

РАБОТА 2. ИЗУЧЕНИЕ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Цель работы. Изучение схемы течения воды и видов размыва русла на мостовом переходе.

2.1. Общие сведения

Состав мостового перехода. Автомобильные и железные дороги пересекают многочисленные водные препятствия: реки, ручьи, периодические водотоки и водохранилища ГЭС. Для преодоления водного препятствия строят систему сооружений – мостовой, тоннельный или паромный *переход водотока* (водного препятствия).

Мостовой переход включает мост (пролетное строение и опоры), подходы к мосту (земляные насыпи, эстакады), регулиционные (струенаправляющие дамбы) и берегозащитные сооружения.

Мосты длиной до 25 метров обычно называют *малыми*, от 25 до 100 – *средними* и свыше 100 – *большими*. Следует заметить, что в *гидравлике* все мосты с размываемыми (неукрепленными) подмостовыми руслами условно называются *большими*. Укрепленные русла при большой ширине менее целесообразны по сравнению с сооружением опор, запроектированных с учетом глубины размыва русла. Мост обычно перекрывает полностью коренное русло, где движение воды происходит круглогодично, а также может частично перекрывать поймы, которые покрываются водой во время паводка.

Подходы к мостам от берегов речной долины обычно выполняют в виде земляных *насыпей*, которые перекрывают частично или полностью поймы реки (рис. 2.1, *а*). Между насыпями оставляют водопропускное отверстие, перекрываемое мостом. Оно называется *отверстием моста*. За ширину отверстия моста принимают расстояние между насыпями на отметке расчетного уровня воды и обозначают ее через V_m . Насыпи заканчиваются конусами, полностью или частично закрывающими крайние опоры моста – *устои*.

Регулиционные сооружения имеют различную форму и конструкцию. Они позволяют сделать неизбежные русловые деформации безопасными для сооружений мостового перехода. Например,

чтобы разгрузить пойменные участки отверстия моста от излишнего количества воды и исключить опасный размыв у конуса насыпи, применяют струенаправляющие дамбы 2. Благодаря им поток на подходе к подмостовому руслу становится симметричным, а распределение удельных расходов по ширине – более плавным.

Берегозащитные сооружения исключают перемещение берегов русла с течением времени, которое может привести к неблагоприятному расположению судового хода относительно опор моста или может угрожать устойчивости струенаправляющих сооружений и подходных насыпей на поймах. Берегозащитные сооружения могут быть выполнены в виде *продольного вала* с подошвой, защищенной от подмыва (например, гибким покрытием, опускающимся в размыв по мере его развития) или в виде струеотбойных поперечных сооружений – *траверсов*, размещаемых по длине берега, если ставится задача не только защитить берег, но и отодвинуть береговую линию в сторону реки.

Схема потока, стесненного сооружениями мостового перехода, показана на рис. 2.1, а.

Ось (створ) мостового перехода II-II обычно расположена нормально к направлению течения. В этом случае ширина отверстия (длина) моста является наименьшей.

Сооружения мостового перехода представляют собой местное гидравлическое сопротивление. Они стесняют речной поток и вызывают перед собой увеличение отметок свободной поверхности, т.е. создают *подпор* ΔZ перед мостом (рис. 2.1, б). Подпор распространяется вверх по течению до створа I-I, выше которого влияние моста на речной поток не сказывается, т.е. бытовые условия перед мостом не нарушены.

По мере приближения к отверстию моста струи сходятся, а свободная поверхность понижается и имеет форму воронки (ее дугообразная граница на рис. 2.1, б показана сплошной линией). Вдоль насыпи уровень воды также уменьшается к отверстию моста.

