

учетом асинхронности осадков в период вегетации и речного стока. — В сб.: Проблемы охраны и использования вод. Вып. 2. Харьков, 1972. 4. Алпатьев С.М., Остапчик В.П. Методика расчета режимов орошения сельскохозяйственных культур на основе биоклиматического метода для Европейской части СССР с применением ЭВМ. Киев, 1973. 5. Голченко М.Г. Методика расчета проектного поливного режима сельскохозяйственных культур применительно к условиям БССР. — В сб.: Сборник научных трудов БСХА, 1973, т. 112, 6. Ворончук М.И., Швейкин Ю.В. Метод исследования асинхронности колебаний гидрометеорологических явлений с помощью стохастических матриц. — "Труды УкрНИГМИ", 1969, вып. 85.

Ю.А. Деев

## ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕЗЗАТОРНОГО РЕЖИМА ЛЕДОХОДА В РУСЛОВЫХ ПОТОКАХ

Рассматриваемый вопрос является частью проблемы управления ледоходом в русловых потоках, пока еще не решенной в целом, но являющейся важной гидротехнической задачей сегодняшнего дня.

Заторы льда — закономерное и широко распространенное явление в процессе вскрытия многих рек на территории нашей страны — могут, как известно, причинять значительный ущерб (наводнения, повреждение речных сооружений, судов и т.п.). Установлено [1, 2], что заторы льда — явление многофакторное и неоднотипное по причинам и условиям возникновения, по воздействию на водно-ледоходный режим, сооружения и пр. Поэтому мероприятия по предупреждению заторов в разных условиях не могут быть одинаковы. Общий же принцип борьбы с заторами заключается в целенаправленном изменении соотношения между факторами, обуславливающими возникновение заторов, и факторами, действующими в обратном направлении. Этот принцип по существу был высказан Ф.И.Быдиным [3]. Осуществление же этих мероприятий должно базироваться на общих теоретических основах.

Установленные [1, 2] закономерности заторообразования позволяют сделать некоторые обобщения в отношении гидромеханического обоснования рассматриваемых мероприятий. Задача в данном случае решена путем разработки системы гидромеха-

нических критериев, определяющих режим ледохода. В критерии вошли гидравлические и ледоходные характеристики потока и другие параметры, влияющие на заторообразование. Целенаправленное изменение соотношения между величинами, входящими в критерии, позволит не только предупреждать, но и искусственно создавать заторы в данном месте и в нужное время.

Беззаторный пропуск льда через участок потока, водопропускное сооружение и т.п. можно осуществлять при трех режимах ледохода в виде: 1) однослойного плоского скопления льдин; 2) однослойного торосящегося скопления без разрушения льдин; 3) однослойного скопления с разрушением льдин (срезкой в сужениях, разломом на кривых спада и пр.). При недостаточной льдинопропускной способности  $S$  участка для сплава вследствие большого количества или размеров льдин может образоваться затор. Затор здесь возникает в случае потери устойчивости льдин при столкновении (динамическая форма образования) или при увеличении продольного сжатия скопившихся льдин до критического значения  $\sigma_k [1]$  (статическая форма).

Тогда условия предупреждения образования затора могут быть представлены в форме требований: 1)  $S \geq S_p$  (I') или 2)  $S < S_p$  (I'') при  $\mathcal{E} < A > T$  (I''').

Во втором случае будет иметь место частичное или полное (при  $S = 0$ ) задержание льдин в виде однослойного скопления. Здесь  $S_p$  — расход льда заданной обеспеченности, поступающий к исследуемому участку (створу);  $\mathcal{E}$ ,  $T$  — соответственно кинетическая энергия льдин и энергия давления их скопления, расходуемые на работу по нагромождению льдин друг на друга.

Раскрытие требований (1) путем применения выведенных [1, 2] теоретических закономерностей приводит к двум группам критериев: критерии пропускной способности участка (створа) (I группа); критерии предупреждения (возникновения) затора (II группа). Последние рассматриваются по статической (А) и динамической (Б) схемам.

