

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Т.А. Зиннуров, И.Ю. Майстренко

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ
к практическим занятиям по дисциплине
«Опоры транспортных сооружений», направление подготовки **08.03.01**
«Строительство», профиль «Строительство автомобильных дорог,
аэродромов, объектов транспортной инфраструктуры»

Казань
2018

УДК 624.21

ББК 38.58

3-63

Зиннуров Т.А., Майстренко И.Ю.

3-63 Учебно-методическое пособие для студентов к практическим занятиям по дисциплине «Опоры транспортных сооружений», направление подготовки **08.03.01 «Строительство»**, профиль «**Строительство автомобильных дорог, аэродромов, объектов транспортной инфраструктуры**» / Т.А. Зиннуров, И.Ю. Майстренко.– Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2018. – 31 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Настоящее учебно-методическое пособие содержит рекомендации, необходимые для использования при проектировании и выполнении расчетов фундаментов промежуточных и береговых опор мостовых сооружений в процессе обучения дисциплине «Опоры транспортных сооружений», согласно учебным планам, утвержденным Ученым советом КГАСУ по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль «Строительство автомобильных дорог, аэродромов, объектов транспортной инфраструктуры»

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент ЖБ и КК

А.Н. Седов

УДК 624.21

ББК 38.58

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2018

© Зиннуров Т.А., Майстренко И.Ю., 2018

Оглавление

1. Основные принципы выбора опор.....	4
2. Конструирование опор.....	7
3. Оценка инженерно-геологических условий площадки строительства.....	11
4. Выбор типа фундамента.....	14
5. Определение глубины заложения подошвы фундамента.....	15
6. Сбор нагрузок.....	17
7. Определение размеров опоры.....	19
8. Расчет по первой группе предельных состояний.....	20
8.1. Определение площади подошвы и размеров уступов фундамента.....	20
8.2. Проверка на опрокидывание и плоский сдвиг.....	24
9. Расчет по второй группе предельных состояний.....	25
9.1. Проверка положения равнодействующей.....	25
9.2. Расчет осадки фундамента.....	25
9.3. Расчет горизонтального смещения верха опоры.....	29
Список литературы.....	30

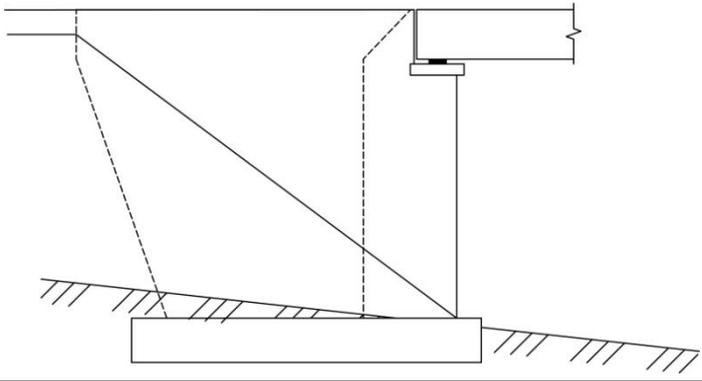
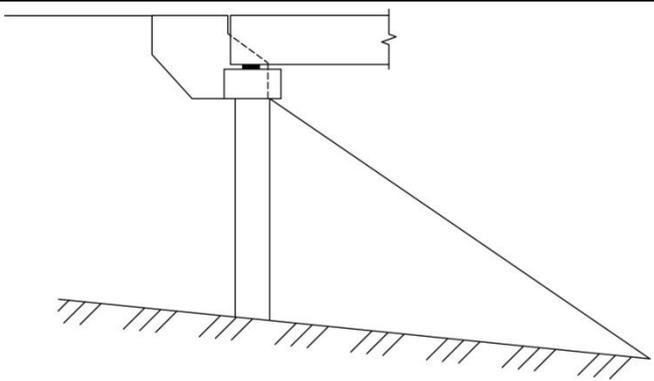
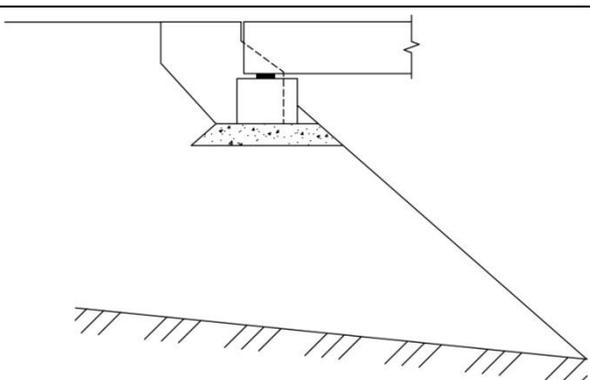
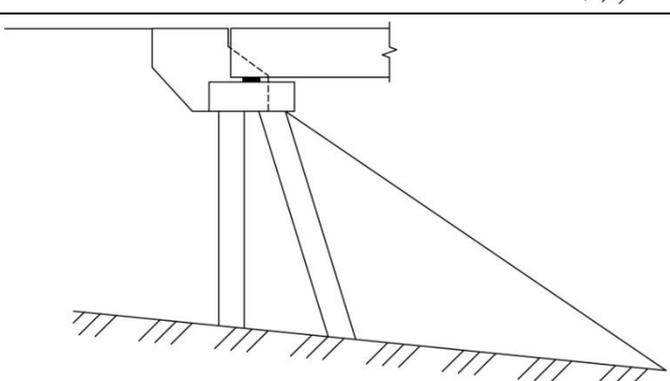
1. Основные принципы выбора опор