Уменьшение ширины потока в пределах воронки приводит к увеличению скоростей течения, которые достигают наибольших

а) течений под мостом. В отверстии моста поток претерпевает

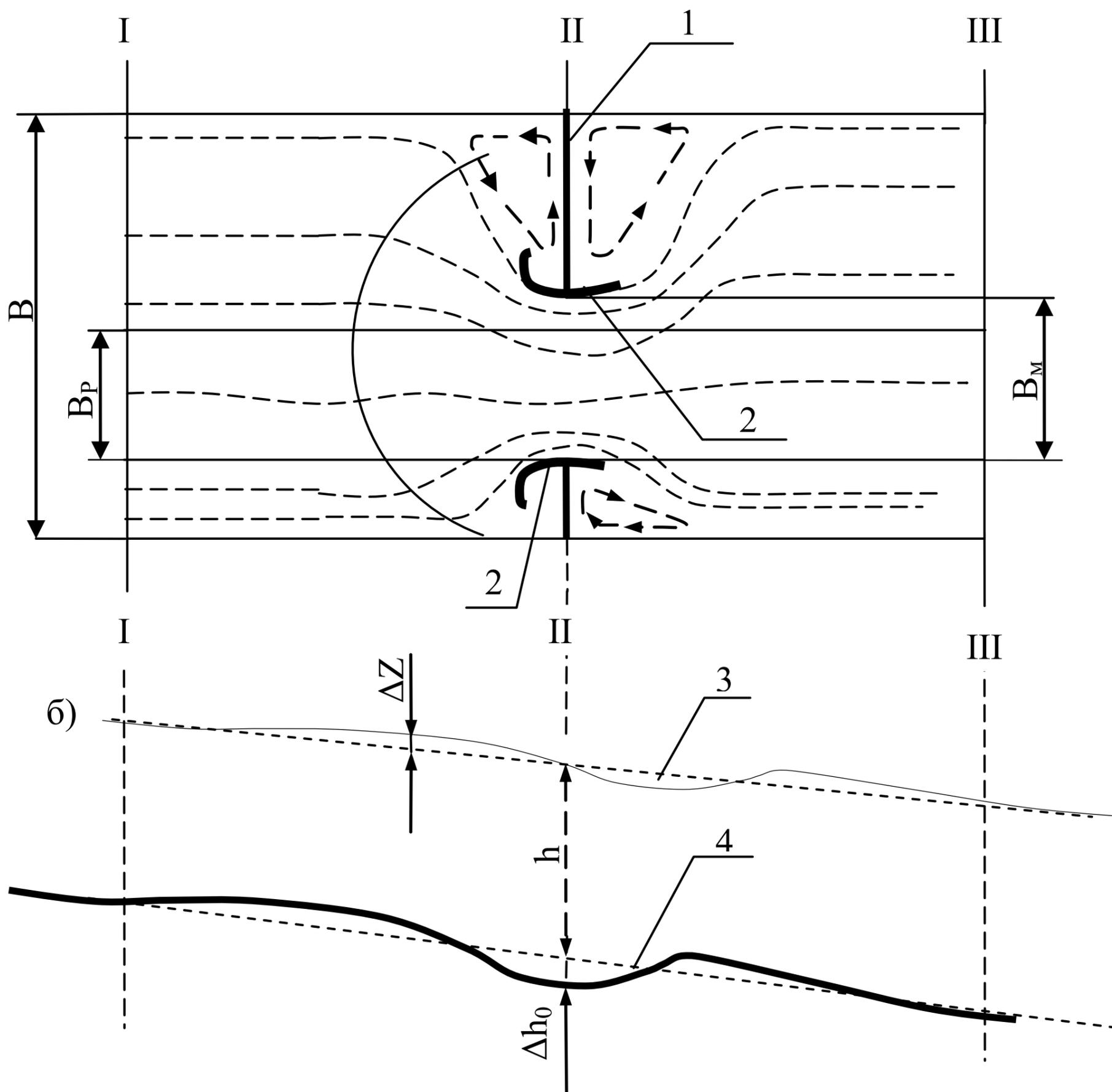


Рис. 2.1. План (а) и продольный профиль (б) водотока на участке с мостовым переходом:

- 1 – подходная насыпь; 2 – струенаправляющие дамбы;
- 3, 4 – свободная поверхность и дно водотока в естественном (бытовом) состоянии

наибольшее сжатие, его струи параллельны между собой, а уровень воды близок к бытовому.

