

5 Базаров, Д. Р. Влияние разнонаправленности гидравлического трения к гидродинамическим уравнениям потока / Д. Р. Базаров, С. Я. Школьников, М. У. Абсоатов // International Academy Journal. Web of Scholar. – 2018. – 2(20), vol. 1. – Р. 10–13.

6 Анализ неравномерного движения воды по длине водоподводящих сооружений насосных станций / О. Я. Гловацкий, С. Х. Махкамов, Н. А. Тожибеков, Н. Р. Насырова, Н. И. Юсупов // Геотехнические проблемы в Узбекистане и их современные решения: тр. междунар. науч.-практ. конф. – Ташкент, 2018. – С. 222–226.

7 Очилов, О. Р. Новые методы очистки подводящего канала Каршинского магистрального канала / О. Р. Очилов, О. Я. Гловацкий // Повышение эффективности, надежности и безопасности гидротехнических сооружений: материалы респ. науч.-практ. конф. / ТИИМ. – Ташкент, 2013. – С. 396–399.

8 Ergashev, R. R. New aspects of reliability function of irrigation pumping stations / R. R. Ergashev // European science review. – 2017. – № 1-2. – Р. 247–249.

9 Beysemin, K. R. Research of side filtering water intakes / K. R. Beysemin, A. Berestenov // The investigation of side filter water fences: 4th international conference on science and technology. – London: Tomas Reuters, 2014. – Р. 112–121.

10 Обеспечение безопасности и надежности низконапорных гидротехнических сооружений: монография / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланова, О. А. Бавев, Е. Д. Михайлов. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 283 с.

УДК 627.881

О. Я. Гловацкий, Н. Р. Насырова, А. Б. Сапаров, М. К. Бердалиев

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, Ташкент, Республика Узбекистан

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ В СИСТЕМЕ «КАНАЛ – НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ»

В статье рассматриваются некоторые методы расчета неустановившегося движения воды в каналах. Установлено, что для расчетов гидравлических параметров русловых потоков при проектировании систем «канал – насосная станция» с переходными процессами возможно использовать уравнения неразрывности и определять средний расход за необходимый интервал времени в рассматриваемом створе. Рекомендуемый метод управления эксплуатационными режимами насосных станций предусматривает решение уравнений неустановившегося движения для некоторого выбранного момента времени $\tau = \text{const}$.

Ключевые слова: насосные станции, каналы, створ, интервал времени, неустановившееся движение воды, гидродинамика.

O. Ya. Glovatsky, N. R. Nasyrova, A. B. Saparov, M. K. Berdaliev

Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems, Tashkent, Republic of Uzbekistan

SOME METHODS FOR UNSTEADY FLOW CALCULATION IN THE SYSTEM “CANAL – PUMP STATION”

Some methods for calculating unsteady canal water flow are discussed. It has been found that for calculating the hydraulic parameters of canal flows in the design of “canal – pump station” systems with transition process, it is possible to use the continuity equations and determine the average flow for the required time interval through the considered range. The recommended method of the operating conditions control of pump stations involves the solutions of equations of unsteady flow for a certain selected time moment $\tau = \text{const}$.

Key words: pump stations, canals, parameters, section line, time interval, unsteady flow, hydrodynamics.

Расчеты неустановившегося движения воды связаны с удовлетворением запросов различных отраслей народного хозяйства, в первую очередь при проектировании оросительных и осушительных систем.

Так, при проектировании гидроузлов вычисляется ход уровней и расходов на значительном протяжении нижнего бьефа при различных режимах работы насосной станции (НС), определяемых водностью года, сезоном, днем недели, временем суток и т. д. Опыт эксплуатации показывает важность определения для различных створов в системе «канал – насосная станция» значений как максимальных уровней воды (из-за опасности технологических режимов сифонных водовыпусков), так и минимальных (для обеспечения нормального функционирования водозаборов, аванкамер, всасывающих труб), а также определения расходов и скоростей воды в промежуточных каналах каскадов НС.

Комплекс сооружений и оборудования НС, обеспечивающий водоподачу или водоотведение в соответствии с нуждами потребителя, определяют исходя из принципов комплексного использования водных ресурсов и охраны природы.

