МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора института
Н. Б. Соколов
12 октября 1983г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ НАИВЫСШИХ ЗАТОРНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ И НАСЫПЕЙ НА ПРИЖИМНЫХ УЧАСТКАХ РЕК В РАЙОНАХ СЕВЕРА, СИБИРИ И В ЯКУТСКОЙ АССР

Одобрены Главтранспроектом

Москва 1983

gost.e-ecolog.ru

УДК 624.2/.8.001.2(571.1/.5)

© Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного строительства, 1983.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Широкое развитие транспортного строительства в северных районах Советского Союза требует детального учета гидрологического режима рек и особенно заторных явлений при проектировании, строительстве и эксплуатации мостовых переходов.

Особое значение указанное обстоятельство приобретает в суровых климатических и природных условиях Севера и Сибири, определяющих тяжелый режим рек, протекающих в этих районах.

В настоящих Методических рекомендациях излагаются методы определения заторных уровней воды, используемые при проектировании мостовых переходов и насыпей на прижимных участках рек при наличии и отсутствии данных натурных наблюдений.

Рекомендации разработаны канд.техн.наук В.В.Невским (ЦНИИС) и инж. М.А.Жуковой (ГТИ) при участии инженеров В.Е.Спицы (Ленгипротранс), П.П. Лед..ева, Ю.А.Глаголева (Мосгипротранс).

Зав.отделением изысканий и
проектирования железных дорог А.М.Козлов

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Настоящие Методические рекомендации предназначены для использования при проектировании железнодорожных и автодорожных мостовых переходов и насыпей транспортных магистралей, сооружаемых на пойменных участках рек в районах Севера, Сибири и в Якутской АССР.

I.2. Методические рекомендации содержат способы определения наивысших уровней воды, обусловленных образованием заторов льда ниже рассматриваемых створов рек, вызывающих значительный подъем уровня воды.

I.3. При проектировании транспортных водопропускных и других сооружений расчет наивысших заторных уровней воды следует производить согласно "Указаниям по определению расчетных гидрологических характеристик СН 435-72" [I], "Руководству по определению расчетных гидрологических характеристик" [2], настоящим Методическим рекомендациям и используя материалы, приведенные в "Каталоге заторных и зажорных участков рек СССР" [3].

I.4. Составлению проектов мостовых переходов через большие и средние реки должны предшествовать изыскания, выполняемые согласно "Наставлению по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки" [4], в результате которых должны быть получены данные о топографии, инженерно-геологических условиях района перехода, гидрологическом режиме и русловом процессе пересекаемого водотока.

I.5. До начала полевых изыскательских работ производят сбор и изучение материалов о режиме пересекаемой реки и районе мостового перехода.

Для изучения ледового режима весеннего половодья должны быть собраны и систематизированы материалы, характеризующие:

морфологические особенности реки в районах мостового перехода и водомерных постов УГКС (управлений Государственного Комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды);

ежедневные уровни воды и ее расходы;

толщину льда и снега на льду в предпаводочный период и максимальные;

сумму среднесуточных и среднемесячных отрицательных температур

воздуха за холодный период года;

топографические и инженерно-геологические условия.

I.6. При изучении указанных материалов рекомендуется провести предварительные исследования ледовых явлений весеннего половодья, для чего необходимо:

по картам выявить участки реки, на которых по морфологическим признакам могут образоваться заторы льда;

построить кривые связи соответственных и максимальных уровней воды для водпостов УГКС;

оценить репрезентативность измерений толщины льда на водпостах;

построить эмпирические кривые вероятности превышения толщины льда, уровней первой подвижки льда и начала ледохода, высшего за половодье уровня и др.;

составить сводные таблицы ежедневных уровней и расходов воды, провести анализ ледовых явлений за все годы наблюдений и отобрать половодья для дальнейшего исследования заторных уровней;

составить таблицы характерных уровней и характеристики ледовых явлений и заторов льда.

По этим данным следует предварительно установить величины заторных уровней в районе мостового перехода, выявить перечень и объем полевых работ, составить программу гидрологических исследований, определить методы и сроки их выполнения.

I.7. Программа гидрометрических исследований должна предусматривать выполнение работ, необходимых для определения заторных уровней воды, в том числе:

опрос старожилов о ледовом режиме реки;

рекогносцировочные обследования мостового перехода и заторного участка реки;

ледомерную съемку в районе водпоста УГКС;

ледомерную съемку района мостового перехода;

измерение уровней воды в створе мостового перехода, в голове и ниже головы затора;

составление картограмм ледовой обстановки с указанием размеров ледяных полей;

измерение скорости и направления движения ледяных полей;

определение прочностных характеристик льда;

сбор неопубликованных материалов по режиму реки за последние годы на водпостах и в обсерваториях УГКС.

