

где x_j и x_{i-1} заменяется на x_{3i} и x_{3i-1} — расстояния до i -й и $(i-1)$ -й вертикалей, а u_i , u_{i-1} — средние значения скоростей на i -й и $(i-1)$ -й вертикалях, вычисленные по (2).

На урезах значения средних скоростей принимались равными нулю; $H(x)$ — прямая, проведенная через точки (x_{3i}, h_{0i}) и (x_{3i-1}, h_{0i-1}) .

В результате экспериментальных исследований получено распределение осредненных продольных и средних в сечении скоростей в трех гидрометрических створах при установившемся движении (табл. 2), а также значения средних в сечении продольных скоростей, расходов и глубин при неустановившемся движении в тех же створах (табл. 3).

Таким образом, в результате выполненных исследований получены экспериментальные данные по распределению продольных осредненных скоростей в гидрометрических створах естественного водотока и средних по сечению при неравномерном и неустановившемся движениях воды, а также данные изменения уровней и расходов при прохождении волны попуска в створах. Они могут быть использованы для оценки математических моделей движения, применяемых при прогнозировании уровней и расходов в проектируемых и существующих водотоках для обоснования многих инженерных решений, принимаемых при создании водохозяйственных систем, а также в других случаях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Приборы для измерения скоростей движения воды/ В.П.Рогуневич, А.А. Осипович, В.Ф.Янголь, Л.П.Каравай. — В кн.: Гидротехника и мелиорация. М., 1978, № 5, с. 68–70.
2. Стечкин С.Б., Субботин Ю.Н. Сплаины в вычислительной математике. — М., 1976, с. 83–95.

УДК 532.5013

А.Л.АЗАНОВИЧ (ЦНИИКИВР)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ В РЕКЕ ОРЕССЕ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЕЕ ВОДНЫМ РЕЖИМОМ

Река Оресса протекает по территории Минской области БССР и впадает в реку Птичь. Строительство водохранилища около г.п. Любань обеспечило регулирование ее стока. Ниже Любанского водохранилища с целью выращивания товарной рыбы был создан рыбхоз "Любань". Полезная емкость его составляет 35 млн.м³. Площадь зеркала — 2250 га. Средняя глубина водохранилища 3 м; прудов — 2 м. В состав рыбоводного хозяйства входят 211 прудов. Самыми крупными прудами являются нагульные (общая заливная площадь 2046,7 га, т.е. 84 % от общей заливной площади прудов рыбоводного хозяйства, полезная емкость 33,76 млн.м³)*.

* Вследствие этого при расчете водного режима р. Орессы в первом приближении влиянием оставшихся прудов рыбхоза можно пренебречь. В дальнейшем под словом "пруды" понимаются только нагульные.

Для заполнения прудов построена сеть водопроводящих каналов. Забор воды из водохранилища в каналы для питания прудов производится двумя водозаборами в виде шлюзов-регуляторов с отверстием по 10 м каждый. Опорожнение прудов осуществляется при помощи башенных водоспусков.

Существующий режим сброса воды в р. Орессу из нагульных прудов (рис. 1) выбран с учетом требований к ведению рыбоводного хозяйства, регламентирующих сезонность и сроки опорожнения прудов, и не учитывает условия пропуска расходов рекой Орессой. В результате опорожнения рыбоводных прудов происходит подтопление пойменных сельскохозяйственных угодий ниже рыбхоза, что может нанести значительный ущерб. (Следует отметить, что опорожнение прудов осуществляется в сентябре-октябре, т.е. в период уборки урожая картофеля.)

