

## ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫПРАВЛЕНИЯ МЕЛКОВОДНЫХ РУСЛ ПРОДОЛЬНЫМИ И ПОПЕРЕЧНЫМИ ДАМБАМИ КАК ВОДОПОДЪЕМНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

**В. Е. СЕРГУТИН**

Аспирант

(Сибирский лесотехнический институт)

В современной практике русловыправительных работ большое применение находят продольные и поперечные дамбы (полузапруды) как водоподъемные (водостеснительные) устройства, вносящие изменения в гидравлическую структуру потока. Сооружение дамб, например, при мелководьи необходимо для увеличения глубин на сплавных трассах; в остальных случаях дамбы обычно применяются для создания устойчивого и неразмываемого русла, способного противостоять внешним неблагоприятным воздействиям со стороны потока. При этом сжатие русла может быть относительно длинным — продольные дамбы, или коротким — полузапруды (рис. 1). Разница между этими видами стеснения с точки зрения применения их для создания условий, благоприятных сплаву леса, заключается в том, что при продольном сжатии подъем бытовых глубин осуществляется как непосредственно между дамбами, так и перед ними, а при относительно коротком сжатии подпор образуется лишь перед сооружением. На стесненном участке, наоборот, всегда происходит некоторое снижение бытового уровня.

Применительно к задачам выправления русла сплавных потоков к настоящему времени более подробно исследован случай короткого стеснения — поперечное сжатие русла полузапрудями. Сжатие продольное менее изучено, причем обычно принято считать, что применение продольных дамб во всех случаях вызывает подъем уровня воды в сжатом русле. Однако, как показал теоретический анализ и опытная проверка, принятие за основу такого утверждения в ряде случаев является необоснованным, и, более того, в определенных условиях, которые будут рассмотрены ниже, может привести к грубым ошибкам. Такое положение усугубляется еще и тем, что в практике возведения русловыправительных дамб на горных и равнинных реках часто приходится применять значительные стеснения легкоразмываемого русла. Величина степени сжатия русла по ширине  $v/B$  ( $B$  и  $v$  — ширина русла до и после сжатия) может достигать значений порядка 0,3—0,2. При таких условиях