Для мостовых переходов через большие реки с частыми заторами необходимо предусматривать выполнение аэрофотосъемки ледохода, заторов льда и аэрогидрометрии.

I.8. Для определения наивысших заторных уровней воды на неизученных реках в результате изысканий должны быть построены кривые зависимостей р сходов воды $Q = f(H)$, средних и максимальных скоростей течения $v_{ср} = f(H)$ и $v_{макс} = f(H)$, средних глубин и ширины русла $h_{ср} = f(H)$ и $B = f(H)$, а также получены сведения об уклонах водной поверхности при высоких уровнях воды.

I.9. Для приближенного определения величин заторных уровней в районе мостового перехода при построении кривой $v_{макс} = f(H)$ может быть использована кривая $v_{ср} = f(H)$ путем пересчета ее ординат с применением формул Г.В.Железнякова [5]:

$$v_{ср} = K v_{макс};$$

$$K = \frac{(2,3\sqrt{g} + 0,3C)C}{(4,1\sqrt{g} + 0,4C)C + g},$$

где C – коэффициент Шези потока $м^{0,5}/с$, принимаемый в зависимости от коэффициента шероховатости n по табл.I.

g – ускорение свободного падения, $м/с^2$.

Таблица I

H,м	n								
	0,015	0,020	0,025	0,030	0,040	0,050	0,080	0,10	0,20
I,0	66,7	50,0	40,0	33,3	25,0	20,0	I2,5	I0,0	5,0
I,2	68,2	5I,4	4I,3	3[illegible],5	26,I	2I,0	I3,3	I0 8	5,56
I,4	69,4	52,6	42,4	35,6	27,I	2I,9	I4,I	II,4	6,07
I,6	70,5	53,6	43,4	36,5	27,9	22,7	I4,8	I2,I	6,55
I,8	7I,5	54,5	44,3	37,4	28,7	23,4	I5,4	I2,[illegible]	7,00
2,0	72,4	55,4	45,I	38,I	29,4	2[illegible],I	I6,0	I3,2	7,43
2,5	74,3	57,I	46,8	39,8	3I,0	25,6	I7,2	I4,4	8,4I
3,0	75,8	58,6	48,2	4I,I	32,2	26,8	I8,3	I5,4	9,28
3,5	77,I	59,9	49,4	42,3	33,3	27,8	I9,3	I6,3	I0,I
4,0	78,3	6I,0	50,5	43,3	34,3	28 9	20,2	I7,I	I0,8
4,5	79,3	6I,9	5I,4	44,2	35,2	29,6	20,9	I7,9	II,5
5,0	80,2	62,8	52,2	45,I	36,0	30,4	2I,6	I8,6	I2,I
5,5	8I,0	63,6	53,0	45,8	36,7	3I,I	22,3	I9,2	I2,7

Продолжение табл. I

$H_м$	P								
	0,015	0,020	0,025	0,030	0,040	0,050	0,080	0,10	0,20
6,0	81,8	64,4	53,7	46,5	37,4	31,7	22,9	19,8	13,2
6,5	82,5	65,0	54,4	47,2	38,0	32,3	23,5	20,4	13,8
7,0	83,1	65,6	55,0	47,8	38,6	32,9	24,0	21,0	14,2
7,5	83,7	66,2	55,6	48,3	39,1	33,4	24,5	21,4	14,7
8,0	84,3	66,8	56,1	48,8	39,6	33,9	25,0	21,9	15,2
8,5	84,8	67,3	56,6	49,4	40,1	34,4	25,4	22,3	15,6
9,0	85,4	67,8	57,1	49,8	40,6	34,8	25,9	22,7	16,0
9,5	85,8	68,3	57,6	50,3	41,0	35,3	26,3	23,1	16,4
10,0	86,3	68,7	58,0	50,7	41,4	35,7	26,7	23,5	16,8
11,0	87,1	69,5	58,8	51,5	42,2	36,4	27,4	24,2	17,5
12,0	87,9	70,3	59,5	52,2	42,9	37,2	28,1	24,9	18,1
13,0	88,6	71,0	60,2	52 9	43,6	37,8	28,7	25,5	18,7
14,0	89,3	71,6	60,9	53,5	44,2	38,4	29,3	26,1	19,3
15,0	89,9	72,2	61,5	54,1	44,8	39,0	29,9	26,7	19,8
16,0	90,5	72,8	62 0	54,6	45,3	39,5	30,4	27,2	20,4
17,0	91,0	73,3	62,5	55,2	45,8	40,0	30,9	27,7	20,8
18,0	91,6	73,8	63,0	55,7	46,3	40,5	31,4	28,2	21,3
19,0	92,0	74,3	63,5	56,1	46,8	40,9	31,8	28,6	21,8
20,0	92,5	74,8	64,0	56,6	47,2	41,4	32,2	29,0	22,2

1.10. Расчетная вероятность превышения наивысших заторных уровней воды при проектировании мостов и насыпей на прижимных участках рек принимается равной расчетной вероятности превышения расходов воды, установленной соответствующими СНиП.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИВЫСШИХ РАСЧЕТНЫХ ЗАТОРНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ ПРИ НАЛИЧИИ ДАННЫХ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

2.1. При наличии гидрометрических наблюдений расчетные значения заторных уровней воды определяются по усеченным эмпирическим кривым обеспеченности высших заторных уровней.