Опоры мостов подразделяются на береговые (устои) и промежуточные (Таблица 1). Опоры нужны для передачи на грунт основания вертикальных и горизонтальных нагрузок от веса пролетных строений, подвижной нагрузки, ветра и др. По конструкции опоры могут быть классифицированы следующим образом: **массивные** опоры – каменные, бутобетонные, бетонные (монолитные, сборно-монолитные или сборные). Появившись на заре мостостроения, массивные опоры применяются и в настоящее время на мостах через большие реки при интенсивных ледоходах и в других сложных условиях; **свайные опоры** – конструкции, состоящие из одного или нескольких рядов свай, объединенных поверху насадкой (ригелем), на которую устанавливаются пролетные строения. Свайные опоры из деревянных и металлических свай широко применяются для временных мостов. С развитием сваебойной техники такие опоры стали сооружать из железобетонных свай и использовать для постоянных мостов через малые водотоки при отсутствии ледохода, а также для путепроводов. В 60-70-е годы появились и быстро завоевали признание у строителей разновидности свайных опор: **столбчатые**, в которых основными несущими элементами являются железобетонные стойки объединяемых поверху насадкой (ригелем) опирающиеся на фундамент, и **безростверковые** из свай-оболочек диаметрами 1.6 м и более или буронабивных свай; **пустотелые** опоры, выполняемые из монолитного бетона или из замкнутых бетонных блоков, преимущественно, прямоугольного сечения, устанавливаемых на фундамент любого типа и объединяемых поверху железобетонной плитой сплошного сечения. Пустотелые опоры проектируются как бетонные (без вертикального армирования) или железобетонные с ненапрягаемой или напрягаемой арматурой;

В зависимости от расположения в конусе подходной насыпи, устои подразделяются на: **необсыпные**, в которых подошва конуса не выходит за переднюю грань устоя. Необсыпные устои в настоящее время применяются, преимущественно, в городских условиях, часто в сочетании с продольными подпорными стенками, ограничивающими размеры насыпи в плане; **обсыпные**

– расположенные в теле конуса. Такие устои являются сейчас основным типом конструкций, позволяют использовать наиболее эффективные технические решения – свайные и стоечные опоры. Недостатком обсыпных устоев является увеличение длины моста на перекрываемую пролетными строениями часть конуса.

Таблица 1.

Виды береговых опор	
Массивный устой (с откосными крыльями или в виде подпорной стенки)	
Сборный свайный или стоечный устой (однорядный)	
Устой в виде лежневой опоры	
Сборный свайный или стоечный устой (двухрядный или козловой)	

Виды промежуточных опор	
Одностолбчатая опора с ригелем	
Плоская однорядная опора свайного типа	
Массивная опора с ригелем	
Опора из отдельных столбов на столбчатом фундаменте	
Массивная опора (Бык)	

Основными показателями, определяющими выбор типа опоры для конкретных условий строительства, являются:

- трудоемкость строительно-монтажных работ и сроки строительства;
- материалоемкость (расход металла, цемента и др.);
- габариты мостового сооружения и его функциональное назначение;
- стоимость строительства.

Решающее влияние на выбор типа опоры и фундамента могут оказать возможности строительной организации, наличие оборудования и оснастки.

Опыт проектирования, строительства и эксплуатации опор различных типов показывает:

- а) наименьшие материалоемкость, стоимость и трудоемкость (в сопоставимых условиях) имеют свайные опоры;
- б) при малых и средних высотах хорошие показатели имеют стоечные опоры;
- в) для опор, располагаемых в русле водотока, эффективными являются конструкции, имеющие массивную цокольную часть и стоечную или пустотелую надводную часть.

Таким образом, при выборе типа опоры прежде всего следует рассмотреть возможность применения в данных условиях свайных опор (в зависимости от геологических и производственных факторов – из забивных, буроопускных или буронабивных свай, свай-оболочек и т.п.). Если свайные опоры применить нельзя, то на втором этапе оценивается возможность сооружения стоечных опор. В случаях, когда стоечные конструкции неприменимы, следует проектировать массивные опоры, преимущественно, с рампой или пустотелой надводной частью.

2. Конструирование опор

При разработке технологии строительства опор следует руководствоваться СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы» [3], а также СП 22.13330.2016 «Основания и фундаменты» [2].