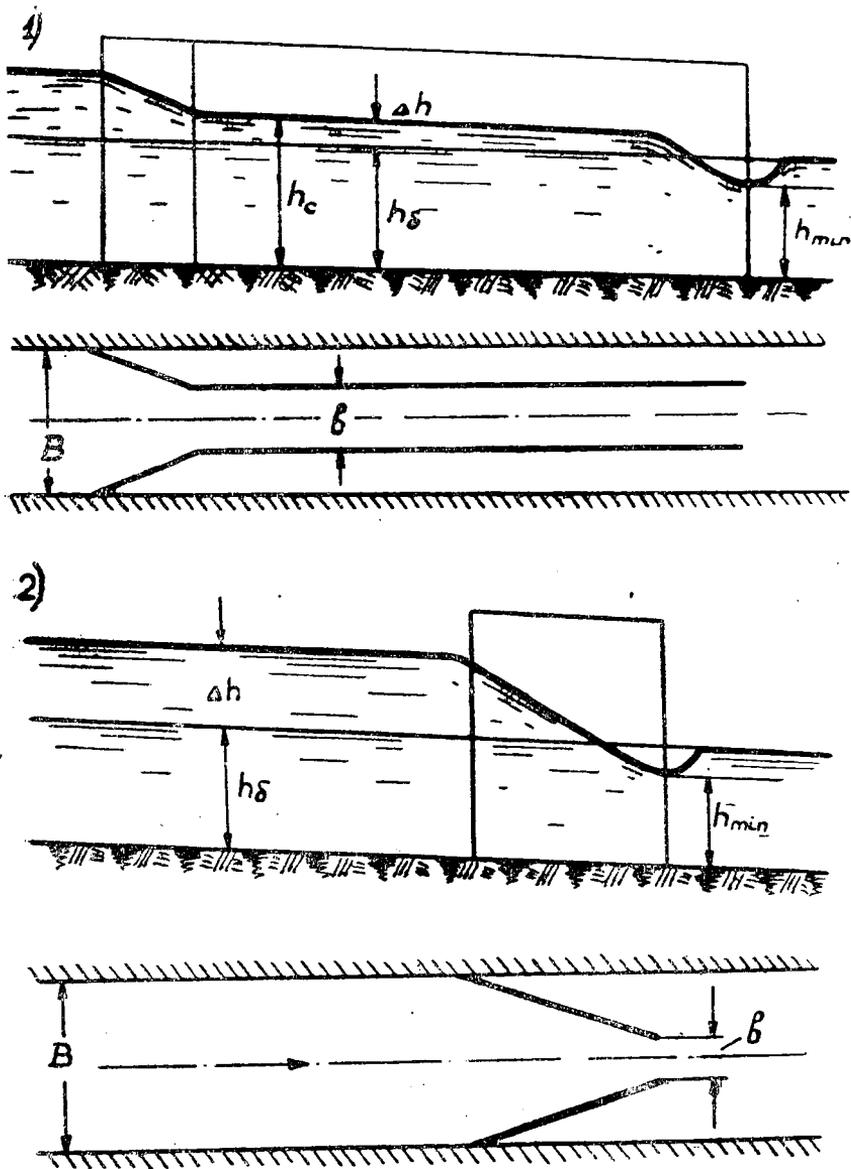


Рис. 1. Схемы работы продольных (1) и поперечных (2) дамб как водоподъемных устройств.

весьма важным становится уточненное определение нового сплавного уровня, которое, кроме того, необходимо для дальнейших расчетов скорости в сжатом русле и оценки устойчивости против размыва стесненного участка в смежных с ним ниже по течению. Ниже кратко приводятся результаты теоретического и экспериментального исследования гидравлики сжатия русла речных потоков, выполненного нами в связи с разработкой вопроса об эффективности применения выправительных дамб на путях первоначального сплава.

Теоретический и лабораторный анализ гидравлических явлений, про-

исходящих при стеснении, показал, что процессы, возникающие при сжатии русла, следует рассматривать как результат совместного решения системы двух уравнений, состоящей из уравнения энергетического состояния и уравнения неразрывности.

При решении системы сжатие потока рассматривается как результат силового взаимодействия неотклоненного потока с потоком, отклоняемым дамбой, а само решение позволяет получить значения действительных глубин в сжатом русле.

Принятая нами методика анализа эффективности применения дамб как водоподъемных устройств, базируется на известном в гидравлике понятии удельной энергии сечения. Сущность этого понятия состоит в том, что каждому сечению водотока соответствует определенное количество энергии  $\mathcal{E}$ , определяемого из выражения

$$\mathcal{E} = h + \frac{1,1v^2}{2g} \text{ м.}$$

(где  $h$  — глубина наполнения русла в м;  $v$  — скорость в м/сек;  $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$ ) и имеющего минимальное значение при критической глубине  $h = h_k$ . Эта зависимость, представленная на рис. 2 графиками  $\mathcal{E} = f(h)$  при различных наполнениях и стеснениях русла, дает наглядную и полную картину изменения глубины в сжатом русле в зависимости от степени сжатия  $v/B$  и положения бытовой глубины относительно критической, а для определенных условий, а именно: величины расхода и соотношения начальной (бытовой) и критической глубин, дает основание для выбора эффективных методов регулирования — продольными дамбами или полузапрудами.

На графиках семейства параболических кривых  $\mathcal{E} = f(h)$  (рис. 2), построение которых хорошо известно из обычных курсов гидравлики и не представляет трудности, кривая  $\mathcal{E}_0$  показывает зависимость удельной энергии сечения от глубины наполнения русла в бытовом состоянии (то есть для нестесненного русла  $v/B = 1,0$ ); вторая кривая  $\mathcal{E}_c$  изображает эту же зависимость при некотором сжатии (например,  $v/B = 0,8$ ), а третья кривая  $\mathcal{E}_{c_2}$  характеризует удельную энергию для этого же сечения уже при большем сжатии (например,  $v/B = 0,6$ ). Из этих графиков видно, что при заданном расходе  $Q$  глубина потока в бытовом состоянии может быть меньше, больше и равной критической.