I группа:

$$\left. \begin{aligned} K_1 = \frac{S}{S_p} \geq 1, \quad K_{11} = \frac{b}{B_0} \geq 1, \quad K_{12} = \frac{\sigma_m}{\sigma_c} \geq 1, \\ K_{13} = \frac{\sigma_m}{\sigma_p} \geq 1. \end{aligned} \right\} (2)$$

Величину  $S$  можно определить по теоретической формуле, приведенной в работе [2], но при пропуске льда через гидротехнические сооружения она может быть оценена по методам, рассмотренным в исследованиях [5, 6], а при сплаве льда по первому или второму режимам ледохода — по зависимости, предложенной в работе [7]:

$$S = \Psi (B_0 v)_m, \quad (3)$$

где  $\Psi = 0,8-0,9$  — предельная густота ледохода;  $(B_0 v)$  — наименьшая (лимитирующая) на участке величина произведения эффективной ширины реки  $B_0$  (т.е. ширины с глубинами  $H \geq 0,9h$ ) на среднюю скорость движения льдин  $v$ . Эта скорость при предельно-напряженном состоянии скопления льда, движущегося на прямолинейном участке, установлена в виде зависимости

$$v = u + \left[ \frac{1}{K} \left( \frac{2 \gamma h}{C^2 H} - \frac{\rho_0 h}{B_0} + p_b - p_n \right) \right]^{0,5}, \quad (4)$$

Введем следующие обозначения:  $\sigma_m$  — наибольшее (предельное) напряжение сжатия в скоплении льдин;  $\sigma_c, \sigma_p$  — пределы прочности льда и препятствия, стесняющего русло;  $u_0, u$  — средняя и поверхностная скорости течения;  $a$  — переходной коэффициент от  $u_0$  к  $u$ ;  $h, b, l$  — толщина, ширина и длина льдин;  $\gamma, \rho$  — удельный вес и плотность льда;  $\Delta \gamma$  — разность удельных весов воды и льда;  $C$  — коэффициент Шези;  $n$  — приведенный коэффициент шероховатости;  $K, K_1$  — коэффициенты трения и формы в формуле гидродинамического давления потока;  $p_0, p_b$  — силы берегового отпора и ветрового давления на единицу площади;  $p_n$  — поперечное (лобовое) сопротивление движению льдин, определяемое в зависимости от вида сопротивления (например, ледяная перемычка и пр.);  $i, i_0$  — уклоны гидравлический и дна. Величины  $\sigma_m$  и  $p_0$  могут быть определены по данным исследований [2, 4].

Различные сочетания значений критериев (2) отвечают свободному сплаву, задержанию и остановке льдин. Свободный

сплав на участке будет при  $K_1 \gg 1$  или при  $K_1 < 1$ , но  $K_{13} > 1$ , т.е. в случае разрушения препятствия, стесняющего русло. Частичное задержание ледохода отвечает условию  $0 < K_1 < 1$ , а полная остановка условию  $K_1 = 0$  или  $K_{11} < 1$ ,  $K_{12} < 1$  и  $K_{13} < 1$ . Отсутствие или возникновение затора здесь определяется соотношением величин в условии (1'''), которое в развернутой форме приводит к следующим критериям:

А. По соотношению величин  $\sigma_m$  и  $\sigma_k$  рассматриваются случаи:

1) при наличии связи скопления льда с берегами ( $p_0 > 0$ ):

$$K_c = \frac{a_2 h_1^2 + p_b^1}{i V_0 (a_1 C^2 H - \gamma h)}, \quad (5)$$

где  $a_1 = aK$ ,  $a_2 = 2 \rho \beta \gamma^2 \Delta \gamma \lambda$ ,  $h_1 = h^2: [1 - \varphi(h_1 + h)]$ ,

$p_b^1 = p_b V_0 \varphi_1 h_1 \beta = 1-1,3 [2]$ ;  $\lambda$  — коэффициент вероятностной формы контакта. При обеспеченности процесса  $p < 25\%$   $\lambda = 0,5-0,7$ , при  $p = 50\%$   $\lambda = 1,0$  и при  $p > 75\%$   $\lambda = 1,3-1,5$ ;

2) при отсутствии связи льда с берегами (заторы у островов и т.д.):

$$K_c^1 = \frac{p_0 + p_b}{2 i \left[ a (K_1 h + KL) C^2 H + \gamma h L \right]}, \quad (6)$$

где  $L$  — длина прямого участка потока выше места затора. В приближенной форме эта зависимость при  $p_b = 0$  принимает

вид

$$K_c^1 \approx \frac{h + 0,0021}{i_0 \left( \frac{1}{n} H^{4/3} + hL \right)}, \quad (7)$$

Б. Рассматриваются случаи:

1) подныривания (навала) льдин при столкновении, исходя из соотношения скорости с критическим значением, обеспечивающим процесс:

$$K_g = \frac{a_3 \sigma_c h^2 + a_4 h l^2}{a_5 c^2 H l}, \quad (8)$$

где  $a_3 = 0,36 \lambda_1$ ,  $a_4 = 0,8 \rho$ ,  $a_5 = 2 a \rho$ ;  $\lambda_1$  — вероятностный коэффициент, учитывающий форму контакта и дополнительное давление подплывающих сверху льдин (при густом ледоходе),  $\lambda_1 = 0,5-2$ ;