За мостом поверхность воды имеет вид бугра, поток расширяется (растекается), струи расходятся, и скорости потока уменьшаются. За границей крайних транзитных струй образуются обширные водовороты (циркуляционные области). За сечением III-III происходит восстановление бытовых (естественных) условий водотока.

Общий размыв подмостовых русел. После возведения мостового перехода (рис. 2.1 и 2.2) весь расход речного потока Q будет проходить через подмостовое русло. В результате стеснения речного потока подходными насыпями от ширины реки B до ширины отверстия моста B_m скорости потока в подмостовом русле возрастают по сравнению со скоростями потока в его естественном (бытовом) состоянии и могут стать существенно больше размывающих скоростей. Это приводит к нарушению баланса наносов на участке мостового перехода с их выносом из подмостового русла и отложением их ниже по течению (см. рис. 2.1, б). В подмостовом русле будет происходить увеличение глубин за счет размыва и, следовательно, уменьшение скоростей течения. Русло стабилизируется только после восстановления баланса наносов на участке мостового перехода.

Увеличение глубин размыва δ (см. рис. 2.2, б) произойдет по всей ширине $B_{p.m.}$ подмостового русла. Этот вид русловых деформаций называют *общим размывом*. Глубина общего размыва Δh_0 представляет собой разность отметок дна русла до и после размыва или разность глубин потока в русле после ($h_{p.m.}$) и до размыва ($h_{p.б.}$)

$$\Delta h_0 = h_{p.m.} - h_{p.б.} \quad (2.1)$$

Среднюю глубину под мостом h_m после размыва можно определить из формулы расхода реки при пике паводка

$$Q = V_m \omega_m = V_m B_m h_m \varepsilon$$

через среднюю скорость V_m и площадь живого сечения $\omega_m = B_m h_m \varepsilon$ водного потока под мостом

$$h_m = Q / (V_m B_m \varepsilon), \quad (2.2)$$

где B_m – ширина отверстия моста,

ε – коэффициент сжатия потока подходными насыпями и опорами моста.