Рассмотрим вначале вопрос об эффективности сжатия потока при бытовой глубине  $h_0$  меньшей, чем критическая (бурный режим, случай 1 на рис. 2). Этой глубине на кривой  $\mathcal{E}_0$  соответствует точка «б», которая характеризует величину запаса удельной энергии сечения при глубине  $h_0$ . После начального сжатия удельная энергия потока при той же глубине в сжатом сечении возрастает и достигает значений, определяемых кривой  $\mathcal{E}_{c_2}$ . За счет полученной разности энергий после и до сжатия ( $\Delta\mathcal{E} = \mathcal{E}_{c_2} - \mathcal{E}_0$ ) уровень воды в сжатом русле увеличится на величину  $\Delta h$ , значение которой, за вычетом потерь на трение и другие гидравлические сопротивления, будет пропорционально приращению энергии в сжатом сечении  $\Delta\mathcal{E}$ . Следовательно, в этом случае сжатие русла продольными дамбами дает положительный эффект повышения уровня воды (рис. 2—1), причем с увеличением степени сжатия, например, до значения, соответствующего кривой  $\mathcal{E}_{c_1}$ , как доказано нашими опытами, эффект повышения уровня возрастает.

Если минимум кривой  $\mathcal{E}_{c_2}$  будет находиться правее вертикали,

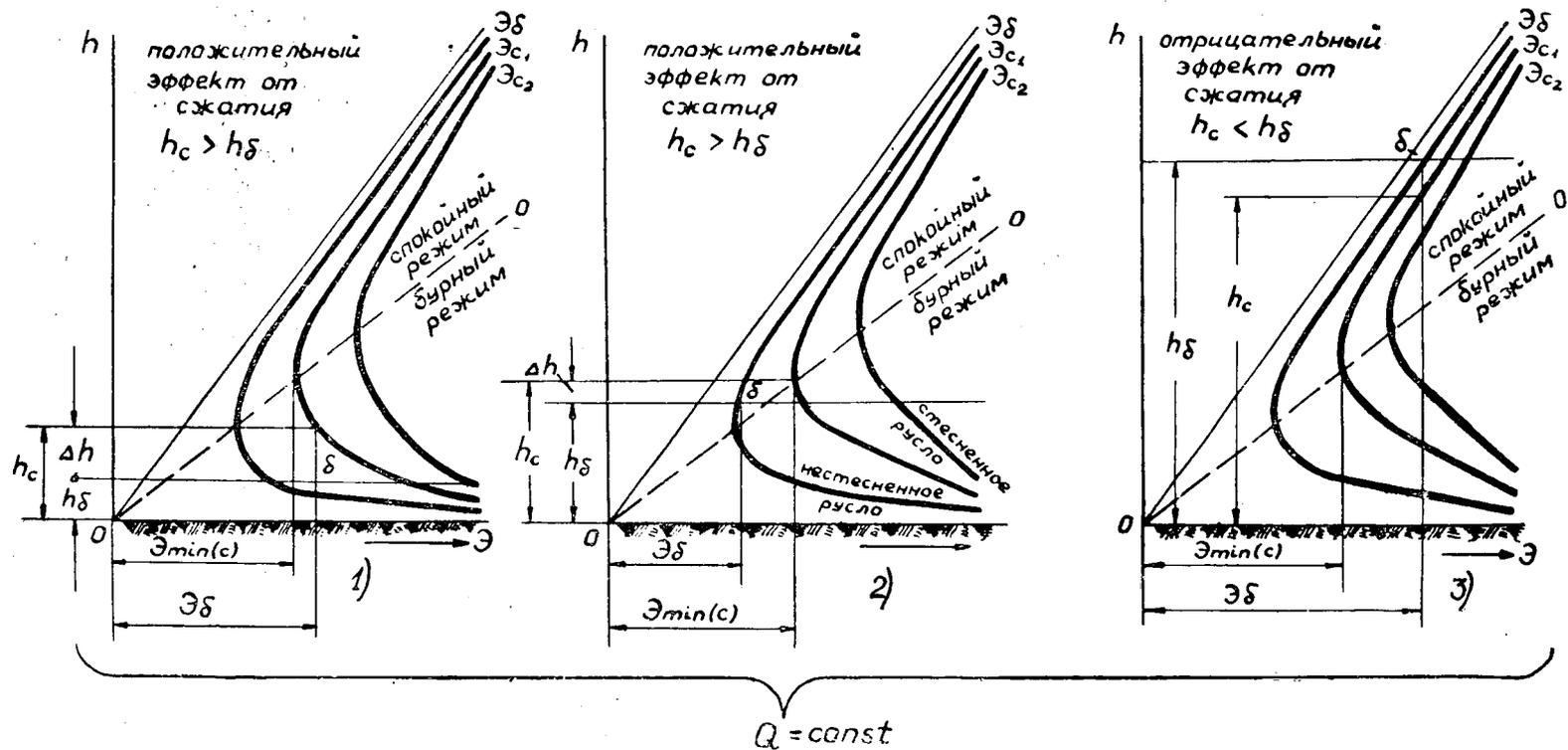


Рис. 2. Графики  $\Theta = f(h)$  для бытового и сжатого русла.

1 — бурный режим в бытовом состоянии ( $h_0 < h_{к0}$ )  $\Theta_0 \geq \Theta_{min}(c)$ ; 2 — спокойный режим в бытовом состоянии ( $h_0 > h_{к0}$ )  $\Theta_0 < \Theta_{min}(c)$

3 — спокойный режим в бытовом состоянии ( $h_0 \gg h_{к0}$ )  $\Theta_0 > \Theta_{min}(c)$ .

проходящей через точку «б», то в сжатом русле установится глубина  $h_c$ , равная критической глубине в сжатом сечении

$$h_{кк} = h_c = h_{кб} \sqrt[3]{\left(\frac{B}{b}\right)^2},$$

где  $h_{кб}$  — критическая глубина в бытовом состоянии.