Проектируя опору, необходимо учитывать положение ряда характерных уровней воды в реке. Это – уровень меженных вод (УМВ); уровни высоких вод: расчетный (ожидаемый при расчетном паводке (РУВВ) и наибольший (НУВВ) – (п. 5.25 [3]); уровни ледохода низкий и наивысший, уровень наинизшего ледостава. В особых случаях принимаются во внимание и другие уровни. В частности, для правильного учета затрат на вспомогательные сооружения (например, ограждения котлованов) необходимо знать рабочий уровень воды (РУ) – это наивысший уровень, который можно ожидать в период производства работ на данной опоре.

В зависимости от климатических условий, характеризующихся среднемесячной температурой наиболее холодного месяца, вида конструкции и зоны ее расположения, к бетону опор предъявляются определенные требования по морозостойкости (F). Марки бетона по водонепроницаемости (W) должны назначаться не ниже: W4 – для конструкций в подводной и подземной зонах; W8 и W6 – в блоках облицовки опор мостов в районах со средней температурой наружного воздуха наиболее холодной пятидневки соответственно: ниже минус 40°C и от минус 40 °C и выше.

Классы бетона по прочности на сжатие должны быть не ниже: B20 – в бетонных конструкциях и в железобетонных конструкциях (с непрямоугольной арматурой) в подземных частях сооружения, а также во внутренних полостях сборно-монолитных опор; B45 и B35 в блоках облицовки опор на реках с ледоходом при расположении мостов в районах со средней температурой наружного воздуха на их более холодной пятидневки соответственно: ниже минус 40°C и от минус 40°C и выше.

Применение железобетонных конструкций в опорах мостов на водотоках допускается при условии армирования их стержневой арматурой и защиты поверхности от возможных механических повреждений. Применение напрягаемой проволочной арматуры в опорах на водотоках не допускается.

Крайние опоры являются важным элементом мостовых сооружений и обеспечивают сопряжение конструкции пролетного строения и подходной насыпи. Сопряжение моста с насыпями автомобильной дороги осуществляется

через устои – концевые опоры моста (Рис. 1). Главное требование к этому сопряжению – обеспечить плавный въезд на мост за счет плавного изменения жесткости основания дорожного покрытия. Это обеспечивается, прежде всего, тем, что устои, воспринимая горизонтальное давление насыпи от собственного веса грунта и временной нагрузки на насыпи за устоем, препятствует большим вертикальным перемещениям верха насыпи. Кроме того изменение жесткости обеспечивается укладкой за устоем специальных переходных плит. Насыпь удерживается от сползания в пролет конусом, который сам по себе должен быть устойчивым.

