

И.В. Германов

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА НАИВЫСШИХ УРОВНЕЙ ВОДЫ РЕК СЕВЕРА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

I. V. Germanov

FEATURES OF THE COMPUTATION OF THE HIGHEST WATER LEVELS FOR THE RIVERS OF THE NORTH OF EUROPEAN RUSSIA

Развитие транспортного строительства в северных районах Российской Федерации требует детального учета уровня режима рек и особенно заторных явлений. В работе рассматриваются особенности расчета наивысших уровней воды рек Севера ЕТР при наличии и отсутствии данных наблюдений.

Ключевые слова: уровень воды, обеспеченность, затор льда, ледоход, Север ЕТР.

The development of transport in the Northern areas of the Russian Federation requires a detailed accounting of the level regime of the rivers, and especially ice jam phenomena. The paper discusses the features of the computation of the highest water levels for the rivers of the north of European Russia in cases if observation data are available or unavailable.

Key words: water level, probability, ice jam, ice run, north of European Russia.

Определение наивысших уровней воды на реках является обязательным этапом инженерно-гидрометеорологических изысканий для проектирования и строительства железных и автомобильных дорог, мостовых переходов, переходов трубопроводов и ряда других сооружений. Решению этого вопроса посвящено большое количество работ, а наиболее выверенные результаты исследований вошли в нормативные документы [4, 5]. Тем не менее, некоторые вопросы расчета наивысших уровней воды остаются не до конца решенными. В частности дальнейшей проработки требует методика расчета максимальных заторных уровней воды на реках севера европейской территории России. Подтверждением актуальности этой проблемы являются случаи периодически отмечаемых здесь затоплений населенных пунктов, полного или частичного разрушения дорожных сооружений, мостовых переходов, аварии на трубопроводах при переходах через реки [2].

Согласно современным представлениям [5], расчет наивысших уровней воды рек можно производить различными способами в зависимости от объема исходной гидрометрической информации. При наличии данных наблюдений наивысшие уровни воды в створе поста определяют по аналитической кривой обеспеченностей их

мгновенных или срочных значений за период многолетних наблюдений. При этом следует отметить, что наивысшие уровни, которые наблюдаются в разные фазы водного и ледового режима, не являются однородными, поскольку процессы и факторы их формирования различны. Поэтому анализ статистических особенностей рядов максимальных уровней при свободном состоянии русла и при ледовых явлениях следует производить раздельно. В этом случае обобщенная кривая обеспеченностей независимо от условий формирования уровней рассчитывается на основе кривых, устанавливаемых по однородным совокупностям. При этом ежегодная вероятность превышения максимального уровня воды в период весенних ледовых явлений определяется по формуле:

$$p = [1 - (1 - p_1)(1 - p_2)] \cdot 100\%, \quad (1)$$

где p_1 и p_2 — вероятности превышения значения максимального уровня по каждой однородной кривой.

При ограниченности данных гидрометрических наблюдений расчет максимальных уровней на реках, где имеет место однозначная связь расходов и уровней воды производится в два этапа. Вначале непродолжительные ряды расходов воды приводят к многолетнему периоду в соответствии с [5]. Затем от расчетного максимального расхода к соответствующему уровню переходят по кривой расходов, координаты верхней части которой рассчитывают по формуле Шези с выделением элементов расходов воды в русле и пойме.

К сожалению, данный метод не пригоден для приведения к многолетнему периоду рядов максимальных заторных уровней из-за искажения кривой $Q = f(H)$ под влиянием заторных явлений.

При усеченной кривой вероятностей превышения, согласно предложению В.А. Бузина [1], ряд максимальных заторных уровней можно удлинить, представив их в виде суммы уровня H_0 , соответствующего в условиях свободного ото льда русла расходу воды в момент вскрытия реки, и превышения над ним ΔH . Такой подход позволяет учесть дополнительную информацию о случаях вскрытия, когда скопление льда не формируется на расчетном участке реки.