Рассмотрим теперь вопрос об изменении глубины в сжатом русле в спокойном режиме.

Здесь выделим два случая: первый, когда бытовая глубина значительно превышает критическую в бытовом состоянии (график 1 на рис. 2) и второй случай, когда бытовая глубина значительно больше (в несколько раз) критической глубины в бытовом состоянии (график 3 на рис. 2).

Для первого случая применение дамб будет так же, как и для бурного режима, вызывать подъем уровня, поскольку поток в бытовом состоянии обладает достаточным запасом энергии, чтобы пройти стесненный участок. Новая увеличенная глубина в этом случае определяется по формуле (1) и с увеличением степени сжатия эффект применения дамб, как показали проведенные опыты, возрастает.

Во втором случае (график 2 на рис. 2) поток не обладает достаточным запасом энергии, чтобы пройти стесненный участок. Поэтому, накопив некоторый запас энергии перед сооружением, что в реальных условиях проявляется в виде образования подпора перед дамбами, поток расходует эту накопленную энергию на стесненном участке, в результате чего происходит снижение глубины в сжатом русле. Следовательно, в этом последнем случае применение дамб приносит отрицательный эффект понижения уровня (рис. 3, случаи 2 и 3).

В таких условиях работа продольных дамб аналогична схеме работы обычного затопленного или незатопленного водослива с широким порогом, на котором обязательно происходит уменьшение глубины в сжатом сечении. Поэтому при бытовых глубинах потока, значительно больших критических, становится выгодным применение полупруда.

Что касается случая, когда бытовая глубина в нестесненном русле равна критической, то приведенный анализ для бурного бытового режима целиком распространяется также и на это промежуточное состояние.