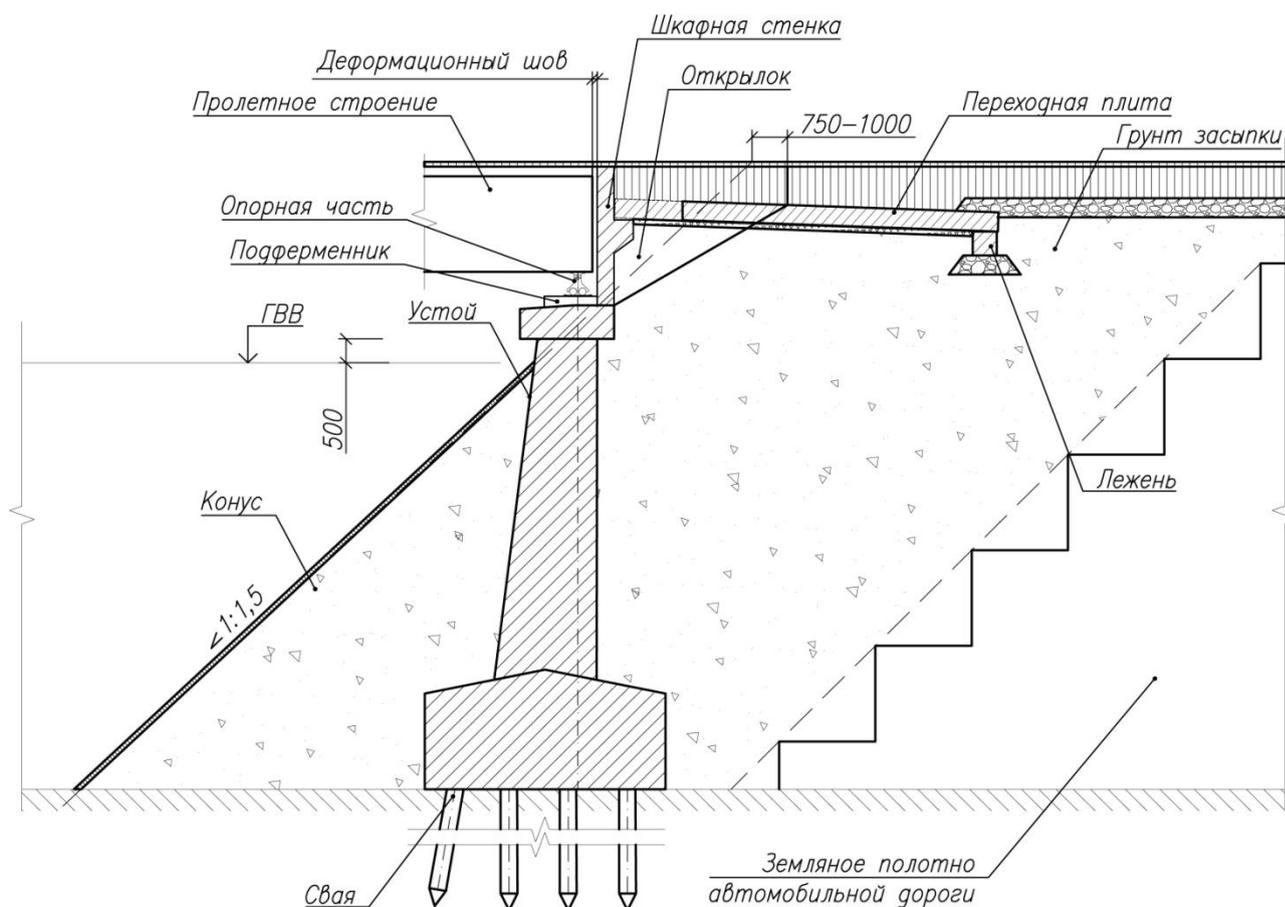


Рис. 1 Конструкция береговой опоры

Промежуточные опоры (Рис. 2) устанавливаются преимущественно в пойменной части реки, чтобы не мешать судоходству. Минимальные размеры и обтекаемая форма опоры вдоль моста не будет мешать течению реки и движению ледостава. Промежуточная опора должна обеспечивать опирание двух пролетов, возможно разной высоты.

закрылок (обратная стенка) – боковая стенка устоя в обсыпных устоях, чтобы удерживаемый грунт не попадал на подферменную площадку; **открылок** – боковая консольная стенка устоя, не имеющая фундамента и служащая для удержания грунта насыпи подхода; **стенка шкафная** – элемент верхней части устоя, защищающий торец пролетного строения и зону расположения опорных частей от грунта насыпи подхода

Процесс проектирования опор, а именно фундамента под опору, начинается с анализа и сбора исходные данные:

1. Материалы инженерно-геологических изысканий;
2. Гидрогеологические условия;
3. Основные параметры надземной части моста под пролетное строение;
4. Нагрузки, действующие на сооружение.

При составлении проекта фундамента под мостовую опору обязательным является вариантный подход к решению поставленной задачи. Это объясняется тем, что в каждом отдельном случае обычно можно предложить несколько приемлемых вариантов фундаментов. Рассмотрев варианты, окончательный выбор производят на основе анализа и технико-экономического сравнения. В рамках дисциплины рассматривается, вариант проектирования массивной опоры на столбчатом фундаменте.

3. Оценка инженерно-геологических условий площадки строительства

Инженерно-геологические условия оцениваются по нормативным физико-механическим характеристикам грунтов, приведенным в таблице задания, с целью определения несущего слоя грунта и выбора приемлемых вариантов фундаментов под опору.

По данным таблицы задания, определяются характеристики физического состояния грунтов, наименования разновидностей грунтов согласно [1], условное расчетное сопротивление и модуль деформации грунтов основания согласно [2].

Рекомендуется следующая форма записи и порядок определения:

- указывается номер слоя, мощность слоя, наименование вида грунта;

- вычисляются производные характеристики слоя грунта, песчаных и глинистых грунтов, для которых порядок вычислений разный;
- характеристики грунтов заносятся в сводную таблицу, пример таблица 2;
- формируется заключение о выборе несущего слоя.

Таблица 1.

Сводная таблица физико-механических свойств грунта

Показатели	Обозначения	Единицы измерения	Наименование грунта	Формула для расчета
Удельный вес твердых частиц грунта	γ_s	кН/м ³	Все	$\gamma_s = \rho_s \cdot 9.81$
Удельный вес грунта (нормативное значение)	γ	кН/м ³	Все	$\gamma = \rho \cdot 9.81$
Гранулометрический состав	-	-	Песок и сыпучие грунты	Таблицы из [1]
Удельный вес скелета грунта	γ_d	кН/м ³	Все	$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+W}$
Коэффициент пористости	e	доли единицы	Все	$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1$
Удельный вес грунта во взвешенном состоянии ($\gamma_w = 10$ кН/м ³)	$\gamma_{взв}$	кН/м ³	Все	$\gamma_{sb} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1+e}$
Степень влажности	S_r	доли единицы	Все	$S_r = \frac{\gamma_s \cdot w}{e \cdot \gamma_w}$
Число пластичности	I_p	доли единицы	Глина, суглинок, супесь	$I_p = W_L - W_p$
Показатель текучести	I_L	доли единицы	Глина, суглинок, супесь	$I_L = \frac{w - w_p}{I_p}$
Угол внутреннего трения	φ	град.	Все	По приложению В [2]
Удельное сцепление частиц	C^H	кПа	Все	
Модуль деформации	E^H	мПа	Все	
Условное расчетное сопротивление грунта	R_0	кПа	Все	По приложению Б [2]

Существуют понятие о нормативных и расчетных величинах различных показателей грунтов. Нормативные и расчетные значения показателей характеристик грунтов вычисляются на основе статистической обработки результатов непосредственных испытаний. Нормативное значение параметра, указанное в задании, определяется как среднеарифметическое значение частных показателей параметра

Согласно нормативной документации [2, 3] все расчеты оснований должны выполняться с использованием расчетных значений характеристик грунтов. Для большинства характеристик допускается принимать равной нормативному значению параметра, за исключением параметров γ , C и φ .