2.2. При построении эмпирической кривой обеспеченности вероятность превышения высших заторных уровней определяется по формуле

$$p = \frac{m - 0{,}3}{n + 0{,}4},$$

где m – порядковый номер члена ряда, состоящего из расположенных в убывающем порядке наблюденных высших заторных уровней воды, число которых обычно меньше общего числа лет наблюдений.

n – общее число членов ряда.

2.3. Выборку высших заторных уровней следует производить, используя хронологические графики колебания уровней (по срочным наблюдениям) и расходов воды (средних суточных) в период весеннего половодья.

С помощью этих же графиков за годы с заторами льда определяются значения заторных подъемов $\Delta H_{зтр}$ над уровнями, соответствующими расходами воды во время заторов льда, определяемыми по кривой $Q = f(H)$ (рис.1).

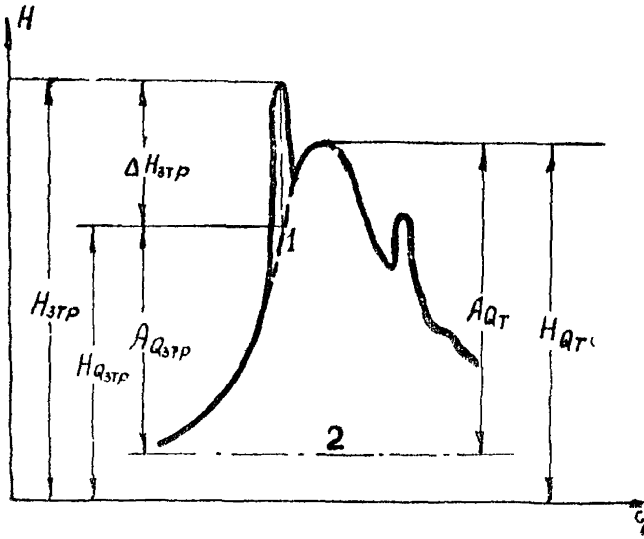

Рис. 1. Схема определения основных характеристик заторов льда:
1 – уровни, соответствующие расходам воды во время затора;
2 – минимальный 30-дневный (среднемесячный) зимний уровень

2.4. При выявлении случаев образования заторов льда и определении величин $\Delta H_{зтр}$ следует руководствоваться принципами, изложенными в "Методике определения основных сведений", приведенной в "Каталоге заторных и зажорных участков рек СССР" [6].

Для полного учета случаев образования заторов льда, вызвавших изменения в ходе уровня воды на гидрологическом посту, следует производить анализ совмещенных по длине реки графиков колебания уровня по срочным наблюдениям или по средним суточным их значениям.

На этих же графиках изображают ледовые явления, колебания расходов и температуры воздуха.

Резкие изменения хода уровня на посту, не подтвержденные наблюдениями на смежных пунктах, служат одним из основных признаков образования затора льда.

2.5. При анализе данных натурных наблюдений, используемых для определения заторных уровней, следует обращать особое внимание на правильность расчета расхода воды в период образования заторов льда в районе гидрологических постов.

2.6. Перенос расчетных наивысших заторных уровней воды в пределах до 2-3 км на малых и средних реках и до 10-20 км на больших реках, т.е. в пределах распространения подпора от заторов льда, которые регистрируются уровенными наблюдениями на гидрологическом посту, производят по уклону водной поверхности при высоких заторных уровнях.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИВЫСШИХ ЗАТОРНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ 1% ВЕРОЯТНОСТИ ПРЕВЫШЕНИЯ ПРИ ОТСУТСТВИИ ДАННЫХ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

3.1. Возможность формирования заторов льда на неизученном в гидрологическом отношении участке реки устанавливается на основе анализа общего характера водного и ледового режима реки, а также данных опроса местных жителей, полученных в период изысканий.

При этом следует учитывать, что образованию заторов льда благоприятствуют:

более позднее вскрытие участка реки, расположенного ниже по течению, по сравнению с участком реки в районе расчетного створа мостового перехода, что вызывает наличие ниже по течению кромки льда, способствующей задержанию ледяного материала. Наиболее часто это наблюдается на реках или больших по протяженности участках рек, имеющи направление течения с юга на север и вскрывающихся сверху вниз по течению, а также на устьевы участках рек и при впадении реки в озеро или водохранилище;

интенсивное снеготаяние в бассейне реки и быстрое поступление воды в русловую сеть;

наличие в пределах рассматриваемого участка или непосредственно ниже его перелома продольного профиля от участка с большим уклоном к участку с меньшим уклоном, сужения речной долины, крутых поворотов русла, островов, кос, перекатов, отмелей, порогов, больших притоков, вскрывающихся раньше основной реки, а также искусственных препятствий, затрудняющих свободное перемещение масс льда, стесняющих живое сечение и уменьшающих его пропускную способность;

большая толщина и значительная прочность ледяного покрова при вскрытии реки, интенсивное поступление льда с вышерасположенного участка.