Как видно из графиков  $\mathcal{E} = f(h)$ , наклонная линия ОО, соединяющая различные значения критических глубин и соответствующие им минимальные значения удельных энергий сечения при различных удельных (по ширине) расходах, является границей двух режимов: бурного и спокойного. При нижнем (бурном) режиме при сжатии всегда будет ощущаться положительный эффект и, наоборот, при верхнем (спокойном) режиме (слева от линии ОО) при сжатии русла будет происходить как положительный, так и отрицательный эффект. Таким образом, положение линии ОО наиболее полно дает картину изменения уровня воды в сжатом русле для всего возможного диапазона степеней сжатия ( $0 < v/B < 1,0$ ) и позволяет обоснованно подходить к выбору эффективных методов стеснения сплавного потока.

Следует также остановиться на явлении уменьшения глубины в конечном сечении продольных дамб. Дело в том, что в конечном сечении дамб (как продольных, так и поперечных) неизбежно установится глубина менее бытовой. По данным наших опытов при обычных условиях сжатия ( $v/B = 0,6 - 0,4$ , когда русло сжато приблизительно в

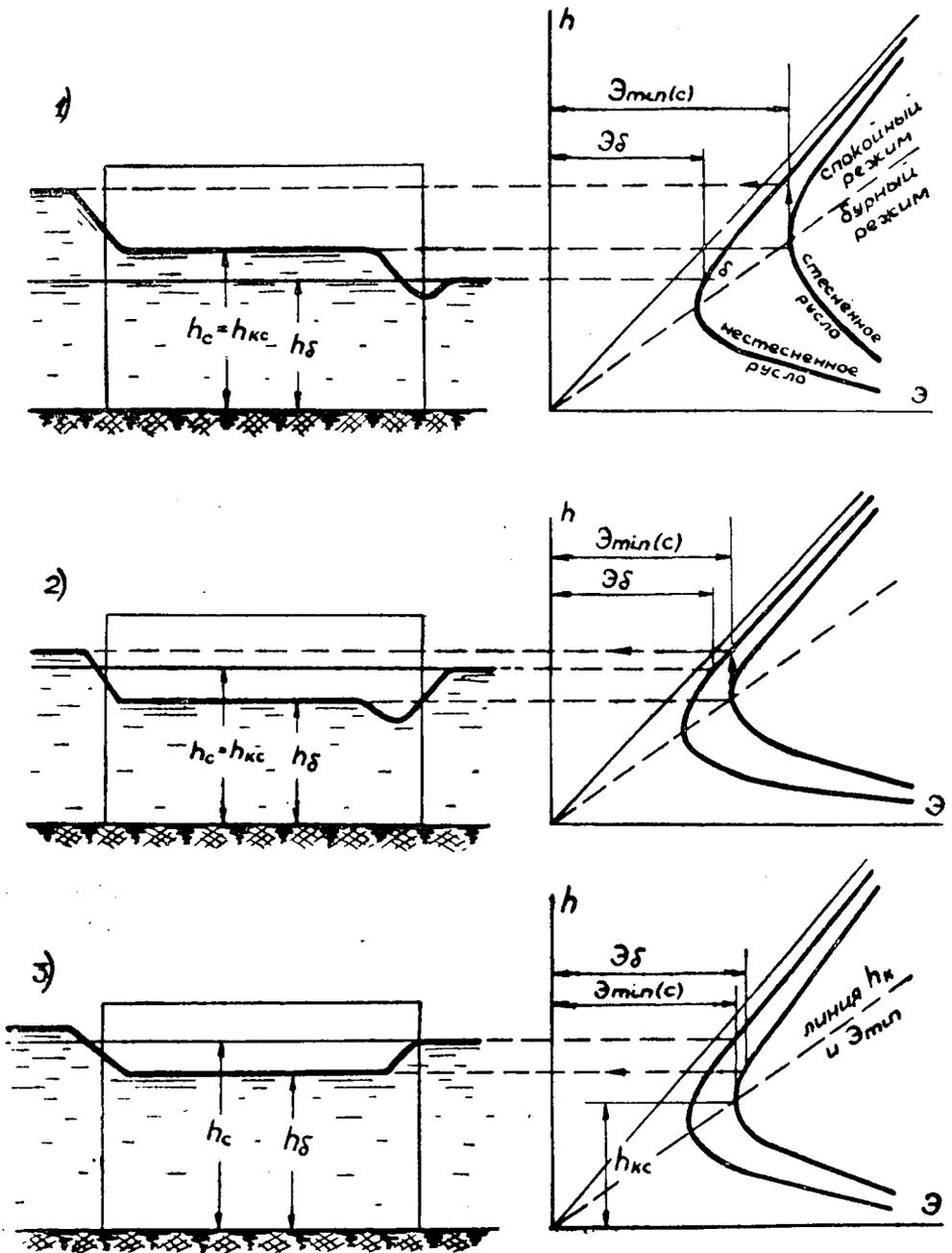


Рис. 3. Спокойный режим. Изменение глубины и формы свободной поверхности сжатого потока в зависимости от энергетических характеристик бытового состояния.

- 1 —  $\mathcal{E}_6 < \mathcal{E}_{min}(c)$ ,  $h_{kc} > h_6$  положительный эффект от сжатия —  $h_c > h_6$ ;
- 2 —  $\mathcal{E}_6 < \mathcal{E}_{min}(c)$ ,  $h_{kc} < h_6$  отрицательный эффект от сжатия —  $h_c < h_6$ ;
- 3 —  $\mathcal{E}_6 > \mathcal{E}_{min}(c)$ ,  $h_{kc} < h_6$  отрицательный эффект от сжатия —  $h_c < h_6$ .

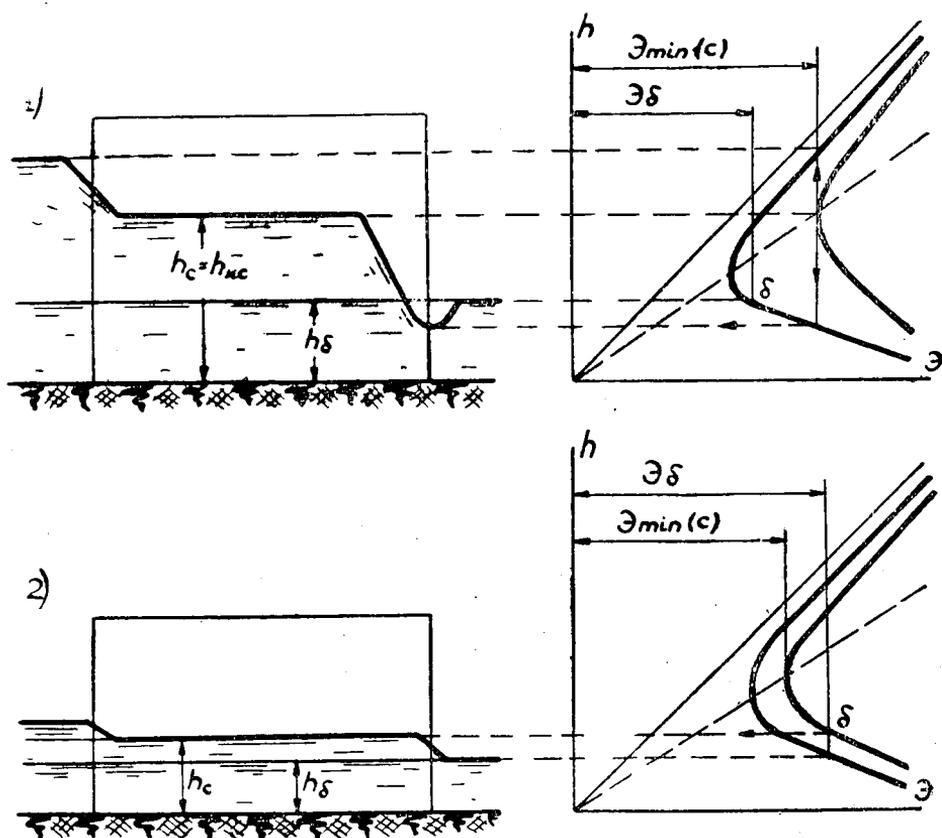


Рис. 3а. Бурный режим. Изменение глубины и формы свободной поверхности сжатого потока в зависимости от энергетических характеристик бытового состояния.

