения.

Изложим алгоритм аналитического решения сформулированной задачи.

Система одномерных квазилинейных дифференциальных уравнений в частных производных гиперболического типа Сен-Венана в области гладких решений может быть приведена к эквивалентной системе обыкновенных дифференциальных уравнений характеристик [1,2,3]:

$$dU \pm \sqrt{\frac{g}{B\omega}} d\omega = g \left(i_0 - \frac{U^2}{C^2 R} \right) dt, \quad (1)$$

$$\left(U \pm \sqrt{\frac{g\omega}{B}} \right) \left(dU \pm \sqrt{\frac{g}{B\omega}} d\omega \right) = g \left(i_0 - \frac{U^2}{C^2 R} \right) dX, \quad (2)$$

где U - средняя скорость течения воды в сечении, м/с; H - глубина потока, м; X - пространственная координата, м; t - время, с; ω - площадь поперечного сечения, m^2 ; B - ширина водотока по урезу воды, м; g - ускорение силы тяжести, m/c^2 ; C - коэффициент Шези, $m^{0.5}/c$; R - гидравлический радиус м; I_0 - уклон дна водотока.

Знак (+) отвечает прямой характеристике, знак (-) отвечает обратной характеристике.

Рассмотрим случай расчета начальных характеристик установившегося неравномерного течения воды для призматических русел с произвольной формой поперечного сечения [4,5]. Приведем систему дифференциальных уравнений характеристик (1), (2) к тождественному виду:

$$\left(\frac{Q}{\omega} \pm \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right) \left[d\left(\frac{Q}{\omega}\right) \pm \sqrt{\frac{g}{B\omega}} d\omega \right] = g\left(i_0 - \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R}\right) dX, \quad (3)$$

$$d\left(\frac{Q}{\omega}\right) \pm \sqrt{\frac{g}{B\omega}} d\omega = g\left(i_0 - \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R}\right) dt. \quad (4)$$

Для частного случая установившегося течения воды при постоянном расходе воды, дифференциальные уравнения (3), (4) носят название дифференциальных уравнений начальных характеристик. Таким образом, дифференциальные уравнения начальных характеристик запишутся так:

$$\left(\frac{Q_0}{\omega} \pm \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right) \left[d\left(\frac{Q_0}{\omega}\right) \pm \sqrt{\frac{g}{B\omega}} d\omega \right] = g\left(i_0 - \frac{Q_0^2}{\omega^2 C^2 R}\right) dX, \quad (5)$$

$$d\left(\frac{Q_0}{\omega}\right) \pm \sqrt{\frac{g}{B\omega}} d\omega = g\left(i_0 - \frac{Q_0^2}{\omega^2 C^2 R}\right) dt, \quad (6)$$

где $Q_0 = \text{Const}$.

При заданных краевых условиях точные решения дифференциальных уравнений (5), (6) невозможны даже для наиболее простого случая прямоугольного русла. Для приведения уравнений к квадратурам их правую часть преобразуют. В соотношения (5), (6)

вводится обозначение $j^1 = \frac{g\chi}{C^2 Bi_0}$. Теперь эти уравнения можно записать

так:

$$\left(\frac{Q_0}{\omega} \pm \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right) \left[d\left(\frac{Q_0}{\omega}\right) \pm \sqrt{\frac{g}{B\omega}} d\omega \right] = gi_0 \left(1 - j^1 \frac{Q_0^2 B}{g\omega^3}\right) dX, \quad (7)$$

$$d\left(\frac{Q_0}{\omega}\right) \pm \sqrt{\frac{g}{B\omega}} d\omega = gi_0 \left(1 - j^1 \frac{\alpha Q_0^2 B}{g\omega^3}\right) dt. \quad (8)$$

Введем выражение вида:

$$Пк = \frac{\alpha Q_0^2 B}{g\omega^3}. \quad (9)$$

Функция (9) носит название параметра кинетичности потока. Из соотношения для параметра кинетичности потока можно вывести функциональные зависимости для площади поперечного сечения

$\omega = \omega(Пк)$ и производной $\frac{d\omega}{d(Пк)} = f(Пк)$ в виде:

$$\omega = \left(\frac{\alpha Q_0^2 B}{g(Пк)}\right)^{1/3}, \quad \frac{d\omega}{d(Пк)} = -\frac{1}{3} \frac{\omega}{Пк}. \quad (10)$$

Используя соотношения (9) и (10), преобразуем уравнения (7) и (8).