3.2. Расчетный наивысший заторный уровень $H_{зтр}$ и наибольший заторный подъем воды $\Delta H_{зтр}$ (рис. 2) определяются по формулам [7]:

$$H_{зтр} = \frac{h_{в\,зтр}}{1-\delta} + H_{в\,зим}; \qquad (1)$$

$$\Delta H_{зтр} = H_{зтр} - H_{в\,зтр}, \qquad (2)$$

где $h_{в\,зтр} = H_{в\,зтр} - H_{в\,зим}$ – подъем уровня воды (над зимней меженью), обусловленный увеличением водности реки в период формирования затора льда;

δ – параметр, характеризующий относительное стеснение русла реки при заторе;

$H_{в\,зим}$ – уровень, соответствующий минимальному 30-дневному (среднемесячному) зимнему расходу воды, определяемый по кривой $Q = f(H)$

3.3. Определение уровня $H_{в\,зтр}$ и подъема уровня воды $h_{в\,зтр}$ следует проводить в следующей последовательности:

используя рекомендации "Указаний по определению расчетных гидрологических характеристик СН 435-72" [1] и справочные издания, определить максимальный расход воды весеннего половодья $Q_т$ вероятностью превышения P = 50% и минимальный среднемесячный (зимний) расход воды $Q_{зим}$;

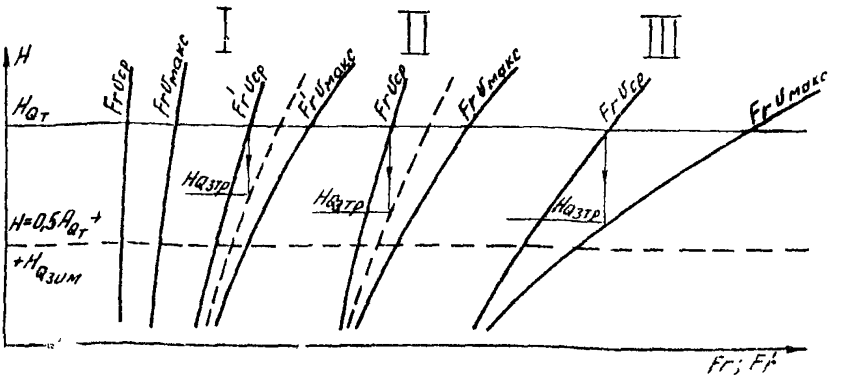

Рис. 2. Схема определения уровня $H_{Q_{затр}}$ по числу Fr при уровне H_{Q_T} для различных типов затворных участков рек

по установленным значениям Q_T и $Q_{зим}$, используя кривую $Q=f(H)$ определить соответствующие им уровни воды H_{Q_T} и $H_{Q_{зим}}$;

построить кривые зависимостей $Fr_{v_{ср}}=f(H)$ $Fr'_{v_{ср}}=f(H)$; $Fr_{v_{макс}}=f(H)$ и $Fr'_{v_{макс}}=f(H)$, определяя числа Фруда при средних $v_{ср}$ и максимальных $v_{макс}$ скоростях течения по формулам:

$$Fr=\frac{v^2}{gh_{ср}} \qquad \text{и} \qquad Fr'=\frac{v^2}{gB},$$

где $h_{ср}$ и B, соответственно, средняя глубина и ширина руола в расчетном створе.

подсчитать $Fr_{v_{ср}}$ по глубине воды при уровнях H_{Q_T} и $H=0{,}5A_{Q_T}+H_{Q_{зим}}$ и определить коэффициент

$$\eta=\frac{Fr_{H_{Q_T};v_{ср}}}{Fr_{(H=0{,}5A_{Q_T}+H_{Q_{зим}};v_{ср})}}$$

по найденному значению коэффициента η, используя данные табл. 2, установить тип затворного участка и расчетное выражение для определения уровня $H_{Q_{затр}}$ (см.рис.2), а затем графическим путем, используя кривые $Fr=f(H)$ и $Fr'=f(H)$, определить уровень $H_{Q_{затр}}$ и $H_{Q_{затр}}=H_{Q_{затр}}-H_{Q_{зим}}$.