- 1 —  $\mathcal{E}_\delta < \mathcal{E}_{\min(c)}$  положительный эффект от сжатия —  $h_c > h_\delta$  ;  
 2 —  $\mathcal{E}_\delta > \mathcal{E}_{\min(c)}$  положительный эффект от сжатия —  $h_c > h_\delta$  .

2 раза) и кинетичности, которая наблюдается в природе (менее 0,1), отношение этой наименьшей глубины в бытовом состоянии может достигать значений порядка 0,6—0,7, то есть падение бытовой глубины внутри продольных дамб (и поперечных) может достигать 30—40%. Это явление в практике проектирования дамб, например, на мелководных перекатах, следует обязательно учитывать, ибо недоучет его может вызвать нежелательные последствия. В необходимых случаях дамбы следует сооружать с таким расчетом, чтобы они заканчивались на нижних участках плесов (то есть там, где глубины велики) или так, чтобы обеспечивалось плавное сопряжение хвостовой части дамб с берегами (рис. 4 и 5). Плавное сопряжение большей критической глубины на сжатом участке с меньшей критической глубиной в бытовом состоянии, улучшая энергетическую характеристику сопряжения, предотвращает тем самым возможность резкого падения значений энергии в смежных сечениях и соответственного уменьшения глубин.

Следует подчеркнуть, что указанное снижение глубины в концевом сечении дамб может резко ухудшить условия сплава по мелководным горным рекам. В качестве примера может служить уровненный режим

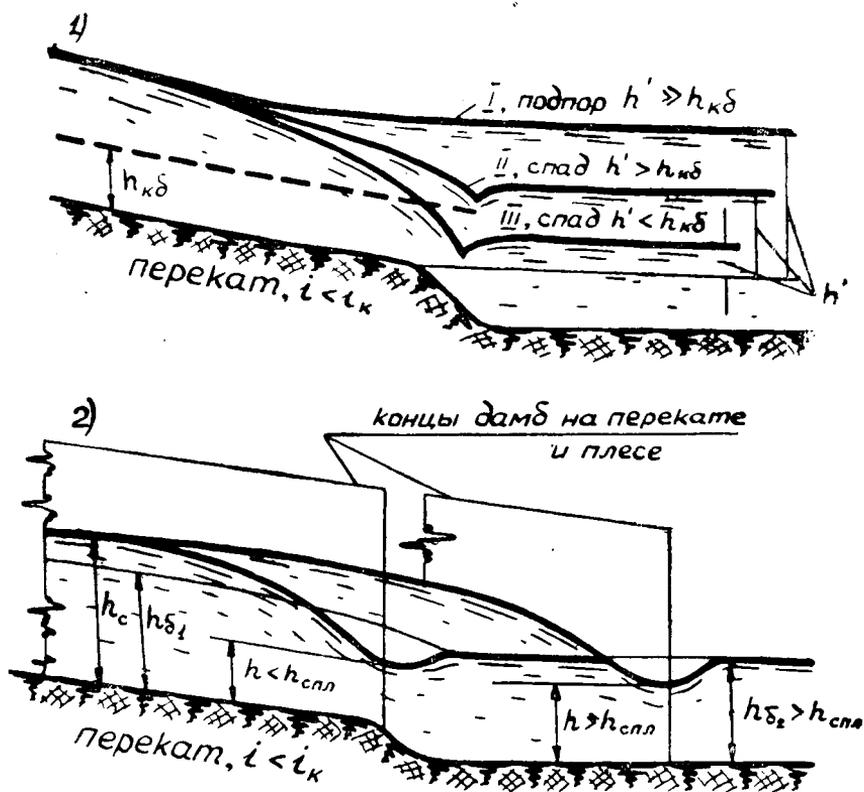


Рис. 4. 1 — характерные типы сопряжений кривых свободной поверхности: в затопленном (I) и незатопленном (II и III) бытовом состоянии в конце переката — начале плеса; 2 — продление хвостовой части дамбы с конца мелководного переката на нижний плесовый участок для случаев II и III верхнего рисунка.