Доверительная вероятность при расчетах оснований фундаментов мостов и труб под насыпями принимается $\alpha = 0,98$ для расчетов по первой группе (прочности и несущей способности) предельных состояний и $\alpha = 0,90$ для расчетов по второй группе предельных состояний (по деформациям).

Таким образом, для определения расчетных значений характеристик, для каждого грунта и для конкретного варианта грунтовых условий необходимо нормативные значения характеристик φ , C и γ разделить на соответствующий коэффициент надежности по грунту. Можно принять коэффициент надежности удельного веса грунта по первому предельному состоянию 1.04, по второму 1.027. Для показателей φ , C коэффициент надежности составит 1.17 и 1.096 для первого и второго предельных состояний соответственно.

Таблица 2

Полное наименование грунта	ρ	W	e	S_r	I_p	I_L	$\gamma_{вс}$	R_0	E
Ед.изм.	г/м ³	%	д.ед.	д.ед.	%	д.ед.	г/м ³	кПа	МПа
Супесь пластичная, водопроницаемая	1.92	0.21	0.7	0.8	4	1	9.71	200	13
Суглинок тугопластичный, водопроницаемый	1.98	0.20	0.62	0.86	14	0.43	10.10	250	20
Песок мелкий, средней плотности	1.78	0.08	0.6	0.35	-	-	10.11	300	33

Оценка несущей способности грунтов зависит от конструкций проектируемого сооружения и от величины и характера передаваемых нагрузок. Так, для мостов внешне статистически неопределимых систем наиболее подходящими являются малосжимаемые скальные и полускальные грунты.

Для разрезных мостов требования к основаниям более мягкие. Здесь могут оказаться приемлемыми и более сжимаемые и менее прочные грунты. Однако и в этом случае не следует принимать в качестве несущего слоя просадочные, заторфованные грунты, рыхлые пески, супеси текучие, суглинки и глины с консистенцией больше $I_L > 0.5$. Не рекомендуется принимать в качестве несущего слоя грунты с расчетным сопротивлением R_0 менее 200 кПа и модулем деформации менее 15 МПа, они для фундаментов опор мостов считаются слабыми.

Следует обращать внимание при значениях пористости e для супесей > 0.7 , для суглинков > 1.0 , для глин > 1.1 , грунты также не могут быть использованы в качестве основания фундамента опоры, а при $e < 0.5$ используются табличные значения R_0 при $e = 0.5$. Для плотных песков значение R_0 следует увеличивать на 60%. Для водонепроницаемых грунтов $\gamma_{взв}$ не вычисляется. Водонепроницаемыми грунтами считаются суглинки при $I_L \leq 0.25$ и глины при $I_p \geq 20$, $I_L \leq 0.5$. Водонепроницаемые грунты являются водоупором.

4. Выбор типа фундамента

В современном мостостроении применяют в основном три типа фундаментов: мелкого заложения на естественном основании, свайные и столбчатые. Выбор типа фундамента на местности, покрытой водой, определяется тремя основными факторами: глубиной воды, наибольшей глубиной размыва дна реки у опоры, глубиной залегания несущего слоя грунта от поверхности.

Глубина заложения фундаментов мелкого заложения определяется расчетами несущей способности оснований и фундаментов на действие расчетных сочетаний нагрузок и отсчитывается от отметки наибольшего

размыва русла у опор

В пособии будет рассматривать порядок расчета и проектирования массивной опоры на фундаменте мелкого заложения, хотя возможность применения фундаментов мелкого заложения при глубине воды не более 1 – 3 м, а несущий слой грунта залегает не глубже 4 – 6 м от поверхности воды. В иных случаях сравнению подлежат варианты фундаментов из свай, свай-оболочек, свай-столбов, оболочек.

Еще до начала проектирования фундамента необходимо выбрать способы производства работ при разработке грунта в котловане и бетонировании фундамента на местности, покрытой водой. В тех случаях, когда водоупорный слой залегает на большой глубине и трудно предохранить котлован от затопления вследствие проникания воды снизу из водопроницаемого основания, часто выполняют тампонажную водозащитную бетонную подушку с целью обеспечения производства работ по изготовлению фундамента насухо, то есть без водоотлива или водопонижения. Обращаем внимание на то, что толщина подушки включается в высоту фундамента мелкого заложения и подушка является его частью, ее толщина зависит от давления воды снизу и размеров котлована в плане, чаще всего принимают в интервале 1.0 – 1.5 м. Если близко к дну реки имеется водоупорный слой грунта, то шпунтовое ограждение котлована заглубляется в водоупор и тогда тампонажная подушка не требуется.

