

УДК 626.823.6

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ В ОТКРЫТЫХ КАНАЛАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШТАНГОВОГО РАСХОДОМЕРА

А.А.Пахомов, кандидат технических наук

С.В.Тронеv, кандидат технических наук

К.М.Мелихов, кандидат технических наук

Н.А.Колобанова, аспирант

Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия

Ключевые слова: расходомер, водоучет, чувствительный элемент, решетка, оптимизация, оросительный канал

Введение

Современное орошаемое земледелие с принятием новых законодательных и нормативно-правовых актов сталкивается с существенными трудностями в области водопользования. Постоянный рост стоимости энергетических и материально-технических ресурсов на фоне недостаточного бюджетного финансирования привел к переходу эксплуатирующих организаций к оказанию платных услуг водопотребителям за подачу поливной воды. С появлением новых форм собственности – муниципальных образований, которым передаются межхозяйственные сети, включающие магистральные и распределительные каналы различных уровней, возникнут конфликтные ситуации между участниками процесса водопользования [1]. Такие разногласия есть уже сейчас и возникали ранее с созданием частных и фермерских хозяйств из-за отсутствия на оросительной сети средств учета воды. Потребители воды не обладают достоверной информацией об объемах затраченной воды и за ее использование рассчитываются не за конкретный объем воды, а за условные гектары орошаемой площади.

В настоящее время известно большое количество различных конструкций расходомеров [2] и счетчиков количества жидкости и газа, рекомендованных для использования в промышленности и на мелиоративных системах, а также способов и средств учета воды в открытых каналах.

Анализ этих средств показал, что наиболее эффективны конструкции, использующие акустическое (ультразвуковое) зондирование потока. Однако устройства и приборы измерения расхода и уровней воды отечественных и зарубежных производителей имеют ограниченное применение на открытых каналах мелиоративных систем из-за отсутствия приемлемой точности измерения, отсутствия на постах водоучета электроснабжения, либо по причине дороговизны. Исходя из вышеизложенного, учитывая мнение многих авторов, занимающихся проблемами водоучета на мелиоративных системах (В.Н.Щедрин, В.И.Ольгаренко, В.Я.Бочкарев и др.), можно сделать вывод о необходимости

сти разработки простых по конструкции и надежных в эксплуатации, энергонезависимых и обеспечивающих высокую точность измерения средств водоучета, которые не ухудшали бы пропускную способность канала и не требовали реконструкции существующих гидротехнических сооружений.

В связи с указанными проблемами и было определено направление наших разработок и исследований в области совершенствования технических средств водоучета на открытых оросительных системах.

Для реализации цели исследований были поставлены следующие задачи: анализ современных средств водоучета для открытой оросительной сети; проведение натурных исследований процесса водораспределения на оросительных каналах внутрихозяйственной сети в отношении возможности внедрения гидравлических средств водоучета; разработка конструкции расходомера и его исследование в лабораторных условиях для определения гидравлических и кинематических параметров конструкции; оптимизация параметров конструкции расходомера и составление математической модели конструкции; составление методики инженерного расчета и рекомендаций проектным и эксплуатационным организациям; расчет экономической эффективности.

Результаты исследований и их обсуждение

Для организации водоучета нами предлагается водомерное устройство, включающее (рис.1,2) чувствительный элемент 1 в виде решетки, состоящей из плоских продольных и поперечных планок. Чувствительный элемент 1 жестко закреплен на нижней части рычага 2, который установлен на оси вращения 3. В верхнем плече рычага 2 имеется отверстие, к которому крепится пружинный динамометр 4, установленный в защитном коробе 5. Короб 5 жестко зафиксирован в центре гидрометрического мостика 6 канала 7.

Работа устройства осуществляется следующим образом. Первоначальное положение чувствительного элемента 1 вертикальное, динамометр 4 показывает нулевое усилие. Под воздействием потока воды в канале 7 на чувствительный элемент 1 воздействует гидродинамическое давление, которое отклоняет рычаг 2 в сторону направления течения. Находящийся на другом конце рычага 2 динамометр 4 показывает величину усилия, переданного через рычаг 2. По величине замеренного усилия устанавливается расход воды в канале.

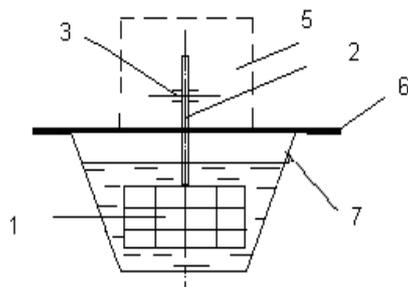


Рис.1. Общий вид расположения расходомера на канале

В ходе исследований проводилась оптимизация параметров чувствительного элемента. Для описания работы чувствительного элемента, как объекта исследования, были учтены все наиболее существенные факторы.