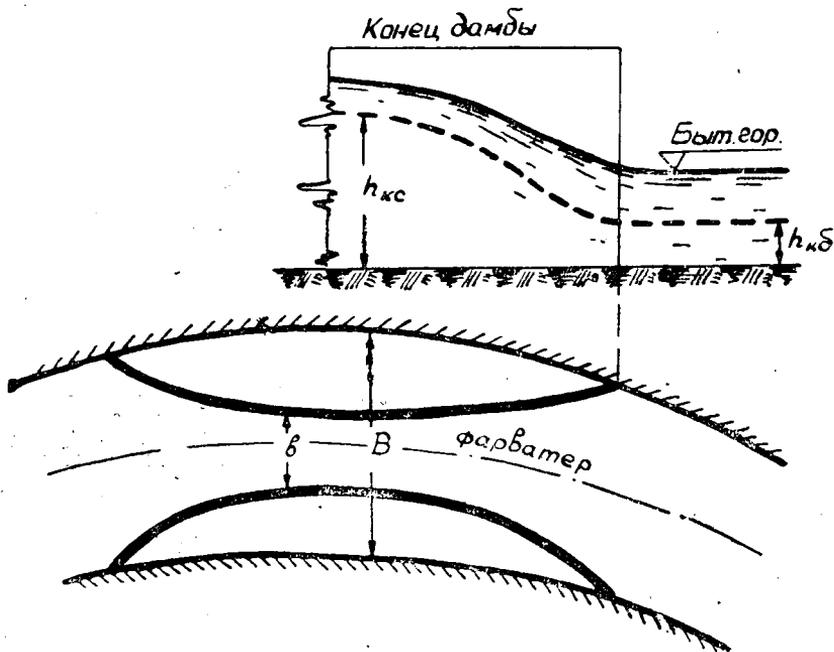


Рис. 5. Плавное сопряжение хвостовых частей продольных дамб с берегами.

р. Маны (Красноярский край), которая, несмотря на свою, казалось бы, относительную многоводность (расход в межень порядка 50—70 м<sup>3</sup>/сек), даже на средних и нижних участках имеет глубины в конце перекатов (рис. 4), не превышающие 20—30 см. Многолетняя практика сплава по р. Мане показывает, что именно на таких мелководных местах в конце перекатов обычно и образуются бревенные заломы. Фактор снижения глубин в конце продольных дамб или между стыками полузапруд подтверждается еще и тем, что в таких местах, как правило, встречаются наибольшие размывы русла, которые, если не предусмотрены проектом и не имеют специальной цели, могут ухудшить условия сплава вследствие засорения нижележащих участков продуктами размыва.

Отметим, что с помощью графиков  $\mathcal{E} = f(h)$  дальнейшими расчетами легко определить и все остальные гидравлические элементы потока в сжатом русле (например, скорость), поскольку будут известны его глубина и расход, а геометрическая безразмерная характеристика потока (степень сжатия) задана.

В заключение укажем, что принимая режим большинства горных рек аналогичным случаю 2 (или 1) рис. 2, можно сделать вывод о выгоде применения на них продольных дамб и, наоборот, принимая режим равнинных рек (малые уклоны, малые скорости, относительно большие глубины) соответствующим случаю 3 (рис. 2), можно сделать вывод о целесообразности устройства на них полузапруд, применение которых эффективно при том, однако, условии, если будет учитываться обычное для них падение глубины в самом узком месте между стыками.

Поступила в редакцию  
28 ноября 1957 г.