Основными задачами комплексного анализа работы при проектировании систем «канал – насосная станция» с переходными процессами являются:

- выявление изменений процессов гидродинамики направляющих систем;
- установление факторов, определяющих риск опасности НС при неустановившемся движении воды в аванкамерах, водоприемниках, проточной части гидроагрегатов;
- проверка экспериментальным путем математической модели в системах НС физической картины явлений при остановке насосов;
- создание методики расчета процессов, возникающих при аварийных отключениях насосов, снабженных новыми потокоформирующими системами: развитый вход во всасывающие трубы насосов в водоприемнике, донные поперечные стенки в аванкамере [1]. Метод кинетического осреднения, используемый в проточной части насосов, соответствует методу стабилизации средних по сечению скоростей в водоподводящих сооружениях НС [1].

Все каналы, как правило, должны работать в равномерном режиме или с небольшим подпором. Работа канала в режиме спада требует специального обоснования. При использовании подводящих каналов в качестве регулирующей емкости скорость опорожнения следует подбирать так, чтобы не вызвать разрушения откосов канала гидродинамическим воздействием воды. Гидравлические связи каналов в системе осуществляются граничными условиями. Неустановившееся течение воды в канале описывается уравнениями сохранения массы и количества движения. В данном случае используется дивергентная форма уравнения гидравлического трения в плановых уравнениях Сен-Венана [1].

Ранее обосновано, что интегральные уравнения механики справедливы как для непрерывных решений, так и для разрывов (в газовой динамике – ударных волн). Это показывает, что численные методы в различных разделах механики должны строиться на основе интегральных уравнений, что обеспечивает автоматическое выполнение условий на разрывах [2, 3]. Дифференциальные уравнения, полученные таким образом, называются консервативными или дивергентными:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} &= q, \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(P + \frac{Q^2}{\omega} \right) &= q \omega \left(i - \frac{Q|Q|}{K^2} \right) + q \int_0^h (h - \xi) \left(\frac{\partial B}{\partial x} \right)_\xi d\xi, \\ \omega &= \int_0^h B(x, \xi) d\xi, \quad P = q \int_0^h (h - \xi) B(x, \xi) d\xi, \end{aligned} \quad (1)$$

где ω – площадь живого сечения, м^2 ;

t – время, с;

Q – расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$;

x – продольная координата;

q – боковая приточность, $\text{м}^3/\text{с}$;

P – сила гидростатического давления, Н;

i – уклон дна;

K – модуль расхода, $\text{л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$;

h – глубина воды, м;

B – ширина русла, м;

ξ – вспомогательная величина, учитывающая изменение площади поперечных сечений и глубин воды в водоподводящих сооружениях с конструктивными изменениями, приведенными выше для проточной части насоса, аванкамеры и водоприемника [3].

Будем рассматривать P как функцию аргументов h и x . Тогда уравнения (1) можно записать в более компактной форме:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)_x + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{\omega}\right) = q\omega \left(i - \frac{Q|Q|}{K^2}\right). \quad (2)$$

Для решений без разрывов уравнение (1) эквивалентно следующей системе:

$$\left[\frac{\partial Q}{\partial t} + (\vartheta \pm C) \frac{\partial Q}{\partial x} \right] - B(\vartheta \pm C) \left[\frac{\partial h}{\partial t} + (\vartheta \pm C) \frac{\partial h}{\partial x} \right] = q\omega \left(i - \frac{Q|Q|}{K^2}\right) + \vartheta^2 \left(\frac{\partial \omega}{\partial x}\right)_h - (\vartheta \pm C)q,$$

где C – скорость распространения малых возмущений, м/с;

ϑ – осредненная продольная составляющая скорости, м/с.

Главная роль при таком подходе отводится условиям, отражающим характерные признаки различных этапов неустановившегося движения воды [2].

На практике границы областей можно установить следующим образом:

- 1) медленно изменяющееся течение при изменении характеристик насосов;
- 2) резко изменяющееся течение при остановке одного или нескольких агрегатов;
- 3) течение с возможным образованием прерывной волны при наложении этих и других неблагоприятных факторов.

Тогда при выполнении условий 1 или 3 вычисления ведутся по неявной схеме, а при выполнении условия 2 осуществляется переход на алгоритм, использующий явную схему. В некоторых случаях заранее известно, что на протяжении всего процесса скорость изменения параметров потока меняется незначительно, тогда анализ условий перехода можно исключить.

Совместное применение рассматриваемых методов удобно при моделировании неустановившегося движения воды и в системе каналов. Здесь решение в каждом канале может строиться независимо от остальных при условии малого влияния параметров потока на оставшуюся часть системы.

Как было отмечено выше, гидравлическая связь между каналами осуществляется через соотношения в узлах. В общем случае соединения n каналов, значения неизвестных Q и H на границах, принадлежащих узлу, связаны системой $6n$ уравнений. Здесь $3n$ уравнений представляют собой соотношения типа (2), а в оставшуюся часть входят условия сопряжения потоков и зависимости, характеризующие влияние воздействия возмущения от НС.