В качестве входных факторов были приняты следующие основные конструктивные параметры чувствительного элемента (в мм): x_1 – толщина

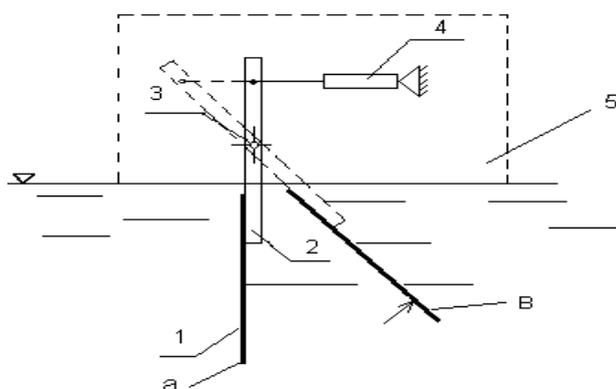


Рис.2. Схема работы расходомера в первоначальном (а) и рабочем (в) положениях

рейки; x_2 – высота, x_3 – ширина ячейки.

Выходным показателем на этапе лабораторных исследований был принят фактор, учитывающий разницу показаний эталонного и экспериментального измерителя – квадрат разности давления.

В соответствии с принятой методикой для исследования области оптимума был реализован план Рехтшафнера для трехфакторного эксперимента.

На основании экспериментальных данных по предложенной программе [3] рассчитаны коэффициенты B_0 , B_i , B_{ij} и B_{ii} уравнения регрессии:

$$y = B_0 + \sum B_i x_i + \sum B_{ij} x_i x_j + \sum B_{ii} x_i^2 \quad (1)$$

Значимость коэффициентов уравнения (1) оценивалась по критерию Стьюдента. Незначимые коэффициенты удалялись, и выполнялся повторный расчет коэффициентов регрессионной модели [3]. В результате расчетов получены уравнения регрессии в кодированном виде:

$$\Delta p^2 = 0,15 - 0,35 x_1 + 0,03 x_2 + 0,02 x_3 - 0,025 x_1 x_2 - 0,05 x_1 x_3 + 0,005 x_2 x_3 + 0,36 x_1^2 + 0,25 x_2^2 + 0,24 x_3^2 \quad (2)$$

Адекватность полученных математических моделей проверялась по критерию Фишера [4]:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S^2(y)} \quad (3)$$

$$\text{где } S_{ad}^2 = n \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - y_i)^2 / (N - [k + 1]) \quad \text{– дисперсия ошибки опыта;}$$

$$S^2(y) = \left(\sum_{i=1}^N \sum_{q=1}^n [y_{iq} - y_i]^2 \right) / N(n + 1) \quad \text{– дисперсия неадекватности модели,}$$

здесь: y_i – величина, рассчитанная по математической зависимости; y_i – среднеарифметическое значение случайной величины; y_{iq} – значение i -той величины в q -том опыте; n – число повторностей опыта; N – число строк матрицы плана; k – число факторов.

В результате расчетов получено $F_{\Delta p^2} = 0,003$. Так как $F_{0,05} > F$ (здесь $F_{0,05} = 2,1646$ – табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 5% [4]), то математические модели адекватны результатам эксперимента.

С помощью предложенной программы [3] были определены оптимальные значения факторов: $x_1 = 0,49$, $x_2 = -0,04$, $x_3 = 0,01$ в кодированном виде, в раскодированном виде соответственно: $x_1 = 20,1$; $x_2 = 98,8$; $x_3 = 100,3$ мм. В результате расчетов получены уравнения регрессии в кодированном виде:

$$\Delta p^2 = 0,15 - 0,35 x_1 + 0,03 x_2 + 0,02 x_3 - 0,025 x_1 x_2 - 0,05 x_1 x_3 + 0,005 x_2 x_3 + 0,36 x_1^2 + 0,25 x_2^2 + 0,24 x_3^2 \quad (4)$$

Уравнение регрессии (1), представленное в канонической форме, имеет вид:

$$Y - 0,04 = 0,37 X_1^2 + 0,25 X_2^2 + 0,24 X_3^2 \quad (5)$$

Поскольку все коэффициенты при квадратных членах имеют положительные знаки, то поверхности откликов представляют не что иное, как трехмерный параболоид с координатами центров поверхностей в оптимальных значениях факторов.

Исходя из результатов оптимизации был изготовлен опытный образец с оптимальными параметрами чувствительного элемента. Для изучения гидродинамического воздействия потока на чувствительный элемент была подготовлена лабораторная установка. Геометрический масштаб моделирования составил $l = 3$. Основным критерием динамического подобия принят критерий Фруда, с учетом которого полученные данные пересчитаны на натурные условия.

