

4.5. РАСЧЕТ ГЛУБИНЫ ЗАЛОЖЕНИЯ ФУНДАМЕНТА ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ОПОР

4.5.1. Виды фундаментов и основные понятия

Фундаментом называется подземная или подводная часть сооружения, которая передаёт нагрузку от сооружения грунту основания. По конструкции фундаментов опоры можно разделить на типы, представленные на схеме (рис. 4.5.1).

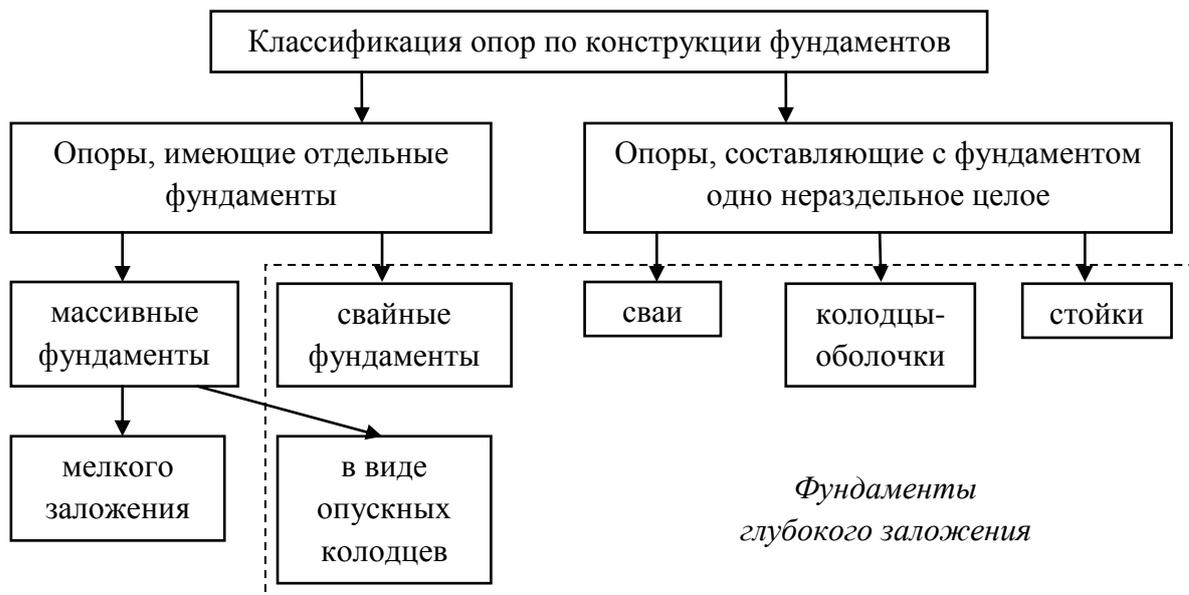


Рисунок 4.5.1 – Классификация фундаментов

Деление фундаментов на фундаменты мелкого и глубокого заложения связано с различными способами производства работ по их возведению и особенностями расчёта. Для массивных опор мостов, требующих большой площади передачи давления на грунт, применяют монолитные фундаменты.

Фундаменты мелкого заложения целесообразно применять при строительстве опор мостов на суходолах, либо на местности, покрытой небольшим слоем воды, при близком залегании к поверхности прочных и слабо сжимаемых грунтов. Их возводят в котлованах, предварительно открытых на полную глубину с поверхности грунта. Глубина заложения обычно не превышает 4-6 м.

В мостостроении практически прекратилось использование кессонных фундаментов. Опускные колодцы встречаются в единичных случаях. Сокращается объём строительства опор с фундаментами мелкого заложения, зато повсеместное применение получили свайные фундаменты из забивных, буронабивных и буроопускных свай различных конструкций.

В малых и средних мостах широко применяются свайные опоры, состоящие из свай и объединяющих их поверху насадок (ригелей). В таких опорах сваи являются одновременно элементами фундамента и тела опоры. *Промежуточные опоры через большие судоходные реки, которым свойственно, как правило, наличие мощного слоя руслового аллювия (песков), проектируют обычно на свайном основании.* В этом случае возникает необходимость передачи нагрузки от сооружения на более плотные грунты, залегающие на значительной глубине.