Таблица 2

Тип заторного участка	Характеристика участка	$\rho = \frac{Fr_{H_{Q_т}, v_{ср}}}{Fr_{(H=0,5H_{Q_т}+H_{Q_{зим}}), v_{ср}}}$	Расчетное выражение для определения уровня $H_{Q_{зтр}}$ по графическим зависимостям $Fr = f(H)$ и $Fr' = f'(H)$
I	Преимущественно глубокие и узкие участки рек с относительно небольшими скоростями течения воды	< 1,3	$0,5(Fr'_{H_{Q_{зтр}}, v_{ср}} + Fr'_{H_{Q_{зтр}}, v_{макс}}) = Fr'_{H_{Q_т}, v_{ср}}$
II	Переходной тип участков (наиболее распространенный)	1,3 – 2,0	$0,5(Fr_{H_{Q_{зтр}}, v_{ср}} + Fr_{H_{Q_{зтр}}, v_{макс}}) = Fr_{H_{Q_т}, v_{ср}}$
III[x]	Преимущественно неглубокие и широкие участки рек с большими скоростями течения	> 2,0	$Fr_{H_{Q_{зтр}}, v_{макс}} = Fr_{H_{Q_т}, v_{ср}}$

x Для рек, отличающихся сомкнутостью весеннего половодья с превышающими его в отдельные годы пиками дождевых паводков (в основном это некоторые реки Восточной Сибири: верховья Енисея, Алдана, Яны и др.), при $\rho > 2$ уровень $H_{Q_{зтр}}$ определяется по соотношению $Fr_{H_{Q_{зтр}}, v_{макс}} = 0,5 Fr_{H_{Q_т}, v_{ср}}$

3.4. В тех случаях, когда значения коэффициента η близки к I,3 (I,25–I,35) или 2,0 (I,95–2,05), расчет уровня $H_{a_{зтр}}$ следует выполнять для двух типов заторных участков (соответственно I и II или II и III). При этом, если относительная водность реки при заторе

$$\beta = \frac{H_{a_{зтр}}}{H_{a_т}} = \frac{H_{a_{зтр}} - H_{a_{зим}}}{H_{a_т} - H_{a_{зим}}}$$

для обоих рассчитанных уровней находится в пределах 0,1 – 0,9, то принимается среднее значение $H_{a_{зтр}}$. Значение уровня $H_{a_{зтр}}$, при котором относительная водность реки во время затора β менее 0,3 или более 0,9 не принимается во внимание.

3.5. Для определения наибольшего заторного уровня воды $H_{зтр}$ по зависимости (I) необходимо установить значение относительного отеснения русла затором льда δ.

Параметр δ определяется в зависимости от числа Фруда Fr, площади водосбора F, км^2 уклона водной поверхности J, ‰ по формуле

$$\delta = 0{,}30 + 0{,}21 Fr^{0{,}5} Fr^{0{,}1/} + 0{,}52 \lg \frac{J}{\bar{J}}, \qquad (3)$$

где J – уклон водной поверхности,

$$\bar{J} = 8{,}5 F^{1{,}16}. \qquad (4)$$

Независимо от типа заторного участка (см.табл.2) расчетное значение Fr в выражениях (3) и (4) принимается равным $Fr_{Ha_т, v_{ср}}$.

Лишь для некоторых участков III типа в расчет принимается значение, равное $0{,}5 Fr_{Ha_т, v_{ср}}$ (см.табл.2).

3.6. Уклон водной поверхности J следует определять в условиях открытого русла при уровне воды, близком к $H_{a_т}$. Расстояние между уклонными постами должно включать значительную часть зоны заторного скопления льда.

При определении уклона водной поверхности на участках больших и средних рек, кроме данных непосредственных измерений в районе мостового перехода, следует использовать данные параллельных наблюдений на близко расположенных гидрологических постах Госкомгидромета.

Учитывая особенности эмпирических зависимостей (3) и (4), а также возможные неточности при определении входящих в них параметров, предельное значение относительного стеснения русла следует принимать равным 0,90.

3.7. Переход от расчетных заторных уровней воды $H_{затр}$ вероятностью превышения P = I% к расчетным заторным уровням $H_{затр}$ вероятностью превышения P = ?% следует производить в зависимости от значений относительного стеснения русла при заторе льда δ и величин заторных подъемов уровня воды $\Delta H_{затр}$ вероятностью превышения P = I%, используя средние значения разностей между заторными уровнями воды вероятностью превышения равной I и 2% (табл.3).

Таблица 3

Относительное стеснение русла $\delta = \frac{\Delta H_{затр\ 1\%}}{H_{затр\ 1\%}}$	Заторные подъемы уровня воды $\Delta H_{затр\ 1\%}$, см			
	≤ 300	301-500	501-1000	>1000
0,50	15	35	55	75
0,51-0,60	20	40	60	90
0,61-0,70	25	45	70	120
0,70	30	50	80	150

Примечание. В зависимости от формы русла при высоких уровнях воды к приведенным средним значениям разностей между $H_{затр\ 1\%}$ и $H_{з.\ р\ 2\%}$ могут вводиться поправки в размере ± 30% от табличных значений.