Геометрические размеры чувствительного элемента, исходя из геометрических размеров типового внутривозвратного канала, можно вычислить по формулам:

$$A = (h_{cm\epsilon} - \Delta - 0,02) / 0,118 ; \quad X = A \cdot 0,118 + 0,02 ; \quad (6)$$

$$B = (b - 0,02) / 0,121 ; \quad Y = B \cdot 0,121 + 0,02 , \quad (7)$$

где Δ – величина запаса на установку по вертикали ($\Delta = h_{cm\epsilon} - X$) устанавливается, основываясь на правилах гидрометрии (для одно- и двухточечного способа измерений): для $h_{cm\epsilon} \leq 0,75$ м $\Delta = 0,1$ м; для $h_{cm\epsilon} > 0,75$ м $< 1,5$ м $\Delta = 0,2-0,3$ м; A – количество ячеек по вертикали (округляем до целого в меньшую сторону при большом Δ , округляем до целого при малом Δ); $0,02$ – толщина планки, с учетом проведенной оптимизации, м; $0,118$ – длина ячейки + толщина планки, с учетом оптимизации, м; X – высота решетки, м; B – количество ячеек по горизонтали (округляем до целого в меньшую сторону);

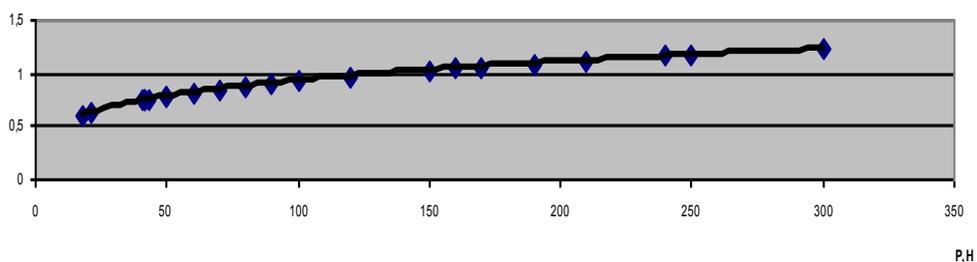


Рис.3. Зависимость расхода от гидродинамического давления на чувствительный элемент

b – ширина канала по дну, м; Y – ширина решетки, м; 0,121 – ширина ячейки + толщина планки, с учетом оптимизации, м.

Активная площадь решетки определяется по зависимости:

$$F_p = (a \cdot c \cdot k) + ((b - k \cdot c) \cdot c \cdot n),$$

где k – количество вертикальных планок решетки, n – количество горизонтальных планок решетки, b – ширина решетки, a – высота решетки, c – ширина планки.

В результате обработки полученных данных получена (рис.3) графическая зависимость расхода от гидродинамического давления на чувствительный элемент.

Выводы

1. Применение в качестве чувствительного элемента решетки позволяет повысить точность измерения расхода до $\pm 2,5\%$ по сравнению с расходомерами, которые имеют чувствительный элемент в виде лопасти [5].

2. Результаты оптимизации параметров предлагаемой конструкции позволяют найти оптимальные геометрические размеры чувствительного элемента для типовых каналов внутрихозяйственной оросительной сети.

Литература

1. Щедрин, В.Н. О состоянии приборного обеспечения и возможности совершенствования водочета на оросительных системах. / В.Н.Щедрин, В.Я.Бочкарев, И.В.Клишин, М.А.Варичев // Вопросы мелиорации. – М. – 2008. – № 1-2.
2. Кремлевский, П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ: справочник / П.П. Кремлевский; под общ. ред. Е.А. Шорникова. – СПб.: Политехника, 2004. Кн. 2. – 412 с.
3. Дегтярев, Ю.П. Регрессионный анализ на ПЭВМ./ Ю.П.Дегтярев, А.И.Филатов // Труды Волгоградского СХИ, 1992. – С.128-131.
4. Вентцель, Е.С. Теория вероятности и ее инженерное приложение./ Е.С.Вентцель, Л.А.Овчаров. – М.: Наука, 1988. – 480 с.
5. Заявка на полезную модель №2009109482. Расходомер жидких сред в открытых водоемах/ А.С. Овчинников, А.А. Пахомов, К.М. Мелихов, Н.А. Колобанова. Решение о выдаче патента от 01.06.2009 г.

Summary

Pakhomov A., Tronev S., Melikhov K., Kolobanova N. Measuring water expenditure in open canals with the use of sucker-rod flow meter

Designed water measured device is developed for open channels with immersed by a sensitive element in form of lattice. Offered flow meter differs simplicity, reliability, energy independent, does not demand reconstruction of existing hydraulic engineering constructions. Result of optimization of parameters of offered design allow to find optimum geometrical sizes of a sensitive element for typical channels of intraeconomic irrigating network.

Поступила 10 июля 2009 г.