Выбор *основания* и связанное с ним назначение глубины заложения фундамента заключается в подборе несущего пласта грунта, который будет воспринимать давление от сооружения и передавать его на нижележащие подстилающие пласты слоистой толщи. В качестве несущего слоя или основания в целом лучше всего использовать скальные или мало сжимаемые грунты. Не рекомендуется опирать низ свай, оболочек, столбов или подошву опускных колодцев на сильно сжимаемые грунты. В том случае, когда непригодные грунты расположены близко от поверхности земли (дна русла), фундаменты следует опирать на нижележащие более прочные грунты. Современное оборудование позволяет погрузить призматические сваи на глубину до 24 м, полые железобетонные составные сваи - 40 м; стальные забивные сваи - 70 м; железобетонные оболочки - 50 м, буровые сваи - 40 м; опускные колодцы - 40 м.

В большинстве случаев целесообразнее увеличивать глубину заложения элементов с целью опирания их низа на хорошие грунты, чем увеличивать число элементов меньшей длины, опертых на более слабые грунты.

4.5.2. Фундаменты мелкого заложения

Фундаменты мелкого заложения возводят в котлованах, предварительно открытых на полную глубину. *Глубина заложения обычно не превышает 4-6 м.* Фундаменты опор рекомендуется опирать на малосжимаемый грунт, например, гравелистые, крупнозернистые и среднезернистые пески, глинистые грунты твердой консистенции, скальные и полускальные породы.

Массивные фундаменты мелкого заложения сооружаются чаще из бетона или бутобетона, реже из железобетона или бутовой кладки. На рис. 4.5.2 показаны этапы разработки котлована под фундамент промежуточной опоры в русле реки.



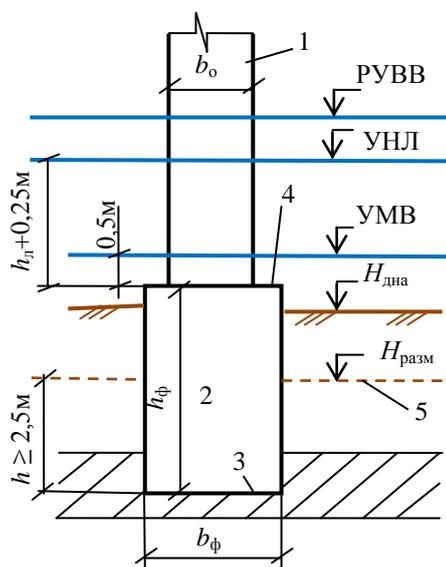
Рисунок 4.5.2 – Разработка котлована для возведения фундамента промежуточной опоры в русле реки

Положение обреза (верха) фундамента промежуточной опоры относительно уровней воды действующими нормами не регламентируется.

Обычно **обрез фундаментов русловой опоры устраивают на 0,5 м ниже уровня меженных вод (УМВ)**. Это делают для упрощения объёма кладки и стеснения русла реки, облегчения пропуска ледохода при первой подвижке льда. **На реках со значительным ледоходом** в ряде случаев отметки обреза выбирают ниже уровня низкого ледохода (УНЛ) с учётом толщины льда и с тем, чтобы давление льда не передавалось непосредственно на фундамент, а целиком воспринималось опорой. Опора имеет меньшую ширину по сравнению с фундаментом, обтекаемую или заостренную форму, и тем самым, лучше сопротивляется давлению льда. В этом случае отметка обреза фундамента назначается не выше нижней поверхности льда на 0,25 м (рис. 4.5.3). **Если обрез фундамента русловой опоры будет поднят выше УМВ**, то в этом случае:

- будет необходимо придать фундаменту в плане обтекаемое очертание;
- в расчётах давления льда на сооружение при его первой подвижке вместо ширины опоры требуется задавать ширину фундамента, т.е. рассчитывать на увеличенное в 1,5 раза силовое воздействие льда.

У опор, расположенных на пойме, верхний обрез фундамента независимо от его типа обычно принимают на уровне поверхности грунта (после его размыва). Исключения могут быть при особых случаях, например, для устоев арочных мостов на скальных основаниях.



- 1 – опора
- 2 – фундамент
- 3 – подошва фундамента
- 4 – обрез фундамента
- 5 – наинизший уровень дна после размыва
- h – глубина заложения фундамента
- h_{ϕ} – высота фундамента
- $h_{\text{л}}$ – толщина льда
- $b_{\text{о}}$ – ширина опоры
- b_{ϕ} – ширина подошвы фундамента

Рисунок 4.5.3 – Схема для назначения отметок подошвы и обреза фундамента русловой опоры

Отметку заложения подошвы фундамента промежуточных опор определяют по формуле

$$H_{\phi} = \text{РУВВ} - h_{\text{рм.мах}} - \Delta h_{\text{м}} - \Delta \varepsilon - \Delta h_{\text{к}}, \quad (4.5.1)$$

где

- $h_{\text{рм.мах}}$ – глубина потока с учётом общего размыва;
- $\Delta h_{\text{м}}$ – глубина воронки местного размыва, определяемая по формулам (4.5.5) и (4.5.6);
- $\Delta \varepsilon$ – гарантийный запас на неточность определения элементов размывого русла;
- $\Delta h_{\text{к}}$ – конструктивная глубина заделки фундамента в грунт (рис. 4.5.4).