Рассмотрим некоторые варианты соединения каналов. Определяемыми параметрами здесь являются расход $Q = Q(x_0, t)$ и глубина воды в канале $h = h(x_0, t)$, где x_0 – граничная точка, принадлежащая данному узлу.

Граничные условия при $n = 2$.

1 Соединение каналов с резко различающимися геометрическими характеристиками:

$$Q_1 + Q_2 = 0, \quad (3)$$

$$h_1 = h_2 + a, \quad (4)$$

где Q_1, h_1 – расход и глубина воды в первом канале, м³/с, м;

Q_2, h_2 – расход и глубина воды во втором канале, м³/с, м;

a – разность между отметками дна каналов в точке соединения, м.

2 В узле находится водослив. Тогда условие (3) примет вид:

$$Q_1 + Q_2 + Q_B = 0,$$

где Q_B – расход воды, проходящей через водослив, который определяется по общеизвестным формулам, м³/с.

Уравнение (4) остается без изменения.

3 В точке соединения находится НС, регулирующий шлюз. Тогда:

$$Q_1 = Q_2 = Q_P,$$

где Q_P – расход в узле, определяемый графиком работы конкретного объекта, м³/с. Эта схема соответствует системе «канал – насосная станция» НС «Нарпай».

Граничные условия при $n = 3$.

1 Соединение каналов по уровню:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0, \quad (5)$$

$$h_1 = h_2 + a,$$

$$h_2 = h_3 + a,$$

где Q_3, h_3 – расход и глубина воды в третьем канале, м³/с, м.

2 На одном из каналов, примыкающих к узлу, расположена НС. Остальные каналы в узле также соединены по уровню.

В рассмотренных случаях замыкающими уравнениями для приведенных систем являются соотношения вида (5). Необходимо отметить, что в явном методе конечных разностей система уравнений для граничных точек на $j + 1$ временном слое содержит внутренние точки только j -го слоя, поэтому на $j + 1$ слое для значений функций на границе может быть легко получено решение в аналитической форме.

В неявном методе эти уравнения можно преобразовать к виду, позволяющему на любом j -м временном слое независимо друг от друга решать системы разностных уравнений для каждого канала системы. Аналогично можно получить условия сопряжения для $n = 4; 5$.

Задачей расчета неустановившегося движения воды является определение параметров режима Q, z в зависимости от положения створа и времени.

Анализ уравнения неустановившегося движения в такой форме:

$$i - \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial \tau} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{Q^2}{K^2},$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial \tau} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0,$$

где i – уклон дна;

h – глубина потока, м;

x – координата расстояния;

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

V – средняя скорость, м/с;

τ – время, с.

Q – расход воды, м³/с;

K – модуль расхода, л/(с·м²);

z – горизонт воды, м;

ω – площадь живого сечения, м².

Эти уравнения относятся к дифференциальным уравнениям гиперболического типа, решение которых в явной форме невозможно. Для практики эксплуатации доста-

точно найти приближенное решение этих уравнений. Для наших условий это метод режимов, который предусматривает решение уравнений неустановившегося движения для некоторого выбранного момента времени $\tau = \text{const}$. Пренебрегаем инерционными членами в уравнении равновесия Сен-Венана в следующем виде:

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{Q^2}{K^2}$$

или

$$Q^2 dx = -K^2 dz. \quad (6)$$

Производя интегрирование обеих частей равенства (6) в пределах длины расчетного участка Δx и в пределах Δz – падения уровня на участке, приходим к выражению:

$$\int_x^{x+\Delta x} \frac{Q^2 dx}{\Delta x} = - \int_z^{z+\Delta z} \frac{K^2 dz}{\Delta x}. \quad (7)$$

Допустив существование линейного закона распределения расхода вдоль потока и сделав некоторые преобразования левой части последнего равенства, получим:

$$\int_x^{x+\Delta x} \frac{Q^2 dx}{\Delta x} = Q_{x+\Delta x} \cdot Q_x. \quad (8)$$

Правая часть равенства (7) является функцией отметки z , т. е.

$$\frac{1}{\Delta x} \int_z^{z+\Delta z} K^2 dz = \varphi(z) + c. \quad (9)$$

Сравнивая выражения (8) и (9), получим $\varphi(z) + c = Q_{x+\Delta x} \cdot Q_x$ для уравнения неразрывности вида:

$$\tilde{Q}_x - \tilde{Q}_{x+\Delta x} = \frac{\omega}{\Delta \tau} \cdot \overline{\Delta z}, \quad (10)$$