5. Определение глубины заложения подошвы фундамента

Глубину заложения фундаментов следует определять с учетом:

- величины и характеристики нагрузок, действующие на мостовое сооружение;
- инженерно - геологических условий площадки строительства;
- гидрогеологических условий площадки строительства;
- глубина сезонного промерзания грунтов;
- величина местного и общего размыва грунта у основания проектируемого фундамента.

В качестве основания опоры моста следует принимать малосжимаемые

или скальные грунты, слабые грунты следует пронизывать телом фундамента. Возможность применения фундаментов мелкого заложения может быть рассмотрена в том случае, если глубина воды не превышает 1 – 3 м, а несущий слой грунта залегает не глубже 4 – 6 м от поверхности воды.

От величины заложения фундамента зависят его размеры, форма в плане и в разрезе. К рассмотрению следует принять несколько пунктов, которые позволят правильно подобрать уровень заложения фундамента. Выбор глубины заложения фундаментов (ГЗФ) следует производить с учетом следующих требований:

- фундамент необходимо заглубить в несущий слой не менее чем на 0.5 м, поскольку поверхность слоя может быть наклонной;
- при отсутствии размыва и условий пучинообразования минимальная глубина заложения от поверхности грунта должна быть не менее 1.0 м;
- если возможен размыв грунта дна водотока, ГЗФ должна быть не менее чем на 2.5 м ниже отметки дна водотока в месте расположения опоры после его общего местного размыва расчетным паводком $h_{мр}$;
- грунтах, подверженных пучению при промерзании, подошву фундамента следует располагать ниже нормативной глубины промерзания не менее чем на 0.25 м. Нормативную глубину промерзания грунта, если она менее 2.5 м, определяется по формуле

$$d_{fn} = d_0 \sqrt{M_t},$$

где M_t – коэффициент, численно равный сумме абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за зиму в данном районе [5]; d_0 – глубина промерзания, зависящая от вида грунта; принимается равной: для суглинков и глин – 23 см; супесей, песков мелких и пылеватых – 28 см; песков гравелистых, крупных и средней крупности – 30 см

Глубина заложения фундаментов мостов в пределах водотоков должна отсчитываться от отметки наибольшего размыва русла у опор, а на суходоле от уровня земли (УЗ). Плоскость верхнего обреза фундамента в руслах рек заглубляют на 0.5 м ниже линии горизонта меженных вод ГМВ и ниже нижней поверхности льда в реке при низком ледоходе (ГПЛ) на 0.25 м. Для опор,

возводимых на суходоле, обрез фундамента назначают на 0.1 – 0.3 м ниже уровня поверхности грунта.

Высоту фундамента h_f определяют как расстояние от подошвы до его обреза.

6. Сбор нагрузок

Основания фундаментов должны быть рассчитаны как по несущей способности (по I группе предельных состояний), так и по деформациям (по II группе предельных состояний). Расчет по прочности является основным, так как достижение первого предельного состояния приводит к аварии сооружения. Расчет по I группе предельных состояний необходимо вести по наиболее неблагоприятным сочетаниям нагрузок с учетом соответствующих коэффициентов перегрузок. Расчет по II группе предельных состояний служит проверкой эксплуатационной надежности сооружений. Он производится на нормативные нагрузки.

При расчете учитывают следующие виды постоянных и временных силовых воздействий: собственный вес опоры Q_0 ; опорные давления от веса пролетных строений и покрытия проезжей части; опорные давления от временной подвижной нагрузки; опорные давления от толпы на тротуаре; тормозные силы временной подвижной нагрузки; давление льда; нагрузки от навала судов; ветровые нагрузки на пролетные строения и опору.

При расчете различают: а) основные сочетания, включающие постоянные и одну или несколько из вышеперечисленных нагрузок; б) дополнительные сочетания, составляемые из постоянной, временной подвижной вертикальной и одной или нескольких временных других нагрузок; в) особые сочетания, включающие сейсмическую или строительные нагрузки совместно с другими.

Наиболее невыгодных сочетаний нагрузок для фундаментов опор балочных разрезных мостов оказывается больше десяти. С целью уменьшения объема вычислительной работы, расчеты по сбору нагрузок упрощены и сокращены до четырех сочетаний. Расчетные и нормативные значения усилий (M, Q и N) в опоре на уровне обреза указаны в таблице задания.

I – сочетание. В него включены нагрузки, вызывающие наибольшее вертикальное воздействие на фундамент: все постоянные нагрузки, временная вертикальная от колонн автомобилей и веса толпы на тротуарах (временная автомобильная нагрузка в виде полос АК расположена на обоих пролетах по всей ширине проезжей части, а от толпы – на обоих тротуарах по всей длине примыкающих пролетов). Расчетный уровень воды – ГМВ.