3.8. Рекомендации по определению наивысших заторных уровней воды при отсутствии данных гидрометрических наблюдений, приведенные выше, не распространяются на определение заторных уровней на участках рек с сильно разветвленным (многорукавным) руслом, а также на участки со значительной протяженностью очень широких (в десятки раз превышающих ширину русла реки до выхода воды на пойму) низких пойм, по которым могут проходить большие расходы воды.

3.9. Для рек крайнего севера Азиатской части СССР, на которых ледоход и заторы льда наблюдаются незадолго до наступления максимальных расходов воды весеннего половодья, расчетные заторные уровни воды рекомендуется принимать равными:

при средних и слабых заторах - расчетным уровням воды периода открытого русла;

при мощных заторах и близости мест образования заторов к расчетным створам - на 1,0-1,5 м превышающими расчетные уровни открытого русла (той же вероятности превышения).

Характер заторов льда устанавливается по аналогии с изученными участками рек и на основании анализа материалов полевых исследований.

4. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Определение наивысших заторных уровней $H_{зтр}$ и заторных подъемов уровней воды $\Delta H_{зтр}$ при наличии данных многолетних гидрометрических измерений

И с х о д н ы е д а н н ы е . Мостовой переход, являющийся участком железнодорожной линии I категории, проектируется через реку А у г. Т.

По данным многолетних наблюдений на водомерном посту в этом месте (1926–1933, 1935–1978 гг.) заторы льда, образующиеся на участке реки, расположенном в 5–15 км ниже поста, имеют повторяемость 42%. Наивысший заторный уровень $H_{зтр}$ = 710 см (здесь и далее все уровни приводятся над нулем графика водомерного поста) был зарегистрирован 16.05.1929 г. Наибольший заторный подъем уровня воды $H_{зтр}$ = 310 см был отмечен 6.05.1952 г.

Р а с ч е т . В соответствии с рекомендациями главы 2 производят выборку наблюденных высших заторных уровней $H_{зтр}$ и определяют соответствующие значения заторных подъем в $\Delta H_{зтр}$ над уровнями, соответствующими по кривой $Q = f(H)$ расходам воды во время заторов льда.

Располагают наблюденные значения заторных уровней и подъемов уровней воды в убывающем порядке (ряды не приводятся), определяют их эмпирическую вероятность превышения и, используя клетчатку вероятностей, строят усеченные кривые обеспеченности высших заторных уровней и подъемов уровней воды (рис. 3).

По соответствующим усеченным кривым обеспеченности устанавливают расчетные значения заторного уровня и подъема уровня воды вероятностью превышения 1%: $H_{зтр\ 1\%}$ = 770 см и $\Delta H_{зтр\ 1\%}$ = 360 см.

Определение наивысших заторных уровней $H_{зтр}$ и заторных подъемов уровней воды $\Delta H_{зтр}$ при отсутствии данных многолетних гидрометрических наблюдений

Определим $H_{зтр}$ и $\Delta H_{зтр}$ в створе мостового перехода через реку А у г. Т в предположении отсутствия на водомерном посту дан-

ных многолетних гидрометрических наблюдений.

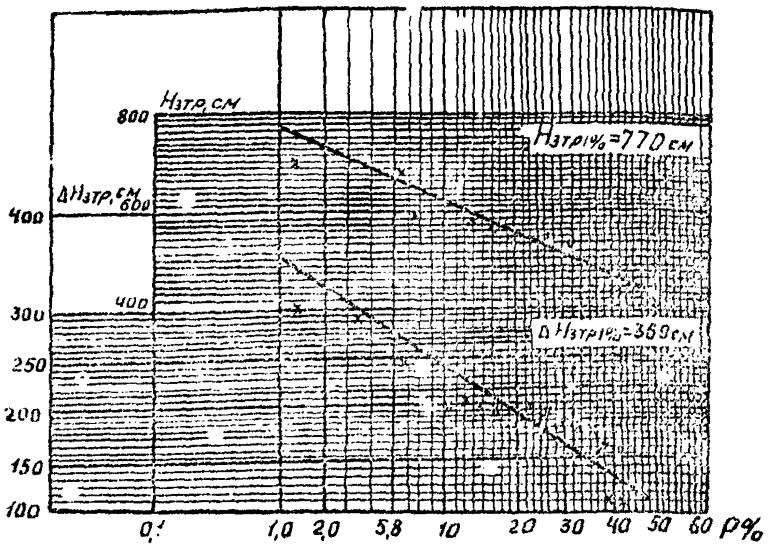

Рис. 3. Усеченные кривые обеспеченности высших заторных уровней и подъемов уровней воды

И с х о д н ы е д а н н ы е . На основе анализа материалов, приведенных в "Каталоге заторных и зажорных участков рек СССР" [3], морфологических признаков участка реки А у г. Т., опроса местных жителей установлена возможность формирования заторов льда на участке реки, прилегающем к району мостового перехода.