Гарантийный запас на неточность определения элементов размытого русла принимается равным 15% от глубины суммарного размыва, т.е.

$$\Delta_{\varepsilon} = 0,15(h_{\text{рм max}} - h_{\text{рб max}} + \Delta h_{\text{м}}). \quad (4.5.2)$$

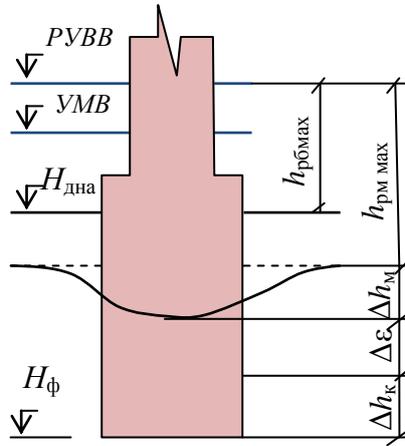


Рисунок 4.5.4 – Схема к определению минимальной отметки подошвы фундамента

В данной курсовой работе $\Delta h_{\text{к}}$ назначается конструктивно с учетом соблюдения нижеследующих условий (рис. 4.5.3):

- в несущий слой грунта основания подошва фундамента заглубляется не менее чем на 0,5 м от кровли слоя;
- фундамент русловых опор должен быть заглублен не менее чем на 2,5 м от наимизшей отметки дна водотока в месте расположения опоры после его общего и местного размыва расчетным паводком;
- при отсутствии размыва минимальная глубина заложения фундамента во всех грунтах, кроме скальных, должна быть не менее 1 м от поверхности грунта.

Геометрические размеры фундамента назначаются конструктивно. Максимальная

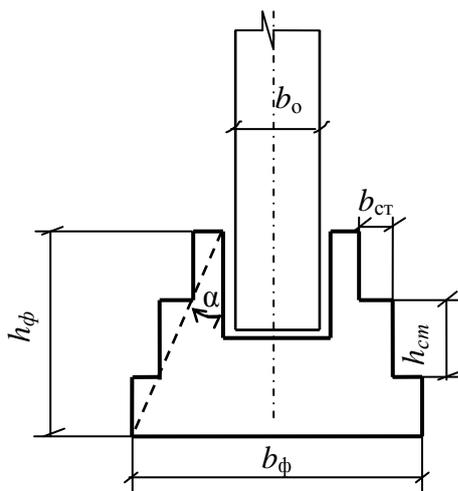


Рисунок 4.5.5 – Конструкция фундамента мелкого заложения

площадь подошвы фундамента определяется исходя из условия обеспечения жесткости фундамента. Оно заключается в том, что линия, соединяющая внутренние ребра уступов бетонного фундамента, как правило, не должна отклоняться от вертикали на угол $\alpha > 30^\circ$ (рис. 4.5.3, 4.5.5). Принимаем $\alpha = 30^\circ$.

Глубину заделки опоры в стакане $h_{\text{ст}}$ следует назначать не менее $1,25b_0$, где b_0 – наибольший размер поперечного сечения элемента (опоры, стойки, оболочки). Толщину стенок железобетонного стакана следует принимать не менее $1/3 b_0$, но не менее 15 см. Высота ступени назначается в пределах $h_{\text{ст}} = 0,7 \div 2,5$ м; ширина ступени $b_{\text{ст}} = 0,5 h_{\text{ст}}$. Ширина подошвы фундамента $b_{\text{ф}} = b_0 + 2h_{\text{ф}} \cdot \text{tg}\alpha$.

4.5.3. Свайные фундаменты

Свайный фундамент целесообразно применять при строительстве опор мостов, когда прочные грунты залегают на глубине более 5-6 м. Свайным фундаментом считают группу свай, объединённых сверху специальной конструкцией в виде плит или балок – *ростверком*. Ростверки предназначены для передачи и равномерного распределения нагрузки на сваи. Различают свайные фундаменты с *низким* и *высоким* ростверком (рис. 4.5.6). *Высоким* называется ростверк, подошва которого расположена выше дна водотока (поверхности грунта после планировки) и не соприкасается с ним. *Низким* называется ростверк, подошва которого опирается на грунт или заглублена в него.