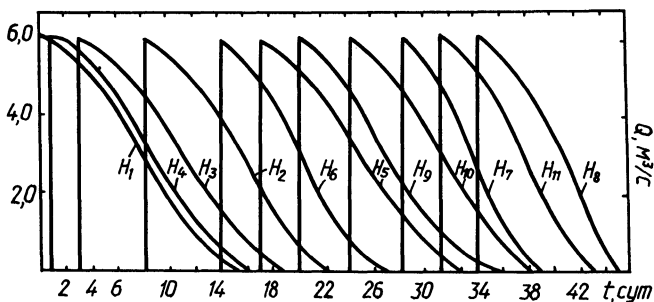


Рис. 1. Режим опорожнения $Q = f(t)$ для 11 прудов.

Контроль за сбросными расходами в рыбхозе не производился, поэтому для построения зависимости $Q = f(t)$ использовалась стандартная методика расчета пропускной способности башенных водоспусков. По существующим срокам опорожнения прудов (44 сут) была получена суммарная зависимость $Q = f(t)$ для 11 прудов (см. рис. 1). Анализ ее показывает, что в отдельные периоды суммарные сбросные расходы составляют $17 \text{ м}^3/\text{с}$, пропустить которые русло Орессы не в состоянии, что и приводит к затоплению участков поймы ниже Любанского рыбхоза.

Целью данной работы является выбор таких режимов сброса воды в р. Орессу из рыбоводных прудов Любанского рыбхоза, которые, с одной стороны, удовлетворят требования ведения рыбоводного хозяйства и с другой — уменьшат затопление нижележащих территорий, что сведет к минимуму ущерб, причиняемый сельскому хозяйству.

Предварительная оценка показала, что русло Орессы способно пропускать расходы в пределах $8\text{--}12 \text{ м}^3/\text{с}$. Поэтому выбирались такие графики опорожнения, чтобы максимальные расходы не превышали соответственно 8, 10 и $12 \text{ м}^3/\text{с}$. Производились расчеты водного режима р. Орессы и оценка площадей затопления.

Для расчетов в качестве исходного использовано обобщенное уравнение неравномерного, плавного изменяющегося движения воды [1] :

$$x_{2_{i+1}} = x_{2_i} + \frac{1 + \xi}{2g} \left(\frac{\alpha_i Q_i^2}{A_i^2} - \frac{\alpha_{i+1} Q_{i+1}^2}{A_{i+1}^2} \right) + \frac{1}{2 \cos \theta} \left(\frac{Q_i^2}{K_i^2} + \frac{Q_{i+1}^2}{K_{i+1}^2} \right) \cdot [\Delta x_1 + (x_{2_{i+1}} - x_{2_i} - x_{20_{i+1}} + x_{20_i}) \operatorname{tg} \theta],$$

где $x_{2_{i+1}}$ — отметка свободной поверхности в $i + 1$ -м створе; x_{2_i} — отметка свободной поверхности в i -м створе; Q_{i+1} , Q_i — расходы в $i + 1$ -м и i -м створах; θ — угол наклона дна реки между $i + 1$ -м и i -м створами к горизонту.

Большинство коэффициентов уравнения — морфометрические и гидравлические характеристики водотока. Они определяются для различных уровней характерных сечений водотоков до непосредственного решения уравнений, т.е. расчета водного режима [1]. В результате для каждого характерного сечения в зависимости от уровней вычисляется таблица коэффициентов уравнений. Таблицы упорядочиваются по расстоянию, образуя некоторую систему — так называемую математическую модель водотока. Коэффициенты в таблицах — параметры модели водотока [2].

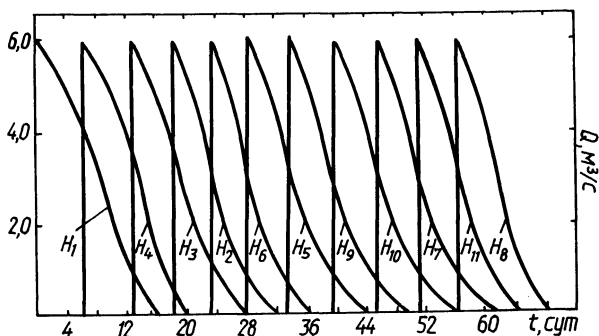


Рис. 2. Уточненный режим опорожнения $Q = f(t)$ для 11 прудов.