2) подвертывания льдин тыловой кромкой под ранее оставившиеся, исходя из сопоставления поверхностной скорости течения с критическим значением, обеспечивающим процесс:

$$K_g^1 = \frac{a_6 h l}{2 a c^2 H l (A i_2 - K h)}, \quad (9)$$

где  $a_6 = 0,5 \lambda_2$ ,  $A = 0,5 \rho (1,5 H_c^2 - 0,5 H_c - 1)$ ,  $H_c = H : (H - h)$ ,  $i_2 = [1 - (i_3; 21)]$ ,  $\lambda_2 = 0,9-1,2$ ;  $i_3$  — длина распространения вакуума под льдиной. При относительно небольших глубинах и размерах льдин критерий (9) дает меньшие значения, чем (8).

Затор на участке с недостаточной пропускной способностью не возникнет, если значения критериев (5) — (9) будут больше единицы. Если же какой-либо из них окажется меньше единицы, то возникает затор по соответствующей схеме. При подобных значениях нескольких критериев затор образуется по схеме, отвечающей наименьшему критерию.

В критерии вместо уклона можно ввести скорости течения или расход, используя формулу Шези для условий подледного потока. Они могут быть также выражены через число Фруда. Так, критерий (8) будет иметь вид

$$Fr \geq \frac{a_3 \sigma_c h + a_4 h l^2}{a_7 H l}, \quad (10)$$

где  $a_7 = 2 g a_5$ ;  $g$  — ускорение свободного падения.

Предлагаемые зависимости проверялись в лабораторных и частично натуральных условиях. В гидравлическом лотке при различных  $i$  и  $H$  определялись скорости, при которых возникала (прекращалась) потеря устойчивости льдин разных форм и размеров (свыше 200 опытов) и их скопления (75 опытов), включая беззаторное движение. Использованы наблюдения автора над ледоходом на участках стеснения русла рек Прут, Днестр, Тисса, где по соответствующей методике измерялись

величины  $l, h, \Psi, S, v$  [8], а также гидравлические элементы для случаев потери устойчивости льдин (8 серий), беззаторного режима (11 случаев) и заторособразования (4 случая). Обработка результатов обычными методами математической статистики показала, что зависимости (1)---(9) в основном правильно отражают действительный механизм явления. Совпадение расчётных данных с опытными хорошее, а с натурными удовлетворительное. Это позволяет рекомендовать формулы (1)---(9) для предварительных расчетов и использовать их как основу для более детальных вычислений и прогноза режима ледохода.

### Л и т е р а т у р а

1. Деев Ю. А. Образование, расчеты и предупреждение заторов льда. -- В сб.: Материалы III Всесоюзной научно-технической конференции. Гидравлика дорожных водопропускных сооружений. Гомель, 1973. 2. Деев Ю. А. Физические основы образования заторов льда. -- "Наф. бюл. АН УССР. Метеорология и гидрология", 1964, № 7. 3. Быдин Ф. И. О принципах борьбы с ледоходом. -- "Труды транспортно-энергетического института, Сиб. отд. АН СССР", 1961, вып. 11. 4. Бердеников В. П. Методы расчета давления заторных и сажорных масс льда на сооружения. -- "Труды ГГИ", 1967, вып. 148. 5. Гоглиб Я. И. и др. Пропуск льда при строительстве и эксплуатации гидроузлов. М., 1973. 6. Коржовкин К. Н. Опыт и условия беззаторного пропуска льда в отверстиях мостов. -- В сб.: Материалы III Всесоюзной научно-технической конференции. Гидравлика дорожных водопропускных сооружений. Гомель, 1973. 7. Деев Ю. А. К теории ледохода (о возникновении заторов льда). -- В сб.: Материалы XXII научной сессии Черновицкого государственного университета. Сер. геогр. Черновцы, 1966. 8. Рымша В. А. Ледовые исследования на реках и водохранилищах. Л., 1959.

Д. А. Козлов, И. Г. Лазаревич, А. В. Молочко

### К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ УСТЬЕВЫХ СООРУЖЕНИЙ

В устье мелиоративных каналов с целью регулирования водного режима осушаемых земель устанавливаются водопропускные сооружения: шлюзы-регуляторы, трубы-регуляторы. В данной статье рассматриваются особенности определения пропускной способности устьевых сооружений.