Фундаменты с низким ростверком применяют на реках с тяжелым ледовым режимом, а также на поймах рек и в пределах мелких водотоков, когда надо заглубить ниже дневной поверхности грунта или самого низкого уровня воды обрез фундамента. Кроме того, такие фундаменты применяют при необходимости заглубления свай ниже зоны истирающего воздействия перемещающихся в течение нескольких недель в году, а иногда и месяцев песчаных или гравийно-галечных наносов. В этих случаях проще дополнительно заглубить в грунт ростверк, чем осуществлять какие-либо мероприятия по защите свай от неблагоприятного воздействия наносов. При глубине воды более 3 м экономически целесообразно применять высокий свайный ростверк.

Свайные фундаменты с высоким ростверком имеют существенные преимущества перед фундаментами с заглубленной в грунт плитой. К этим преимуществам относятся следующие:

- при одинаковых несущей способности и жесткости на их сооружение затрачивается меньше материалов и труда;
- отпадает необходимость в устройстве котлованов в грунте и связанных с этим земляных работах;
- взамен шпунтовых ограждений котлованов могут быть использованы менее дорогие перемычки разных конструкций;
- вместо монолитных, бетонируемых на месте плит могут применяться плиты из сборного железобетона;
- с большей экономической эффективностью используются оболочки и столбы;
- применением наклонно расположенных элементов можно создать фундаменты по жесткости и несущей способности равноценные фундаментам с заглубленной в грунт плитой;
- уменьшаются местные размывы дна русла.

Положение подошвы плиты свайного ростверка относительно уровней воды не регламентируется. В последнее время наметилась тенденция к размещению плиты ростверка выше уровня межени (рис. 4.5.6, б). Такое конструктивное решение, безусловно, является наиболее удобным при производстве работ, однако с эксплуатационной точки зрения оно неприемлемо на реках с сильным ледоходом, а также по архитектурным соображениям.

При наличии истирающих наносов подошва плиты ростверка должна быть заглублена ниже дна реки с учетом размыва, чтобы сваи не подвергались истиранию.

Отметка верха низкого ростверка назначается так же, как и положение обреза массивного фундамента мелкого заложения (см. п. 4.5.2). На реках со значительным

ледоходом в ряде случаев отметки верха ростверка выбирают ниже горизонта низкого ледохода с учётом толщины льда. В этом случае отметка верха ростверка назначается не выше нижней поверхности льда на 0,25 м (рис. 4.5.7).