Характерные сечения по р. Орессе выбирались с учетом известных гидравлических требований. Они назначались: в местах сужения и расширения потока, перегиба продольного уклона и значительного изменения коэффициента шероховатости. Мосты и резкие сужения задавались тремя сечениями.

Информация о характерных сечениях двух видов — морфометрическая и гидравлическая. Сведения о геометрии сечения были получены на основе топографического материала. Гидравлическая информация (локальные по участкам периметра характерного сечения коэффициенты шероховатости) задавалась по известным таблицам [3, 4].

Таким образом, была создана математическая модель участка р. Орессы Любанского водохранилища (длина 15 км, среднее расстояние между характерными сечениями 1 км).

Используя математическую модель неравномерного плавного изменяющегося движения [2], выполнены расчеты водного режима участка р. Орессы для

максимальных расходов 8, 10 и 12 м³/с и определены соответствующие площади затопления поймы (рис. 2). Установлено, что при Q = 8 м³/с затопление нижележащих сельскохозяйственных угодий минимально — 10 % всей площади поймы. Время опорожнения прудов при этом расходе незначительно превышает нормативное и составляет 66 сут. При Q = 10 м³/с затопление угодий охватывает 16 % всей площади поймы, время опорожнения прудов — 52 сут, при Q = 12 м³/с эти показатели равны, соответственно, 25 % и 43 сут. Поэтому рекомендуется принять график сбросов, при котором максимальный суммарный расход составляет 10 м³/с.

Выбранный режим сброса воды из рыбоводных прудов Любанского рыбхоза удовлетворяет требованиям ведения рыбного хозяйства и обеспечивает при сбросах минимум площадей затопления пойменных сельскохозяйственных угодий.

Следует отметить, что русло р. Орессы деформируется, и расходы, проходящие через водоспуски, медленно изменяются. Поэтому для уточнения полученных результатов необходимо выполнить достаточно детальную съемку поймы, оперативное измерение сбросных расходов и расчет неустановившегося движения воды на участке реки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Станкевич А.П. Уточнение коэффициентов шероховатости для систем водотоков бассейна р. Припять. — В кн.: Проблемы Полесья. Минск, 1982, вып. 8, с. 149–155. 2. Математическая модель системы водотоков бассейна р. Припять в естественном состоянии и при обваловании/В.П.Рогуневич, Ю.И.Вап, С.А.Бампи, Ф.Д.Шнипов. — Там же, с. 75–92. 3. С р и б н ы й Н.Ф. Формула средней скорости течения рек и их гидравлическая классификация по сопротивлению движению. — В кн.: Исследование и комплексное использование водных ресурсов. М., 1960. 4. Ч о у В.Т. Гидравлика открытых каналов. — М., 1969. — 463 с.

УДК 532.517.4

Ф.Д.ШНИПОВ (ЦНИИКИВР)

К РАСЧЕТУ ТРЕХМЕРНОГО ПОЛЯ ОСРЕДНЕННЫХ СКОРОСТЕЙ В ОДНОРОДНЫХ ПО ДЛИНЕ ПОТОКАХ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

В прямолинейных однородных по длине потоках некруглого поперечного сечения, помимо продольных, существуют поперечные компоненты осредненной скорости [1, 7, 8]. Причиной поперечных течений являются турбулентные напряжения, в основном нормальные компоненты. Небольшие по абсолютному значению поперечные компоненты осредненной скорости (3÷10 % от средней по сечению) играют важную роль во многих процессах: интенсифицируют перемешивание, тепло- и массообмен, влияют на распределение продольных скоростей и гидравлические сопротивления, увеличивают касательные напряжения в окрестности углов сечения, во взвешенных потоках создают дефициты взвешенных наносов в области повышенных касательных напряжений,