II – сочетание. В него включены нагрузки, вызывающие наибольший изгибающий момент в плоскости оси моста: все постоянные нагрузки, временная вертикальная от автомобильной и веса толпы на тротуарах, расположенных на большем пролетном строении; тормозная сила, приложенная к этому же пролетному строению. Расчетный уровень воды – ГВВ.

III – сочетание. В него включены нагрузки, вызывающие наиболее неблагоприятное воздействие поперек оси моста: все постоянные нагрузки, временная вертикальная на обоих пролетах (нагрузка от автомобилей придвинута к низовому бордюру тротуара; нагрузка от толпы расположена на низовом тротуаре), давление льда при низком или высоком ледоходе (выбирается случай, дающий больший изгибающий момент); поперечный удар автомобилей. Расчетный уровень воды – ГПЛ или ГВЛ.

IV – сочетание. В него включены нагрузки, вызывающие наиболее неблагоприятное воздействие поперек оси моста в строительный период: собственный вес фундамента и опоры с еще не установленными пролетными строениями; давление льда поперек оси моста. Расчетный уровень воды – ГПЛ или ГВЛ.

Постоянные нагрузки, действующие на основание промежуточной опоры моста, зависят от конструкций пролетных строений, типа и габаритов опоры моста и размерами фундамента.

Составляя сочетание расчетных нагрузок, необходимо нормативные значения величин умножить на коэффициент надежности по нагрузке γ_f , который может быть больше или меньше единицы. Коэффициенты надежности меньше единицы применяют в расчетах тогда, когда это приводит к более

неблагоприятным условиям работы фундамента или основания.

Для частей фундамента и опор, расположенных ниже уровня воды, необходимо учитывать взвешивающее действие воды. Взвешивающее действие воды на водонепроницаемые грунты учитывается во всех случаях, а в глинах только тогда, когда это создает более неблагоприятные условия для работы фундаментов и оснований. Уровень воды принимается невыгоднейший – наинизший или наивысший. Удельный вес грунта на уступах фундамента без учета взвешивания следует принимать 18 кН/м^3 .

7. Определение размеров опоры

Нагрузку от опорных частей пролетных строений при наличии уклонов (1:10) на верхней поверхности массивных опор, следует передавать на железобетонные подферменные площадки. Высота этих площадок должна обеспечивать возвышение их верхней грани над опорой не менее чем на 15 см. Поперечный уклон (20%) проезжей части не редко задают с помощью подферменников. Тогда наибольшая высота подферменника находится:

$$h_{нф} = 15 \text{ см} + (n - 1) \cdot d \cdot 1.02,$$

где n и d – количество и шаг балок соответственно, определяется в зависимости от габарита проезжей части. Для габарита Г11.5+ 2х1.5 – 10 балок, для габарита Г10 +2 х 1.0 – 8 балок, Г8 +2 х 1.0 – 7 балок. Расстояние от нижних плит опорных частей до боковых граней подферменных площадок или до боковых граней железобетонных элементов (ригелей, насадок и т.п.) должно быть не менее 15 см.

Ширину ригеля опоры определим по формуле:

$$b_1 = c_1' + c_1'' + \frac{(b_{oc}' + 30 \text{ см}) + (b_{oc}'' + 30 \text{ см})}{2} + b_k' + b_k'' + m,$$

ширина массивной части опоры: $b_2 = b_1 - 2 \cdot 10 \text{ см}$,

где c_1' , c_1'' , b_{oc}' , b_{oc}'' , b_k' , b_k'' – характеристики опоры из задания см. рис. 3 ; m – размер деформационного шва принимается в интервале 10 – 20 см.

Длина массивной части опоры: $a_2 = a_1 - 2 \cdot 150 \text{ см}$.