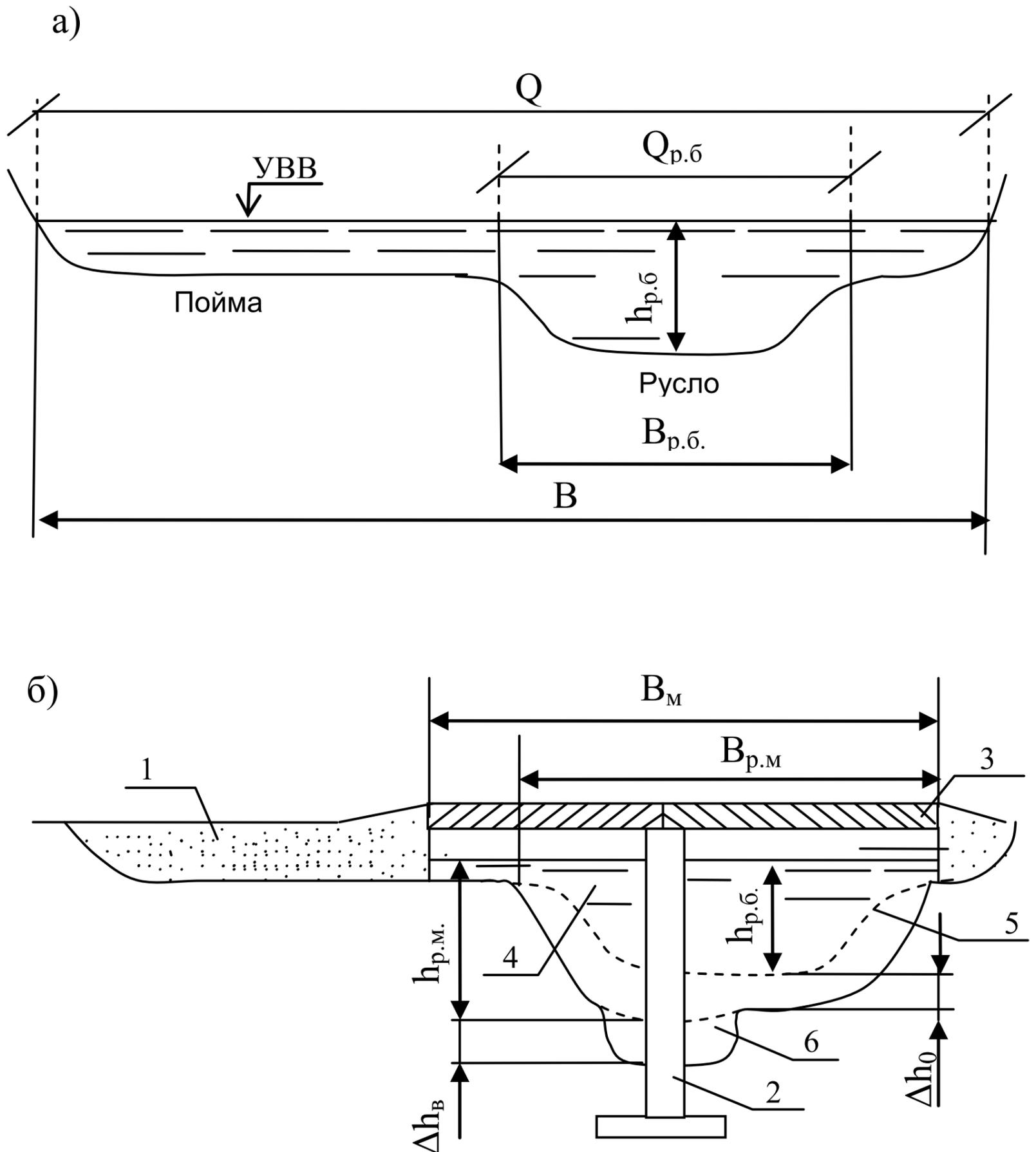


Рис. 2.2. Поперечный профиль водотока в естественном (а) и стесненном (б) состояниях: 1 – подходная насыпь; 2 – опора; 3 – пролетное строение; 4 – профиль дна реки в естественном (бытовом) состоянии; 5 – общий размыв; 6 – местный

Среднюю скорость V_m потока под мостом обычно принимают равной средней скорости потока $V_{p.б.}$ в русле до сооружения мостового перехода (по методу Н. А. Белелюбского, 1875 год)

$$V_m = V_{p.б.} = Q_{p.б.} / (h_{p.б.} B_{p.б.}) \quad (2.3)$$

или равной скорости, при которой восстанавливается продольный баланс наносов, т. е. равенство бытового расхода наносов и расхода наносов в стесненном (сжатом) створе (сечении) под мостом (по методу О. В. Андреева, 1955 год)

$$V_m = V_{p.б.} (B_{p.б.} / B_{p.м.})^{1/4} (h_{p.м.} / h_{p.б.})^{1/8}. \quad (2.4)$$

Обычно стоимость единицы длины подходов к мосту значительно ниже стоимости единицы длины моста, что побуждает при проектировании увеличивать длину подходов и за счет этого уменьшать длину (ширину отверстия B_m) моста. В этом случае сокращается не только длина дорогих пролётных строений, но и уменьшается число опор моста. Однако это вызывает увеличение подпора перед мостом и подтопление сооружений. Кроме того, как видно из (2.2), чем меньше ширина отверстия моста B_m , тем больше будет глубина под мостом h_m и, следовательно, глубина общего размыва. Размывы угрожают устойчивости моста и насыпей подходов. Эксплуатация перехода затрудняется, а иногда становится невозможной. Поэтому в целях отыскания оптимального решения можно изменять значения B_m и h_m в ходе технико-экономического расчета. Кроме того, строительными нормами установлены предельные коэффициенты общего размыва $P = h_{p.м.} / h_{p.б.}$ (1.5 – для судоходных рек; 2.0 – для несудоходных рек), что также ограничивает уменьшение B_m .

Отыскание оптимальной степени стеснения реки переходом, соответствующей минимуму суммарных затрат на строительство и содержание сооружений, является существенной частью решения задачи по определению генеральных размеров сооружений.