В результате проведенных изысканий мостового перехода, в процессе которых выполнялись инженерно-гидрологические (морфометрические) обследования и гидравлические расчеты были построены кривые зависимостей расходов воды $Q = f(H)$, средних и максимальных скоростей течения $v_{ср} = f(H)$ и $v_{макс} = f(H)$, средних глубин и ширины русла $h_{ср} = f(H)$ и $B = f(H)$ (рис. 4, 5), а также определены площадь водосбора F = 49500 км^2 и уклон водной поверхности при высоких уровнях воды в районе мостового перехода J = 0,18%.

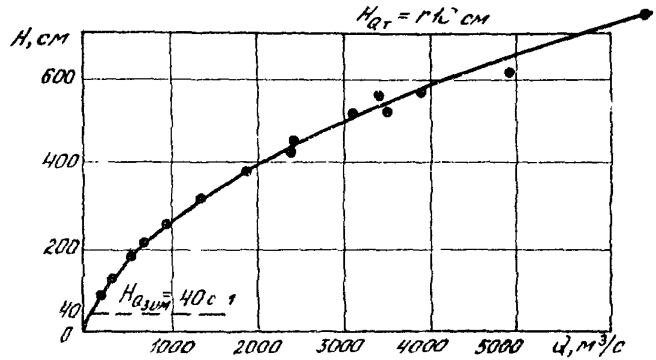

Рис. 4. Кривая $Q=f(H)$, р. А г. Т

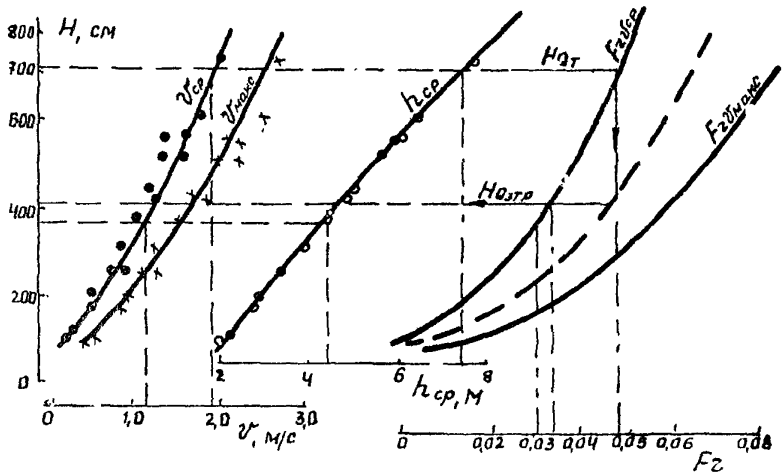

Рис.5. Определение уровня $H_{Q_{зтр}}$ по числу Fr для уровня H_{Q_T}, р.А г.Т

По материалам справочных изданий и "Указаниям по определению расчетных гидрологических характеристик" (СН 435-72) определены:

максимальный расход воды весеннего половодья вероятностью превышения $P = 50\% - Q_{T/=50\%} = 6120\ м^3/с$

минимальный среднемесячный (зимний) расход воды $Q_{зим} = 60\ м^3/с$.

Р а с ч е т . По приведенным расходам Q_T и $Q_{зим}$, используя кривую $Q = f(H)$, определяют соответствующие им уровни воды $H_{Q_T} = 710$ см и $H_{Q_{зим}} = 40$ см.

Затем подсчитывают числа Фруда при средних скоростях течения, соответствующих уровням H_{Q_T} и $H = 0{,}5 A_{Q_T} + H_{Q_{зим}}$

$$Fr_{v_{ср}} = \frac{v_{ср}^2}{g h_{ср}}$$

По кривым $v_{ср} = f(H)$ и $h_{ср} = f(H)$ (см.рис.5) находят при $H_{Q_T} = 710$ см

$v_{ср} = 1{,}9$ м/с: $h_{ср} = 7{,}5$ м,

$$Fr_{v_{ср}} = \frac{1{,}9^2}{9{,}81 \cdot 7{,}5} = 0{,}049$$

при $H = 0{,}5 A_{Q_T} + H_{Q_{зим}} = 0{,}5\,(H_{Q_T} - H_{Q_{зим}}) + H_{Q_{зим}} =$

$= 0{,}5\,(710-40) + 40 = 375$ см

аналогично определяют:

$v_{ср} = 1{,}17$ м/с, $h_{ср} = 4{,}5$ м

$$Fr_{v_{ср}} = \frac{1{,}17^2}{9{,}81 \cdot 4{,}5} = 0{,}031.$$

Значения $Fr_{v_{ср}}$ для H_{Q_T} и $H = 0{,}5 A_{Q_T} + H_{Q_{зим}}$ могут быть получены непосредственно по графикам $Fr_{v_{ср}} = f(H)$

Отношение

$$\eta = \frac{Fr_{H_{Q_T}, v_{ср}}}{Fr_{(H = 0{,}5 A_{Q_T} + H_{Q_{зим}}), v_{ср}}} = \frac{0{,}049}{0{,}031} = 1{,}58.$$

В соответствии с полученным значением отношения η по табл. 2 устанавливают, что рассматриваемый участок реки относится

ко П типу заторных участков.