где волнистая черта над Q означает осреднение этой величины в пределах интервала Δz ; ω – площадь живого сечения, м^2 .

$$\tilde{Q}_x = \frac{Q'_x + Q''_x}{2}, \quad Q_{x+\Delta x} = \frac{Q'_{x+\Delta x} + Q''_{x+\Delta x}}{2}, \quad \Delta z = \frac{\Delta z_x + \Delta z_{x+\Delta x}}{2}.$$

Произвольно задаются примерным изменением уровня Δz и $\Delta z_{x+\Delta x}$, происшедшим за время $\tau_K - \tau_H = \Delta \tau$. Тем самым назначается на участке:

$$\overline{\Delta z} = \frac{\Delta z_x + \Delta z_{x+\Delta x}}{2}.$$

Из уравнения неразрывности (10) можно определить $\tilde{Q}_{x+\Delta x}$, т. е. средний расход за интервал времени $\Delta \tau$ через створ оттока. После этого вычисляется расход в створе оттока для момента времени $\tau + \Delta \tau$. Расход в створе притока в этот момент известен из граничного условия. По полученным таким образом расходам в момент $\tau + \Delta \tau$ можно вычислить величину $\varphi(z)$.

С другой стороны, имея опорную кривую для данного участка, можно определить величину $\varphi(z)$ как заложение опорной кривой, соответствующее отметкам уровня, полученным в результате заданных изменений этих отметок в створах притока и оттока.

Полученные двумя разными способами величины $\varphi(z)$ должны совпадать. В случаях несовпадения приходится снова изменять значения Δz_x и $\Delta z_{x+\Delta x}$. После этого таким же образом производится расчет последующих участков.

Особое значение в современных условиях приобретают рекомендации по реконструкции действующих НС с целью улучшения их эксплуатационных показателей.

Опыт эксплуатации НС показывает, что введенные в строй крупные машинные каналы (Каршинский, Амукаракульский, Амубухарский, Амузангский, Шерабадский, Джизакский и др.) привлекают внимание к вопросам водосбережения, одним из ключевых моментов которого является снижение непроизводительных потерь при неустановившемся движении воды на всех этапах транспортировки от головного водозабора до орошаемых полей [4].

Выводы

1 Неустановившееся течение воды в канале описывается уравнениями сохранения массы и количества движения. Для практики эксплуатации насосных станций найдено приближенное решение этих уравнений, которое предусматривает решение уравнений неустановившегося движения для некоторого выбранного момента времени $\tau = \text{const}$.

2 Рассмотрены некоторые варианты соединения каналов в системе «канал – насосная станция». На одном из каналов, примыкающих к узлу, расположена головная насосная станция. Определяемыми параметрами являются расход и глубина воды в канале. Все каналы, как правило, должны работать в равномерном режиме или с небольшим подпором.

Список использованных источников

1 Математические модели переходных процессов в насосных станциях / О. Я. Гловацкий, Ф. Ж. Носиров, М. А. Шомайрамов, Р. Р. Эргашев // Материалы республиканской научно-практической конференции ТИИМ. – Ташкент, 2015. – С. 393–397.

2 Базаров, Д. Р. Возможности применения одномерных уравнений Сен-Венана в прогнозных расчетах внезапного разрушения высоконапорной плотины / Д. Р. Базаров, С. К. Хидиров, Д. Хаитова // Вестник Казахстанско-Немецкого университета. Устойчивое развитие Центральной Азии. – 2014. – № 3(5). – С. 161–166.

3 Rustamov, Sh. R. Constructive peculiarities of modernized centrifugal pump / Sh. R. Rustamov, N. R. Nasirova // European science review. – Vienna, 2018. – № 3–4. – P. 278–280.

4 Гловацкий, О. Я. Некоторые аспекты использования насосных станций в развитии водно-ресурсной сферы Центральной Азии в XXI веке / О. Я. Гловацкий, Н. Р. Насырова, Ф. К. Артикбекова // Северный морской путь, водные и сухопутные транспортные коридоры как основа развития Сибири и Арктики в XXI веке: сб. науч. тр. – Тюмень: ТИУ, 2018. – Т. 1. – С. 69–74.

УДК 631.6:504

В. Л. Бондаренко, А. В. Алиферов

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация

Е. Д. Хецуриани

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация;
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОНЯТИЯ ВРЕМЕНИ В ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Целью исследований являлась разработка методологических основ понятия времени в оценке экологического состояния (ЭС) в зонах влияния оросительно-