

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ГИДРОМЕТРИЧЕСКОГО УЧЕТА ЗИМНЕГО СТОКА РЕК

Яковлева Т.И., Карасев И.Ф.

ФГБУ «ГГИ», Россия

Зимний режим большинства рек России характеризуется достаточно длительным ледоставом и сравнительно непродолжительными осенним и весенним переходными периодами. В зонах зимних оттепелей наблюдается временное вскрытие рек, но и на них выделяется та же, неоднократно повторяющаяся «фазовая триада» зимнего режима: ледоход перед замерзанием - ледостав - вскрытие и ледоход.

В докладе рассмотрим методы учета стока применительно к фазам их зимнего режима:

1) периоду ледостава; 2) осеннему и весеннему переходным периодам; 3) периоду неустойчивости ледостава и зашугованности русел.

Гидрометрический учет речного стока осуществляется на основе оценки пропускной способности русел (ПСП) по данным эпизодических измерений расходов воды (РВ) для воспроизведения гидрографа как непрерывной функции времени. Такая оценка достигается построением кривой расходов (КР) - связи уровней и расходов воды $Q(H)$, которая в условиях равномерного движения в недеформируемом русле оказывается достаточно устойчивой и однозначной. При отклонении гидравлического режима от этих условий она становится менее надежной, особенно в зимний период, когда кроме эффектов неравномерности и нестационарности вся гидравлическая система осложняется появлением ледовых образований, стесняющих поперечное сечение русла и увеличивающих его сопротивление. В практике гидрометрического учета стока вместо какой-либо непосредственной гидравлической оценки факторов, определяющих ПСП используется простой способ, предложенный 80 лет назад С. Колупайло: рассчитывается зимний переходный коэффициент $K_{зим}$, как отношение измеренного в зимних условиях и полученного по кривой расходов открытого русла при фиксированном при измерении значении уровня воды. В интервалах между измерениями значения переходных коэффициентов интерполируются. Ясно, что результаты столь упрощенной вычислительной процедуры будут тем надежней, чем меньше интервал между измерениями расходов воды, но из-за трудоемкости гидрометрических работ в зимних условиях необходимое количество этих измерений выполняется далеко не всегда. По этой причине в некоторых случаях погрешности определения не только ЕРВ, но даже среднедекадных и среднемесячных расходов воды достигают чрезмерных значений – могут превышать 20-30%.

Гидравлическая основа математической модели учета зимнего стока, предложенной в отделе гидрометрии ГГИ, выводится непосредственно из уравнения Шези-Маннинга для потока под ледяным покровом. Геометрические элементы русла: ширина, площадь живого сечения и полная площадь поперечного сечения определяются по данным измерений уровня и толщины льда. Входящие в структуру характеристики гидравлических сопротивлений (I_3 - уклон водной поверхности в зимних условиях и n_3 - шероховатость зимнего русла) объединены в один комплекс m_3 – так называемый параметр Великанова, который уже нашел применение в речной гидрометрии при разработке модели учета стока при зарастании

$$m_3 = \sqrt{I_3} / n_3 .$$

В отличие от $K_{зим}$ параметр m_3 является физически содержательным комплексом, он объединяет характеристики гидравлических сопротивлений и может быть определен непосредственно на основе измеренных расходов воды и его элементов ИРВ Q и его элементов без использования уклона I_3 :

В каждом конкретном случае реализация модели (1-3) параметр m_3 представлен как функция времени в его относительном представлении τ , то есть получение формулы для расчета ежедневных расходов воды, сводится к идентификации параметра m_3 в интервале между измерениями расходов воды.

В докладе приводится подробный алгоритм расчета параметров уравнения $m_3 = f(\tau)$ и расчета по нему ежедневных значений параметра m_3 и ежедневных расходов воды в период ледостава.

В весенний переходный период предлагается выполнять оценку изменения пропускной способности русла в зависимости от накопленной суммы положительных температур воздуха с момента перехода ее через ноль, а в осенний в зависимости от корня квадратного из накопленной суммы отрицательных температур. Эти же алгоритмы адаптированы для условий неустойчивого ледостава и зашугованности русел.

Полученные алгоритмы учета зимнего стока в полной мере отражают основные достоинства параметрических моделей, а именно: возможность сокращения трудоемких измерений расходов воды благодаря использованию гидравлических закономерностей изменения пропускной способности русел. Вообще говоря, для этого достаточно всего 4-5 измерений

расходов воды. Оптимальные сроки их выполнения могут устанавливаться в каждом конкретном случае. Первые измерения желательно выполнять возможно раньше после наступления ледостава, а в конце – незадолго до вскрытия как это позволяют условия безопасности выхода на лед. В каждом конкретном случае сроки выполнения измерений можно определить по результатам численных экспериментов по увеличенной совокупности ИРВ. Уточненные значения параметров при этом устанавливаются на основе соответствующих регрессионных зависимостей.

Еще одно достоинство предлагаемых моделей: они позволяют преодолеть неопределенность оценок зимнего стока в первый и последний периоды ледостава, когда по условиям безопасности выполнение ИРВ оказывается невозможным.