При отсутствии данных гидрометрических наблюдений расчетные наивысшие уровни воды, обусловленные половодьями и паводками, определяют по кривым $Q = f(H)$ через расходы воды $Q_{p\%}$. Для заторных участков рек уровни вычисляют по формуле Р.В. Донченко:

$$H_{z,p\%} = (\mu I_{Q_{z,p\%}}^{0,3} - 1) h_{Q_{z,p\%}} + H_{Q_{z,p\%}}, \quad (2)$$

где μ — коэффициент заторности речного участка, который определяют в результате полевых исследований, по аналогии или ориентировочно по справочным данным; $I_{Q_{z,p\%}}$ — уклон водной поверхности, ‰; $h_{Q_{z,p\%}}$ — средняя глубина реки, м; $H_{Q_{z,p\%}}$ — уровень воды в расчетном створе, м; при расходе $Q_{z,p\%}$ и свободном от льда русле; $Q_{z,p\%}$ — расход воды в период заторообразования вероятности превышения $p\%$.

Коэффициент μ в формуле (2) зависит от соотношения ширины потока и коэффициентов шероховатости при заторе и открытом русле, а также от уклона водной поверхности при заторе, то есть от параметров, которые также определить весьма сложно.

Значения коэффициента μ , представленные в [5], применимы для участков рек, где заторные явления наблюдаются в створе проектирования либо в непосредственной близости от него. А так как большинство гидрологических постов расположено на прямолинейных участках реки, вероятность образования опасных ледовых явлений в створе поста минимальна. По этим причинам указанный выше способ, как и многие другие, позволяет получить удовлетворительные результаты далеко не всегда.

В практике наибольший интерес представляет максимальный заторный уровень в определенном створе реки, который зависит от расстояния до места образования затора ниже участка проектирования.

В данной работе выполнено сравнение эффективности трех способов расчета максимальных заторных уровней воды.

Для этого были выбраны 10 пунктов гидрологической сети Северного УГМС на реках с площадью водосбора 2000 км² и более, водный режим которых зависит от ледовых явлений в период весеннего половодья [3]. На реках с меньшими площадями водосбора заторы незначительны из-за малости ледосборного участка [1]. Средняя продолжительность используемых рядов максимальных уровней воды весеннего половодья 66 лет. Проверка рядов на однородность проводилась с использованием критериев Фишера и Стьюдента. Во всех случаях гипотеза об однородности не опровергалась. Средняя повторяемость заторов 50 %. Проанализировав сведения о заторных участках исследуемых рек, можно отметить, что заторы образуются как на прямых, так и на извилистых участках русел, препятствия для ледохода создают крутые повороты, острова, делящие русло на рукава, а также перекаты. В 40 % рассмотренных случаев заторы льда формируется ниже поста на расстояние до 1 км, в 50 % случаев до 4 км, и в 10 % — на расстояние от 4 до 9 км.

При наличии данных наблюдений максимальные заторные уровни определялись по аналитической кривой вероятностей превышения H . При этом $p\%$ максимального уровня воды рассчитывалась по формуле (1).

При отсутствии гидрометрических данных использовалась информация, полученная в ходе полевых исследований: координаты кривых $Q = f(H)$, $B = f(H)$, $h = f(H)$ и $I = f(H)$, определенные путем промеров глубин, нивелирования береговых склонов и продольного уклона водной поверхности. Заторный максимум уровня воды $H_{3,p\%}$ рассчитывался по формуле (2). Коэффициент μ определялся по справочным данным [5], расчет производился методом последовательного приближения до тех пор, пока точка с координатами заданного B и вычисленного $H_{3,p\%}$ не попала на кривую $B = f(H)$.

Третий способ расчета заключался в следующем: для исследуемых створов строились кривые зависимости $Q_{\max} = f(H_{\max})$ с использованием расходов воды весеннего половодья соответствующих датам наблюдений максимальных уровней воды. Было отмечено, что уровни, сформировавшиеся вследствие заторов, расположились выше осредненной кривой $Q_{\max} = f(H_{\max})$. Для этих рек ввели заторную поправку ΔH . Проведя анализ отклонения заторных уровней от осредненной кривой $Q_{\max} = f(H_{\max})$, какой-либо их зависимости от водности весеннего половодья не выявили. В качестве поправки на подпор приняли среднее отклонение заторных уровней от осредненной кривой $Q_{\max} = f(H_{\max})$.

В табл. 1 представлены результаты расчетов заторных уровней воды 1 %-ной вероятности превышения для проектных створов, рассчитанные тремя способами.