Местный размыв подмостового русла б (см. рис. 2.2, б) – возникает у опор и вызван изменением структуры потока около них, что выражается в увеличении скоростей сбоку опор и в возникновении циркуляционных течений. Наибольшая глубина местного размыва (глубина воронки) Δh_B образуется перед опорой.

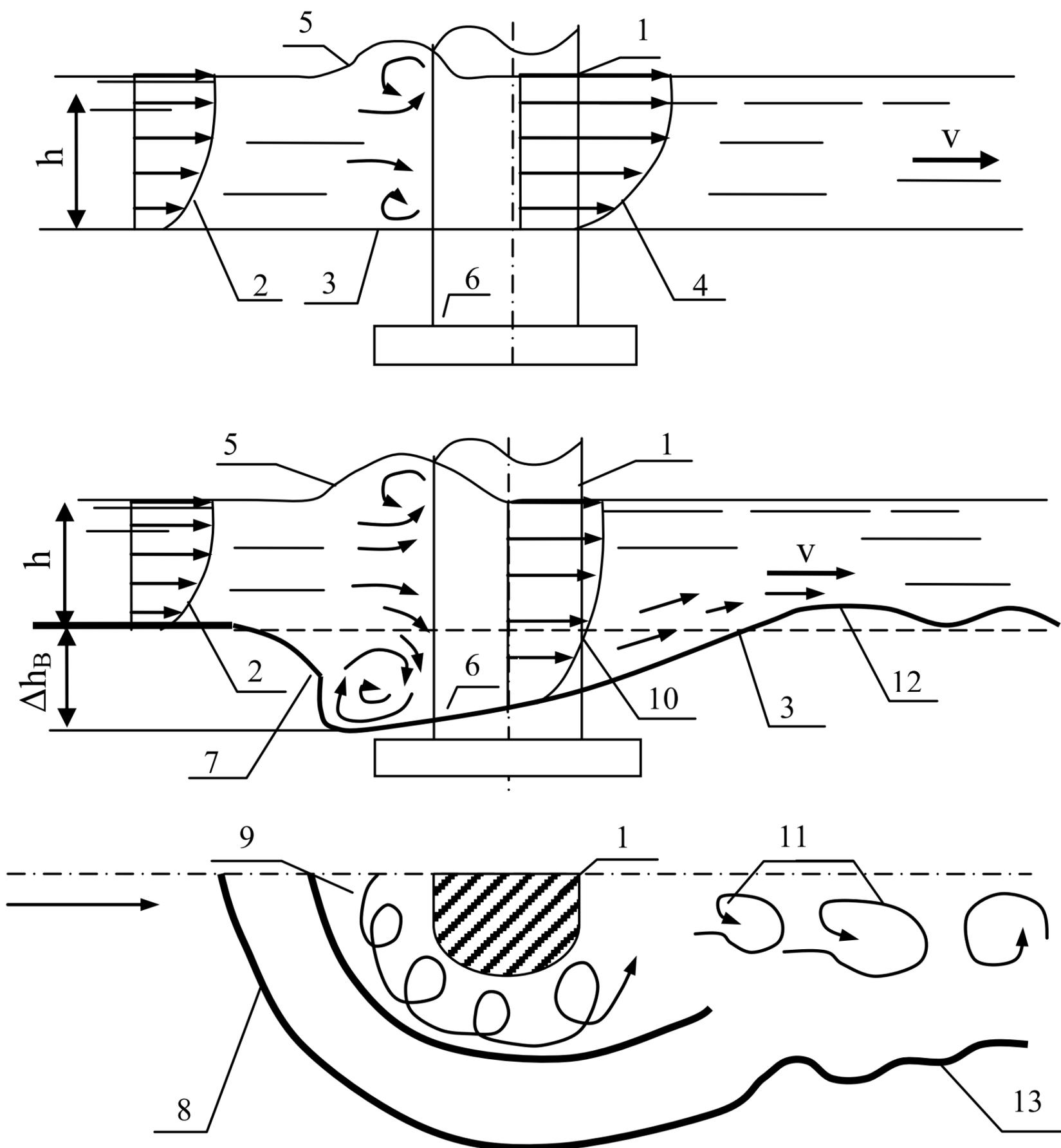


Рис. 2.3. Схема образования воронки размыва около цилиндрической опоры:

- а) продольный профиль русла до размыва;
- б) продольный профиль русла после размыва;
- в) план воронки размыва

При определении отметки заложения фундамента опор учитывается общий и местный размыв.