Можно получить:

$$H \frac{1}{3s} \frac{(Пк - 1)}{Пк(1 - j^1 Пк)} d(Пк) = i_0 dX, \quad (11)$$

$$\sqrt{H} \frac{1}{3\sqrt{gs}} \frac{(Пк - 1)}{Пк(\sqrt{Пк} \pm 1)(1 - j^1 Пк)} d(Пк) = i_0 dt, \quad (12)$$

где $\bar{s} = \frac{1}{2} \left(\frac{B_k H_k}{\omega_k} + \frac{B_f H_f}{\omega_f} \right)$ – среднеарифметическое значение мало

изменяемой величины между точками $k - f$ некоторой линии, вдоль которой ведется дифференцирование.

Дифференциальные уравнения (11), (12) в общем случае не имеют точного решения. Поэтому для получения приближенных решений их

линеаризуют, заменяя значения сомножителей в левой части H и \sqrt{H} на их средне-арифметические значения на расчетном участке, соответственно, на H_{cp} и $\sqrt{H_{cp}}$. В этом случае уравнения (11), (12) преобразуются к виду:

$$H_{cp} \frac{1}{3s} \frac{(\Pi_k - 1)}{\Pi_k(1 - j^1 \Pi_k)} d(\Pi_k) = i_0 dX, \quad (13)$$

$$\sqrt{H_{cp}} \frac{1}{3\sqrt{g_s}} \frac{(\Pi_k - 1)}{\Pi_k(\sqrt{\Pi_k \pm 1})(1 - j^1 \Pi_k)} d(\Pi_k) = i_0 dt, \quad (14)$$

где $H_{cp} = \frac{1}{2}(H_k + H_f)$, $\sqrt{H_{cp}} = \frac{1}{2}(\sqrt{H_k} + \sqrt{H_f})$ между створами $k - f$ расчетного участка.

Проинтегрируем дифференциальное уравнение (13). Получим решение в виде:

$$i_0(X_k - X_f) = \frac{H_{cp}}{3s} \left[\frac{(j^1 - 1)}{j^1} \ln \left| \frac{1 - j^1 \Pi_{k_k}}{1 - j^1 \Pi_{k_f}} \right| - \ln \left| \frac{\Pi_{k_k}}{\Pi_{k_f}} \right| \right], \quad (15)$$

где постоянная интегрирования определена из заданных граничных условий между точками $k - f$ некоторой линии, вдоль которой ведется дифференцирование.

Дифференциальное уравнение начальных характеристик (5) эквивалентно обыкновенному дифференциальному уравнению неравномерного установившегося течения воды в призматическом русле, а его аналитическое решение (15) в методе характеристик является начальным условием и служит для построения кривой свободной поверхности в призматическом русле при установившемся режиме течения воды [6].

Проинтегрируем дифференциальное уравнение (14). Получим решение в виде

$$i_0(t_k - t_f) = \frac{\sqrt{H_{cp}}}{3\sqrt{gs}} \left[\frac{1}{\sqrt{j^1}} \ln \left| \frac{(1 + \sqrt{j^1 \Pi_{\kappa_k}}) (1 - \sqrt{j^1 \Pi_{\kappa_f}})}{(1 + \sqrt{j^1 \Pi_{\kappa_f}}) (1 - \sqrt{j^1 \Pi_{\kappa_k}})} \right| \pm \right. \\ \left. \pm \ln \left| \frac{(1 - j^1 \Pi_{\kappa_k}) \Pi_{\kappa_f}}{(1 - j^1 \Pi_{\kappa_f}) \Pi_{\kappa_k}} \right| \right], \quad (16)$$

где постоянная интегрирования определена из заданных граничных условий, между точками $k - f$ некоторой линии, вдоль которой ведется дифференцирование.

Уравнение (16) позволяет определять время распространения волны возмущения, движущейся вдоль начальной характеристики. Знак (+) отвечает прямой волне возмущения и прямой начальной характеристике, знак (-) отвечает обратной волне возмущения и, соответственно, обратной начальной характеристике.

Внедрение и оценка эффективности

Пригородный магистральный канал г. Краснодара представляет собой русло трапецеидального сечения протяженностью более 50 километров. Головная насосная станция оборудована семью насосными агрегатами равной производительности $Q_{arp} = 3,2 \text{ м}^3/\text{с}$ [7,8].

Данные по бьефам с гидравлическими элементами и схематизированными значениями расходов водопотребления, уточненными в процессе проведения натурных исследований на Пригородном магистральном канале г. Краснодара, приведены в таблице 1.