Таблица 1

Сводная таблица рассчитанных заторных уровней воды

Река–Пункт	$H_{3.1\%}$, м БС по кривой обеспеченности	$H_{3.1\%}$, м БС по формуле (2)	$H_{3.1\%}$, м БС по кривой $Q=f(H)$ с учетом ΔH
Юг–Подосиновец	78,61	79,20	78,67
Вынь–Весляна	92,62	92,86	92,79
Яренга–Тохта	71,56	72,94	71,54
Сояна–Сояна	10,50	10,50	10,17
Вашка–Решельская	36,95	37,05	36,92
Уса–Петрунь	56,87	56,63	56,86
Ижма–Картайоль	46,00	47,55	45,96
Пижма–Боровая	30,35	29,48	30,23
Цильма–Номбур	37,74	38,91	37,49
Цильма–Трусово	27,81	28,87	27,81

Подход к оценке точности расчета уровней имеет свою особенность, заключающуюся в том, что значение уровня зависит от отметки графика поста, при изменении которого изменяется также относительная ошибка расчета. Уровни воды различных участков реки становятся сравнимыми, если их выразить через превышение над уровнем зимней межени или над наименьшей отметкой дна русла в створе [1]. Для сравнения эффективности изложенных выше методов расчета были вычислены значения отношения:

$$\frac{H'_{3.1\%} - H_{3.1\%}}{A_{3.1\%}} 100\%, \quad (3)$$

где $H'_{3.1\%}$ — уровни, рассчитанные по формуле (2), и по кривой $Q_{\max} = f(H_{\max})$ с учетом ΔH ; $H_{3.1\%}$ — значения уровней, определенные по кривой вероятностей превышения; $A_{3.1\%}$ — превышение уровня $H_{3.1\%}$ над средним меженным.

Результаты проверки представлены в табл. 2.

Данные таблиц свидетельствуют о достаточной эффективности изложенных подходов к расчету максимальных заторных уровней.

Точность расчета по формуле (2) во многом зависит от местоположения затора относительно проектного створа — чем меньше расстояние до него, тем точнее результат расчета.

Надежность второй методики расчета в значительной степени связана с точностью измерения характеристик «расход–уровень» в пункте наблюдения и корректностью последующих гидрологических расчетов.

Таблица 2

Оценка относительных погрешностей расчета максимальных заторных уровней воды

Река–Пункт	Ошибка расчета по формуле (2), %	Ошибка расчета по кривой $Q = f(H)$ с учетом $\Delta\bar{H}$, %	Расстояние от проектного створа до затора, км	$A_{3,1\%}$, м
Юг–Подосиновец	9,4	1,0	0,2	6,29
Выдь–Весляна	2,4	1,7	0,9	10,13
Яренга–Тохта	38,0	–0,6	3,0	3,63
Сояна–Сояна	0,0	–5,0	0,1	6,64
Вашка–Решельская	1,9	–0,6	0,1	5,40
Уса–Петрунь	–2,4	–0,1	1,5	10,05
Ижма–Картайоль	17,3	–0,5	4,0	8,98
Пижма–Боровая	–11,2	–1,6	2,0	7,76
Цильма–Номбур	12,8	–2,7	9,0	9,14
Цильма–Трусово	12,2	0,0	0,1	8,67

Литература

1. Бузин В.А. Заторы льда и заторные наводнения на реках. — СПб.: Гидрометеиздат, 2004. — 202 с.
Vuzin V.A. Zatory l'da i zatornye navodneniya na rekakh. — SPb.: Gidrometeoizdat, 2004. — 202 s.
2. Германов И.В. Расчет толщины ледяного покрова рек Севера ЕТР на основе метеорологических данных. // Ученые записки РГГМУ, 2014, № 33, с. 17–23.
Germanov I.V. Raschet tolshchiny ledyanogo pokrova rek Severa ETR na osnove meteorologicheskikh dannykh. // Uchenye zapiski RGGMU, 2014, № 33, s. 17–23.
3. Каталог заторных и зажорных участков рек СССР. Том I. — Л., Гидрометеиздат, 1976.
Katalog zatornykh i zazhornykh uchastkov rek SSSR. Tom I. — L., Gidrometeoizdat, 1976.
4. СП 11-103-97. Свод правил. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. — М.: Госстрой России, 1997. — 32 с.
SP 11-103-97. Svod pravil. Inzhenerno-gidrometeorologicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva. — M.: Gosstroy Rossii, 1997. — 32 s.
5. СП 33-101-2003. Свод правил. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. — М.: Госстрой России, 2004. — 72 с.
SP 33-101-2003. Svod pravil. Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik. — M.: Gosstroy Rossii, 2004. — 72 s.