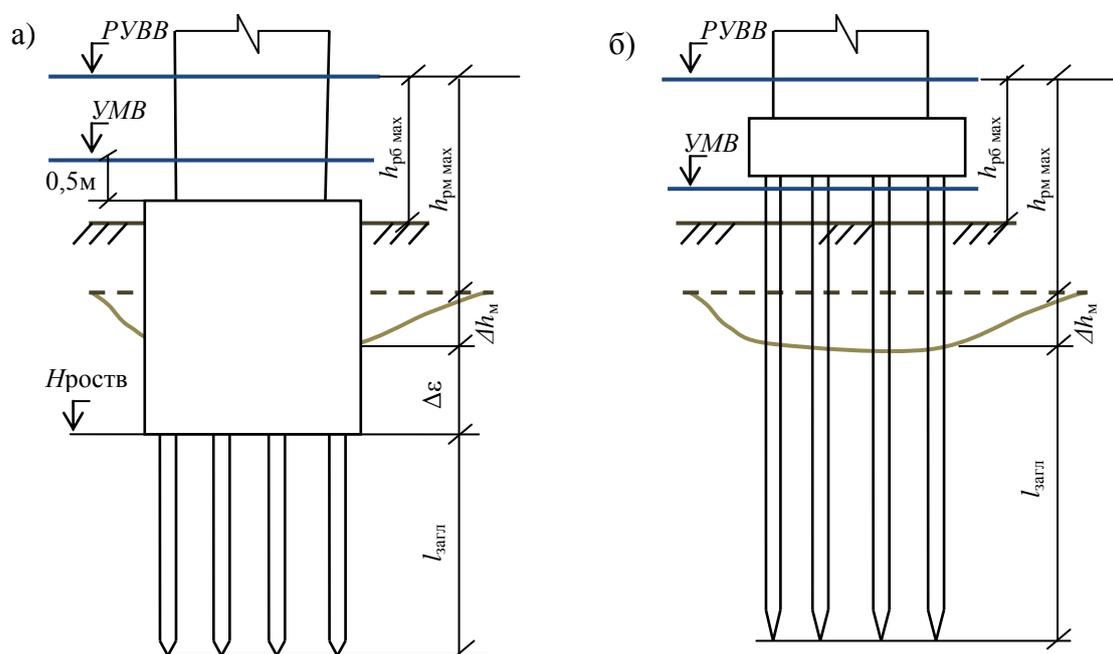


Рисунок 4.5.6 – Свайные фундаменты: а – с низким ростверком; б – с высоким ростверком

Ростверки всех промежуточных опор размещаются на одной и той же отметке, т.к. максимальная глубина воды может оказаться у любой промежуточной опоры под влиянием природных русловых деформаций.

Подосва низкого ростверка свайного фундамента в русле реки может находиться и выше, и ниже линии размыва дна [2]. В данной работе применяется методика определения глубины воронки местного размыва для массивной опоры (см. п. 4.5.4), следовательно, подошва ростверка проектируется ниже линии размыва. Тогда, отметка подошвы низкого ростверка свайного фундамента должна быть не выше отметки, вычисляемой по формуле

$$H_{\text{роств}} = ПУВВ - h_{рм.макс} - \Delta h_m - \Delta \epsilon, \quad (4.5.3)$$

где $h_{рм.макс}$ – глубина потока с учётом общего размыва;

Δh_m – глубина воронки местного размыва, определяемая по формулам (4.5.5) и (4.5.6);

$\Delta \epsilon$ – гарантийный запас на неточность определения элементов размыва русла, определяемый по формуле (4.5.2).

Минимальная толщина ростверка назначается с учетом размеров свай. Сваи должны быть жестко заделаны в плиту ростверка (выше слоя бетона, уложенного подводным способом) на высоту не менее двух диаметров, а при размерах свай свыше 60 см – не менее чем на 1,2 м. **Высота ростверка должна быть не менее 1,2 м.** Окончательно размеры ростверка уточняются после размещения расчетного количества свай.

Размеры ростверка в плане назначаются минимальными, как и для массивного фундамента мелкого заложения, с учетом размеров опоры и минимальной ширины обрезов в пределах 0,3–0,5 м.

В мостостроении применяются, в основном, два типа свай: забивные (призматические или цилиндрические) и буровые (буронабивные, бурообсадные, сваи-оболочки, буровые столбы), отличающиеся как по своей конструкции, так и по способу погружения в грунт.

При сооружении свайных фундаментов балочных железобетонных мостов часто применяют сваи сечением 35×35 см, длиной 6, 8, 9, 10, 12, 14 м. Необходимое количество свай на одну опору определяется расчетом. Однако, при составлении вариантов схем моста их число (по фасаду и на поперечниках) определяется экспертно, исходя из инженерно-геологических условий, несущей способности грунтов в основании мостовых опор.

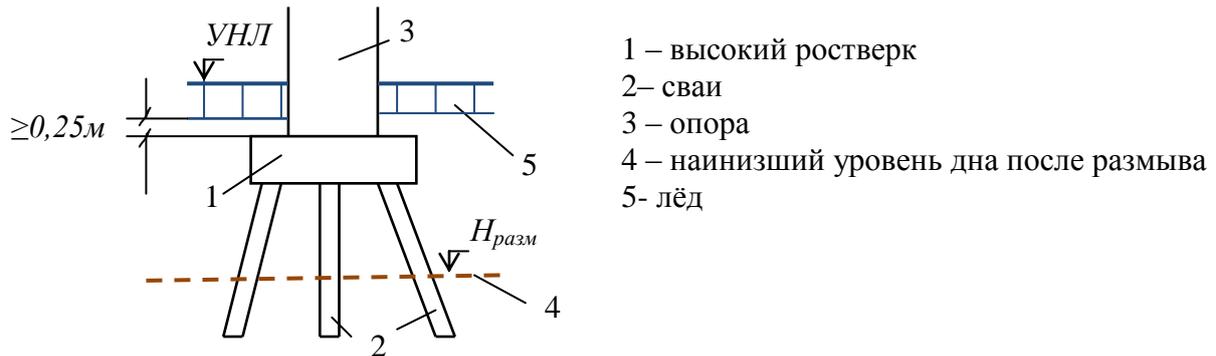


Рис. 4.5.7 – Фундамент с наклонными сваями и отметкой верха ростверка ниже уровня низкого ледохода

Минимальное расстояние между осями таких свай по фасаду моста равно 1,05 м. Расстояния между осями свай в направлении поперек моста принимают равными 1,2 м. Для пролетов 33 и 42 м применяют трехрядные свайные ростверки, при меньших пролетах – двухрядные. Расстояние между осями свай соседних рядов в ростверке (вдоль и поперек моста) должно быть равно не менее трех диаметров свай.