В створах сопряжения рассматриваются перегораживающие сооружения с истечением из отверстия под воду. Уровни воды располагаются на высоте H_B и H_H выше отверстия. Условия сопряжений можно записать в виде:

$$Q_B = Q_H + q; \quad q = \text{const}, \quad (17)$$

$$Q_H = \mu \varphi_1 \varphi_2 n b H_{щ} \sqrt{2g(H_B - H_H)} \quad (18)$$

где Q_v, Q_n – расходы воды в верхнем и нижнем бьефах перегораживающего сооружения; q – расход водовыпусков на расчетном участке канала, сосредоточенный в верхнем бьефе перегораживающего сооружения; H_v, H_n – глубины воды в верхнем и нижнем бьефах перегораживающего сооружения; $H_{от}$ – открытие затвора; μ – коэффициент расхода; Φ_1 – коэффициент бокового сжатия струи воды; Φ_2 – коэффициент вертикального сжатия струи воды; b – ширина пролета затвора на перегораживающем сооружении; n – число пролетов.

Таблица 1 - Гидравлические элементы в бьефах ПрМК

Номер бьефа	Шероховатость	Уклон	Длина бьефа, м	Заложение откоса	Ширина по дну, м	Отбор воды, м ³ /с, 100%
1	0,017	0,0003	4500	2	2	1,2
2	0,017	0,0003	3500	2	2	1,2
3	0,017	0,0003	4500	2	2	1,2
4	0,017	0,0004	3500	2	1	1,2
5	0,017	0,0004	2250	2	1	1,2
6	0,02	0,00045	3500	2	1,5	1,2
7	0,02	0,0006	4000	2	1,5	1,2
8	0,025	0,0004	5000	2	1,5	0,9
9	0,025	0,0004	4750	2	1,5	0,9
10	0,025	0,0004	9500	2	1,5	0,8
11	0,02	0,00005	500	2	1,5	0

В таблице 2. приведены данные по перегораживающим сооружениям ПрМК.

Таблица 2 - Данные по перегораживающим сооружениям ПРМК

№ бьефа	Тип сопряжения	Коэф. расхода	Коэф. горизонт. сжатия полока	Коэф. вертикал. сжатия полока	Ширина затвора, м	Количество затворов	Открытие затвора, м
22	ПС	0,66	0,97	0,95	1,5	2	2,3
3	ПС	0,64	0,96	0,95	1,5	2	2,3
4	ПС	0,63	0,96	0,94	1,5	2	2,3
5	ПС	0,65	0,97	0,95	1,5	2	2,0
6	ПС	0,64	0,96	0,94	1,5	2	2,0
7	ПС	0,63	0,97	0,95	1,5	2	1,1
8	ПС	0,66	0,96	0,95	1,5	2	0,9
9	ПС	0,64	0,96	0,95	1,5	2	0,8
10	ПС	0,65	0,96	0,94	1,5	2	0,6
11	ПС	0,63	0,95	0,95	1,5	2	0,6

В качестве начального и граничных условий приняты гидравлические параметры ПрМК по бьефам, соответствующие установившемуся неравномерному течению с расходом воды $Q = 16 \text{ м}^3/\text{с}$ и глубиной воды $h = 2,242 \text{ м}$ в голове канала. Величина сбросного расхода в конце магистрального канала $Q_{\text{сбр}} = 5 \text{ м}^3/\text{с}$.

Результаты расчетов установившегося неравномерного течения воды в бьефах Пригородного магистрального канала г. Краснодара, выполненные по формулам (15) и (16), приведены в таблице 3.

На рисунках 1 и 2 приведены расчетные данные глубин и расходов воды по нулевым створам бьефов Пригородного магистрального канала г. Краснодара при установившемся неравномерном режиме течения воды, с использованием аналитического решения (15).

Внедрение рассмотренного способа водоизмерения на оросительных магистральных каналах с применением аналитических решений обыкновенных дифференциальных уравнений начальных характеристик

(15), (16), позволит оптимизировать процессы водоизмерения и минимизировать холостые и нетехнологические сбросы воды.

Таблица 3 - Данные расчетных значений гидравлических параметров в бьефах ПрМК при установившемся неравномерном течении воды

№ бьефа	№ хар-к	Длина, м	Расход, м ³ /с	Глубина, м	Ср. скорость, м/с	Время, с
1	0	0	16	2,242	1,101	0
2	0	4500	14,8	2,186	1,062	956,76
3	0	8000	13,6	2,048	1,09	1713,32
4	0	12500	12,4	1,85	1,176	2702,5
5	0	16000	11,2	1,99	1,13	3485,09
6	0	18250	10	1,976	1,022	3995,89
7	0	21750	8,8	1,642	1,12	4808,29
8	0	25750	7,6	1,878	0,77	5685,9
9	0	30750	6,7	1,833	0,708	6893,65
10	0	35500	5,8	1,641	0,739	8049,47
11	0	45000	5	1,853	0,519	10473,86