Глубина водотока после размыва у опоры:

$$h = h_{p.б.} + \Delta h_0 + \Delta h_B, \quad (2.5)$$

где $h_{p.б.}$ – бытовая глубина в русле (до сооружения моста) ;

Δh_0 – глубина общего размыва ;

Δh_B – глубина местного размыва.

Схема образования воронки размыва и расчет ее глубины.

Рассмотрим процесс образования воронки размыва около цилиндрической опоры. На некотором расстоянии выше по течению опора 1 ещё не возмущает поток и не влияет на эпюру скоростей 2 (рис.2.3). При обтекании потоком опоры происходит нарушение кинематической структуры потока. Сбоку опоры скорости увеличиваются почти в 2 раза при условии жёсткого дна 3 (эпюра 4). Ударяющийся в опору поток разбивается на струи, которые отклоняются вправо и влево от опоры, вверх и вниз вдоль опоры.

Восходящие струи образуют на поверхности воды подпор, который вызывает циркуляцию жидкости в виде поверхностного вальца 5 с горизонтальной осью. Нисходящие струи формируют донный

валец 6 с горизонтальной осью вращения, что и является причиной образования воронки размыва 7, 8 у опоры.

Донный валец благодаря боковым струям приобретает подковообразную форму 9 и вырабатывает углубление в дне воронки размыва с большой крутизной откосов. Наибольшая глубина размыва Δh_B образуется перед опорой. Она и представляет наибольший практический интерес.

После образования воронки размыва глубина потока около опоры увеличивается, что приводит к уменьшению скорости обтекания опоры (эпюра скорости 10) и стабилизации размыва около опоры.

За опорой образуется зона с пониженным давлением (уровнем), где может образовываться застойная зона (при малых скоростях потока), парный вихрь или вихревая дорожка 11. За воронкой наносы откладываются в виде гряд намыва (песчаных волн) со сложным продольным профилем 12 и контуром в плане 13 .

Основная задача расчета местного размыва у опор мостов сводится к определению глубины воронки, которая обычно увеличивается с ростом скорости потока, его глубины и ширины опоры.

Ввиду сложности явления обтекания опор с деформируемым дном, к настоящему времени для определения глубины воронки размыва предложено около 30 расчётных зависимостей, по-разному учитывающих влияние действующих факторов.

Следует помнить, что размыв у опоры начинается при скорости течения в русле $V < V_{н.р.}$, когда скорость перед опорой V почти в 2 раза меньше скорости $V_{н.р.}$ ($V_{н.р.}$ – средняя неразмывающая скорость не возмущенного опорой потока).

Расчет подпоров на мостовых переходах. Определение подпоров имеет важное практическое значение для назначения отметок насыпей подходов, струенаправляющих дамб, траверсов, для прогнозирования возможного затопления ценных земель и прибрежных населенных пунктов.

Полный подпор ΔZ (см. рис. 2.1,б) можно определить по выражению О. В. Андреева, полученного на основе уравнение Бернулли для двух створов мостового перехода с использованием формулы Шези.

2.2. Порядок выполнения работы

1. Поставить устройство №9 (см. рис. В, б) вертикально на стол так, чтобы надпись «мостовой переход в плане» на лицевой стороне устройства была перевернута, и подождать, когда верхний бак опорожнится.

2. Перевернуть устройство в его вертикальной плоскости, наблюдать картину течения воды на мостовом переходе в плане, зарисовать и описать ее.

3. Перевернуть еще раз устройство в его вертикальной плоскости, наблюдать на обратной стороне устройства картину течения воды около мостовой опоры и механизм образования воронки размыва (см. рис. В, в).

4. Зарисовать структуру потоков около опоры и описать процесс образования местного размыва.