Для увеличения жёсткости при противодействии горизонтальным нагрузкам, кроме вертикальных, забивают и наклонные сваи (рис.4.5.6).

Наименьшая глубина погружения свай ниже подошвы ростверка для искусственных сооружений принимается равной 4 м.

4.5.4. Расчёт глубины воронки местного размыва

Глубина воронки размыва вычисляется по формулам И.А. Ярославцева. В случае несвязных грунтов она имеет вид

$$\Delta h_m = k \cdot k_\phi \cdot \left(\frac{v_{оп}^2}{g} \right)^{0,9} \cdot \epsilon_{оп}^{0,1} - 30d; \quad (4.5.5)$$

в случае связных грунтов –

$$\Delta h_m = k \cdot k_\phi \cdot \left(\frac{v_{оп}^2}{g} \right)^{0,9} \cdot \epsilon_{оп}^{0,1} - \frac{6v_{неп}^2}{g}, \quad (4.5.6)$$

где

k – коэффициент, зависящий от относительной глубины потока, принимаемый по табл. 4.5.1;

k_ϕ – коэффициент, учитывающий форму опоры, принимаемый по табл. 4.5.2;

$b_{оп}$ – средняя ширина опоры, м;

$v_{нер}$ – неразмывающая средняя скорость для связных грунтов, м/с (табл. 4.5.3);

g – ускорение свободного падения;

d – диаметр частиц несвязных грунтов, м;

$v_{он}$ – скорость набегания потока на опору, м/с.

Таблица 4.5.1

$h_{рм\ max} / b_{оп}$	k	
	для русла	для пойм
5,0	0,38	0,62
3,0	0,44	0,68
1,0	0,73	0,97

Таблица 4.5.2

Форма опоры	$k_{ф}$
Прямоугольная	1,24
Цилиндрическая	1,04
Овальная	0,85

Скорость набегания потока на опору принимается равной $v_{рм}$ в главном русле, $v_{лм}$ или $v_{пм}$ – в пойменных частях отверстия.

Таблица 4.5.3

Грунт	Разновидность грунта	$v_{нер}$ при глубине потока, м			
		0,4	1	2	3
Глины и суглинки	Малоплотные	0,35	0,4	0,45	0,50
	Средней плотности	0,70	0,85	0,95	1,10
	Плотные	1,0	1,2	1,4	1,5
	Очень плотные	1,4	1,7	1,9	2,1
Лессы	Средней плотности	0,6	0,7	0,8	0,85
	Плотные	0,8	0,9	1,2	1,3
	Очень плотные	1,1	1,3	1,5	1,7

При расчете местного размыва в неоднородных грунтах в формулу (4.5.5) необходимо ввести размер наиболее крупных фракций, содержащихся в количестве 15 – 20 %.

Список источников

1. Методические рекомендации по проектированию опор мостов. – Ленинград, 1988. – 113 с.
2. СП 32-102-95. Сооружения мостовых переходов и подтопляемых насыпей. Методы расчета местных размывов / Корпорация «Трансстрой». – М., 1996.
3. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2011. – 138 с.
4. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2011. – 74 с.
5. Наумов Г.Г., Андрианов Ю.А. Графика вариантного проектирования моста: Учебное пособие / МАДИ (ГТУ). – М., 2007. – 62 с.
6. http://edu.dvgups.ru/METDOC/ITS/OSNFUN/MEX_GR/METHOD/MU_U_P/WEBUMK/frame/3.htm (Сервер дистанционного образования дальневосточного государственного университета путей сообщения).

7. http://edu.dvgups.ru/METDOC/ITS/OSNFUN/MEX_GR/METHOD/MU_U_P/WEBUMK/frame/4.htm (Сервер дистанционного образования дальневосточного государственного университета путей сообщения).
8. Проектирование фундамента промежуточной опоры моста: методические указания к курсовой работе / Сост. А.Г. Боровиков, Е.А. Кузьменков. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2010. – 46 с