

Г.Н. Угренинов

МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДОВ ВОДЫ ПРИ ЛЕДОСТАВЕ

G.N. Ugreninov

THE DESIGN OF THE DISCHARGE IN THE TIME OF ICE PERIOD

Изложена методика оперативного определения расходов воды при ледоставе с использованием инварианта К.В. Гришанина.

Ключевые слова: уровень, расход, лёд, инвариант, функция, тренд, погрешность.

An account of the design procedure of the discharge in the time of ice period with use of K.V. Grishanin's invariant.

Key words: water level, discharge, ice, invariant, function, trend, error.

Одна из задач Федеральной целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах» – разработка системы обеспечения прогностических организаций Росгидромета сведениями о ежедневных расходах воды не менее, чем с 80 % гидрологических постов опорной сети наблюдений. При этом информация о ежедневных расходах должна поступать с постов в оперативном режиме.

В принципе, ежедневные расходы воды могут быть определены в оперативном режиме с использованием гидроакустических расходомеров и другой современной техники, например, индукционных измерителей скорости течения. Но по причине слабой оснащённости отечественных гидрологических постов таким оборудованием и недостаточной квалификацией наблюдателей, возникает необходимость разработки методики оперативного определения ежедневных расходов воды по стандартной информации об уровнях воды и глубине погружения льда, с привлечением сведений о расходах воды, измеренных за прошлые зимы и в данный зимний сезон.

Математические модели гидрометрического учета речного стока при ледоставе и ледовых явлениях предложены И.Ф. Карасевым [3], однако их оперативное применение на сети Росгидромета требует дополнительных сведений, в частности, об уклонах водной поверхности, тогда как такие данные в большинстве случаев отсутствуют.

Один из возможных способов оперативного расчёта ежедневных расходов воды – применение известных в гидрологии инвариантов, например, Т.В. Векшиной [1] при учете стока за период зарастания русел использован инвариант М.А. Великанова.

Предлагаемая методика основана на приближенной инвариантности параметра M – безразмерного гидравлического радиуса К.В. Гришанина [2]:

$$M = \frac{R(g\chi)^{0,25}}{Q^{0,5}}, \quad (1)$$

где R – гидравлический радиус, м; χ – длина смоченного периметра, м; Q – расход воды, м³/с; g – ускорение свободного падения, м/с².

Инвариантность параметра M установлена К.В. Гришаниным теоретически и проверена на практике в отношении рек с устойчивым руслом и мелкозернистыми донными отложениями. Эти условия в целом соблюдаются подо льдом на равнинных реках. При разработке методики оперативного определения ежедневных расходов воды при ледоставе без обязательного измерения скоростей течения подо льдом приняты следующие зимние условия:

- ледостав полный и одноярусный;
- зажорно-заторные явления при замерзании не наблюдаются;
- ледяного моста нет (по всей ширине реки лёд погружен в воду);
- вода поверх льда не течёт.

Принятые условия в известной мере идеализируют зимнее состояние реки, особенно в начальный период замерзания.

Анализ зимних расходов воды, измеренных на реках Ленинградской, Архангельской, Мурманской областей и Республики Коми, свидетельствует о наличии некоторого тренда параметра M в течение зимнего сезона по мере изменения толщины льда и шероховатости его нижней поверхности. Этот тренд описывается функцией $M = f(T)$, где T – продолжительность периода от даты начала ледостава (t_0) до расчетной даты определения зимнего расхода (t). Зависимость $M = f(T)$ устанавливается по данным об измеренных расходах воды за прошлые зимы, желательно не менее трёх зимних сезонов. Не исключено, что измеренные расходы в данный зимний сезон укажут на необходимость уточнения зависимости $M = f(T)$, путем дополнения исходной информации новыми сведениями. По зависимости $M = f(T)$ определяется значение параметра M на расчетную дату $t(M)$.

При наличии стандартных измерений толщины льда (по пентадам или декадам) представляется возможным по интерполяции с приемлемой точностью определить глубину погружения льда $h_{пл.}$ на дату t в зоне производства ледомерных работ. По данным об измеренных расходах воды за прошлые и текущую зиму устанавливается зависимость средней в гидрометрическом створе глубины погружения льда $h_{ср.пл.}$ от глубины погружения льда в зоне ледомерных работ – $h_{ср.пл.} = f(h_{пл.})$. Эта зависимость позволяет определить среднюю глубину погружения льда на дату $t(h_{ср.пл.,t})$. По профилю поперечного сечения в гидрометрическом створе при уровне воды на дату t и средней глубине погружения льда $h_{ср.пл.,t}$ рассчитываются гидравлический радиус R_t и длина смоченного периметра χ_t . Подставив в формулу (1) значения M_t , R_t и χ_t , получаем искомый расход $Q_{зим,t}$.

Принятая априори невыраженность зажорно-заторных явлений при замерзании не гарантирует отсутствие подсонов льда, способных нарушить связь средней по створу глубины погружения льда $h_{ср.пл.,t}$ с глубиной погружения льда в зоне производства стандартных ледомерных работ ($h_{пл.}$). Поэтому при вынужденном отказе от измерения расходов воды в текущий зимний сезон, следует произвести поверочное бурение скважин на скоростных вертикалях, с тем, чтобы убедиться в устойчивости зависимости $h_{ср.пл.} = f(h_{пл.})$ или уточнить эту зависимость в соответствии со сложившимися условиями. Особенно информативны результаты такого поверочного бурения в первые декады ледостава и после сильных оттепелей, сопровождавшихся подвижками льда.

В случае выполнения принятых при разработке методики условий ледового режима равнинных рек, вариация величины M в течение зимнего сезона невелика. Если сведения о расходах воды крайне необходимы, а сколько-нибудь регулярные замеры невозможны, то в первый сезон зимних наблюдений на реке, памятуя о квазиинвариантности величины M , допустимо ограничиться единственным за зиму измерением расхода и стандартными наблюдениями за уровнем и толщиной льда. По данным об измеренном расходе воды определяется значение M_t , где t – дата измерения расхода. Тренд $M = f(T)$ можно оценить путем календарной интерполяции, допустив, что показатель M за зиму уменьшается в среднем на $\Delta M \approx 0,1M$.

Относительная погрешность предлагаемой методики, вычисленная по результатам около 1000 поверочных расчетов, составила $\delta = 0,07 - 0,12$. Наименьшие относительные погрешности получены при определении расходов на реках со средними за зиму расходами воды порядка $Q_{\text{зим}} \geq 50 \text{ м}^3/\text{с}$. Наихудшие результаты применения предлагаемой методики получены при определении расходов воды малых рек со сложными условиями замерзания и наличием разного рода подпорных явлений.

Полученная оценка относительной погрешности свидетельствует о приемлемой в большинстве случаев информативности предлагаемой методики. Однако, при подготовке ежегодных данных Государственного водного кадастра ежедневные расходы, рассчитанные по предлагаемой методике, подлежат уточнению с использованием результатов всех измерений зимних расходов за календарный год.

Литература

1. Векшина Т.В. Гидравлические сопротивления русел рек, зарастающих растительностью. // Ученые записки РГГМУ, 2010, № 15, с. 19–26.
2. Гришанин К.В. Устойчивость русел рек и каналов. – Л.: Гидрометеиздат, 1974, с. 144.
3. Карасёв И.Ф. Математические модели гидрометрического учета речного стока. // Труды ГГИ, 1978, вып. 256, с. 3–35.