По аналогии со схемой определения уровня, соответствующего расходу воды при заторе $H_{Q_{зтр}}$, приведенной на рис. 4, используя кривые $Fr = f(H)$, графическим путем находят (см. рис. 5)

$$H_{Q_{зтр}} = 410 \text{ см}.$$

Уровень воды (над зимней меженью) в период формирования затора льда равен $H_{Q_{зтр}} = H_{Q_{зтр}} - H_{Q_{зим}} = 410 - 40 = 370$ см.

Для определения расчетного наивысшего заторного уровня воды $H_{зтр\ 1\%}$ используют зависимость (I).

$$H_{зтр\ 1\%} = \frac{H_{Q_{зтр}}}{1-\delta} + H_{Q_{зим}},$$

где $\delta = 0{,}30 + 0{,}2I \cdot Fr^{0{,}5} \cdot Fr^{0{,}I7} + 0{,}52 \lg \frac{J}{\bar{J}}$

$$\bar{J} = 8{,}5 \cdot Fr_{v_{ср}}^{I{,}I6} = 8{,}5 \cdot 0{,}049^{I{,}I6} = 0{,}26;$$

$$\delta = 0{,}30 + 0{,}2I \cdot 0{,}049^{0{,}5} \cdot 19500^{0{,}I7} + 0{,}52 \lg \frac{0{,}I8}{0{,}26} = 0{,}5I;$$

$$H_{Q_{зтр\ 1\%}} = \frac{370}{I - 0{,}5I} + 40 = 795 \text{ см}.$$

Расчетный наибольший заторный подъем воды определяют, используя зависимость (2):

$$\Delta H_{зтр\ 1\%} = H_{зтр\ 1\%} - H_{Q_{зтр}} = 795 - 410 = 385 \text{ см},$$

Относительные ошибки определения величин наивысших заторных уровней и наибольших заторных подъемов воды при их расчетах при наличии и отсутствии данных многолетних гидрометрических наблюдений составляют:

$$\frac{H_{зтр\ 1\%\ расч} - H_{зтр\ 1\%\ факт}}{H_{зтр\ 1\%}} \cdot 100 = \frac{795 - 770}{770} 100 = 3{,}3\%;$$

$$\frac{\Delta H_{зтр\ 1\%\ расч} - \Delta H_{зтр\ 1\%\ факт}}{\Delta H_{зтр\ 1\%\ факт}} \cdot 100 = \frac{385 - 360}{360} 100 = 6{,}9\%.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

I. Указания по определению расчетных гидрологических характеристик (СН 435-72). Л., Гидрометеоиздат, I972.

2. Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. Л., Гидрометеоиздат, I973.

3. Каталог заторных и зажорных участков рек СССР. Том I. Л., Гидрометеоиздат, I976.

4. Наставление по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки. М., Транспорт, I972.

5. Железняков Г. В. Гидрология и гидрометрия. М., Высшая школа, I98I.

6. Каталог заторных и зажорных участков рек СССР. Том II. Л., Гидрометеоиздат, I976.

7. Жукова М. А. Заторы льда на реках бассейна Северного Ледовитого океана и расчет наивысших заторных уровней воды. Труды ГГИ, вып. 248, Л., Гидрометеоиздат, I978.

8. Даеев Ю. А., Попов А. Ф. Весенние заторы льда в руловых потоках. Л., Гидрометеоиздат, I978.

9. Мефодиев В. А. Заторы и зажоры на реках Северо-Востока СССР. Труды КСГ, вып. 56. I970.

I0. Руднев А. С. Опыт борьбы с заторами льда на Лене. Труды КСГ, вып 56, I970.

II. Коновалов И. М., Баданин В. В. Основные характеристики заторов льда на реках и способы их предупреждения, Труды ЛИВТ, вып. XXX. Л., Речной транспорт, I962.

I2. Лидер И. Я. Закономерности весеннего заторообразования на реках Сибири, их учет при организации борьбы с заторами. Труды КСГ, вып. 56, I970.

I3. Попов Е. Г. Заторы льда и проблемы борьбы с ними.- Метеорология и гидрология, I968, № 8.

I4. Нежиховский Р. А., Бузин В. А. Условия образования и прогнозы заторов льда на реках. - Метеорология и гидрология, I977, № 5.

gost.e-ecolog.ru