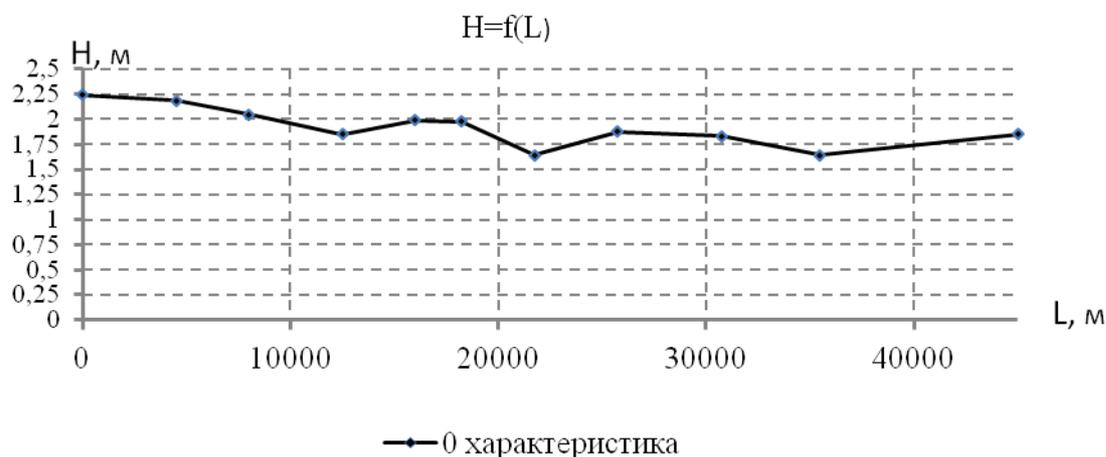


Рис. 1. Расчетные данные глубин воды по нулевым створам бьефов Пригородного магистрального канала г. Краснодара при установившемся неравномерном режиме течения воды, с использованием аналитического решения (15).

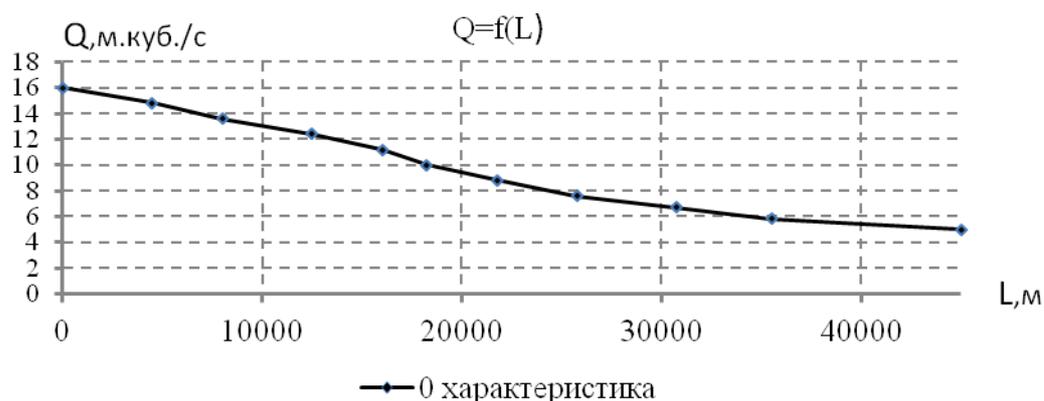


Рис. 2. Расчетные данные расходов воды по нулевым створам бьефов Пригородного магистрального канала г. Краснодара при установившемся неравномерном режиме течения воды, с использованием аналитического решения (16).

Заключение

В работе сформулирована математическая задача расчета установившегося неравномерного режима течения воды в системе бьефов призматических каналов. Изложен алгоритм аналитического решения сформулированной математической задачи и выполнены имитационные исследования.

Имитационные исследования гидравлических процессов проводились на математической модели водоизмерения, основанной на методе характеристик, с использованием аналитических решений обыкновенных дифференциальных уравнений начальных характеристик.

Литература

1. Иваненко, Ю. Г. Гидравлические аспекты устойчивых водных потоков в неразрываемых и размываемых руслах / Ю. Г. Иваненко, А. А. Ткачев, А. Ю. Иваненко. – Новочеркасск: ООО «Лик», 2013. – 352 с.
2. Иваненко, Ю. Г. Гидравлический расчет тупиковых саморегулирующихся распределительных каналов автоматизированных оросительных систем / Ю. Г. Иваненко, А. А. Ткачев, А. Ю. Иваненко // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2014. – № 5 (180). – С. 62-65.
3. Иваненко, Ю. Г. Расчет параметров неустановившегося течения водных потоков в магистральном канале для способа активного управления

водораспределением / Ю. Г. Иваненко, А. А. Ткачев, А. Ю. Иваненко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – № 2 (14). – С. 138-149. – Режим доступа: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec264-field6.pdf

4. Иваненко, Ю. Г. Управление водораспределением в каналах методом совмещенного регулирования уровней в бьефах перегораживающих сооружений (на примере Азовской ОС) / Ю. Г. Иваненко, А. А. Ткачев, А. Ю. Иваненко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2013. – № 3. – С. 35-37.

5. Иваненко, Ю. Г. Метод расчета гидравлических параметров земляного канала с установившимся неравномерным течением воды с переменным расходом / Ю. Г. Иваненко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – № 04 (078). – С. 369 – 376. – IDA [article ID]: 0781204032. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/32.pdf>

6. Иваненко, Ю. Г. Расчет кинематических волн паводков / Ю. Г. Иваненко, Н. Г. Иваненко, А. А. Ткачев // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2010. – № 22. – С. 191-195.

7. Иваненко, Ю. Г. Теоретические и прикладные проблемы гидравлики рек и каналов / Ю. Г. Иваненко, А. А. Ткачев. – Новочеркасск: НГМА, 2007. – 250 с.

8. Иваненко, Ю. Г. Применение теории длинных волн для расчета попусков воды из водохранилищ / Ю. Г. Иваненко, Н. Г. Иваненко, А. А. Ткачев // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2007. – №4. – С. 87-91.

References

1. Ivanenko Yu. G. Gidravlicheskie aspekty ustojchivyh vodnyh potokov v nerazmyvaemyh i razmyvaemyhruslah / Yu. G. Ivanenko, A. A. Tkachev, A. Yu. Ivanenko. – Novocherkassk: ООО “Lik”, 2013. – 352 s.

2. Ivanenko Yu. G. Gidravlicheskiy raschet tupikovyh samoregulirujushhihsja raspredelitel'nyh kanalov avtomatizirovannyh orositel'nyh sistem / Yu. G. Ivanenko, A. A. Tkachev, A. Yu. Ivanenko // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Serija: Tehnicheskie nauki. – 2014. – № 5 (180). – S. 62-65.

3. Ivanenko Yu. G. Raschet parametrov neustanovivshegosja techenija vodnyh potokov v magistral'nom kanale dlja sposoba aktivnogo upravlenija vodoraspredeleniem / Yu. G. Ivanenko, A. A. Tkachev, A. Yu. Ivanenko // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii: jelektron. periodich. izd. / Ros. nauch.-issled. in-t problem melioracii. – Jelektron. zhurn. – Novocherkassk: RosNIIPM, 2014. – № 2 (14). – S. 138-149. – Rezhimdostupa: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec264-field6.pdf

4. Ivanenko Yu. G. Upravlenie vodoraspredeleniem v kanalah metodom sovmeshhennogo regulirovanija urovnej v b'efah peregorazhivajushhih sooruzhenij (na primere Azovskoj OS) / Yu. G. Ivanenko, A. A. Tkachev, A. Yu. Ivanenko // Melioracija i vodnoehozjajstvo. – 2013. – № 3. – S. 35-37.

5. Ivanenko Yu. G. Metod rascheta gidravlicheski hparametrov zemljanogo kanala s ustanovivshimsja neravnomernym techeniem vody s peremennym rashodom / Yu. G. Ivanenko. Politematicheskiy setevojj elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (NauchnyjzhurnalKubGAU) [Jelektronnyjresurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2012. – № 04 (078). – S. 369 – 376. – IDA [article ID]: 0781204032. – Rezhimdostupa: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/32.pdf>

6. Ivanenko Yu. G. Raschet kinematicheskikh voln pavodkov / Yu. G. Ivanenko, N. G. Ivanenko, A. A. Tkachev // Trudy Kubansko gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2010. – № 22. – S. 191-195.

7. Ivanenko Yu. G. Teoreticheskie i prikladnye problem gidravlikirek i kanalov / Yu. G. Ivanenko, A. A. Tkachev. – Novocherkassk: NGMA, 2007. – 250 s.

8. Ivanenko Yu. G. Primenenie teorii dlinnyh voln dlja rascheta popuskov vody iz vodohranilishh / Yu. G. Ivanenko, N. G. Ivanenko, A. A. Tkachev // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Serija: Tehniches kienauki. – 2007. – №4. – S. 87-91.