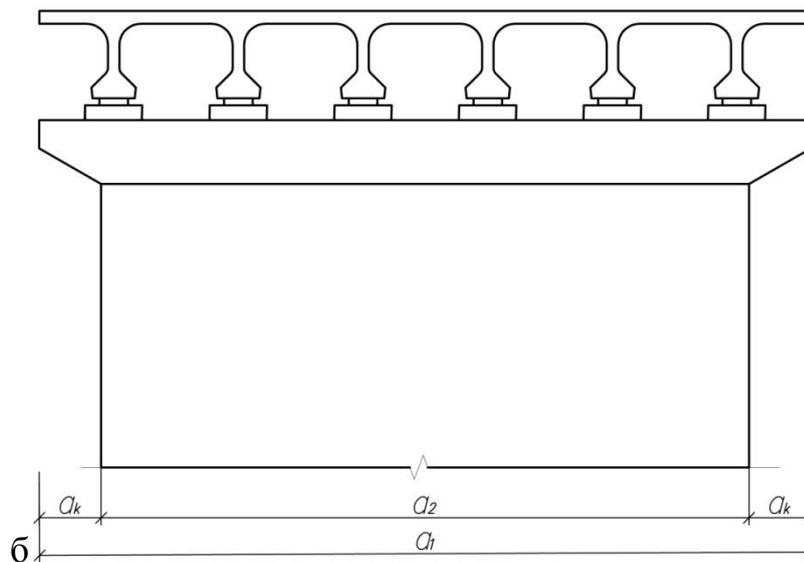
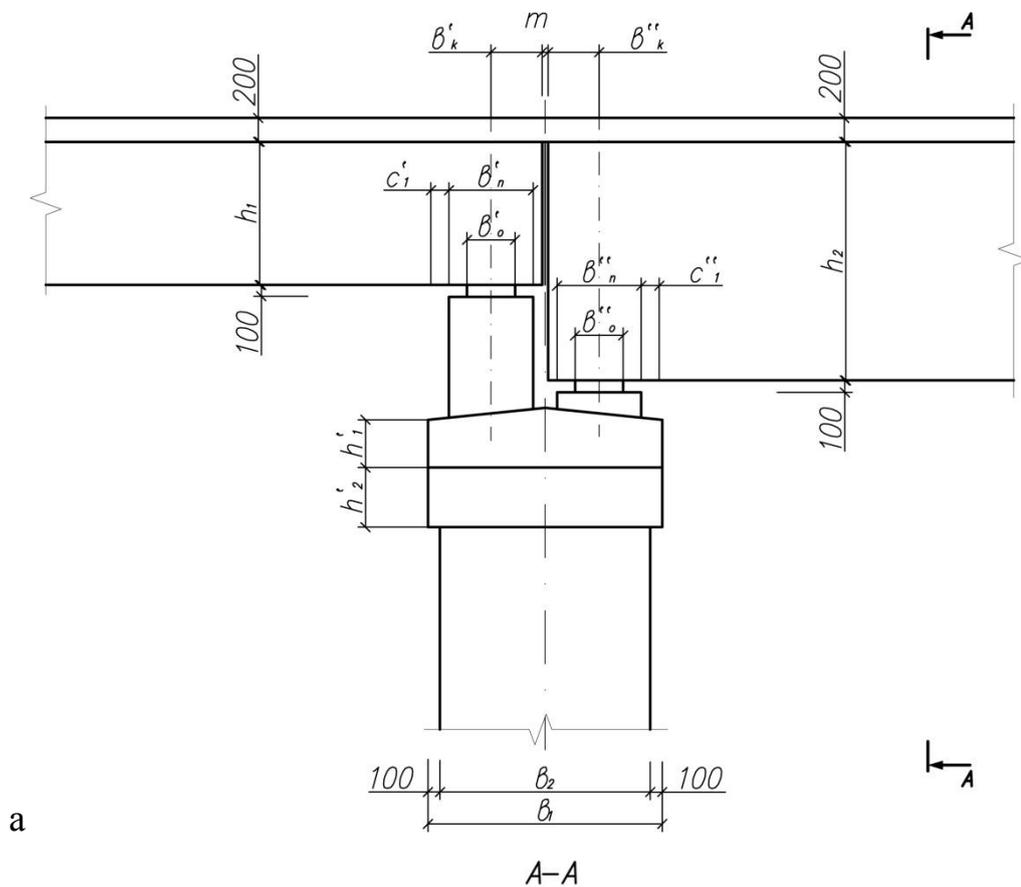


Рис. 3. Размеры промежуточной опоры моста (а – продольный разрез, б – поперечный разрез)

8. Расчет по первой группе предельных состояний

8.1. Определение площади подошвы и размеров уступов фундаментов

Размеры подошвы фундамента определяются методом последовательных приближений. Предварительно устанавливаются минимальные размеры подошвы a_{min} и b_{min} , превышающие размеры опоры в плане a_2 и b_2 в уровне

обреза фундамента на величину $\Delta = 0.2 - 0.5$ м, компенсирующую неточность геодезической разбивки и производстве работ.

$$a_{min} = a_2 + 2\Delta, \quad b_{min} = b_2 + 2\Delta, \quad \text{м}$$

Максимальную площадь подошвы фундамента при заданной его высоте h_{ϕ} определяют исходя из условия обеспечения жесткости фундамента. Она заключается в том, что линия уступов или наклон граней фундамента, как правило, не должны отклоняться от вертикали на угол α более $30^\circ \pm 5$.

Отсюда:

$$a_{нф} = a_2 + h_{\phi} \cdot 2tg\alpha, \quad b_{нф} = b_2 + h_{\phi} \cdot 2tg\alpha, \quad \text{м}$$

где h_{ϕ} – высота фундамента (расстояние от обреза фундамента до его подошвы); a_2 и b_2 – ширина и длина надфундаментной части опоры в плоскости обреза фундамента. При формировании тела фундамента следует выполнять следующие требования: высоту уступа принимают равной 0.7 – 2.5 м, ширину 0.4 – 1.2 м, количество уступов, как правило, не более 3-х (Рис. 4).

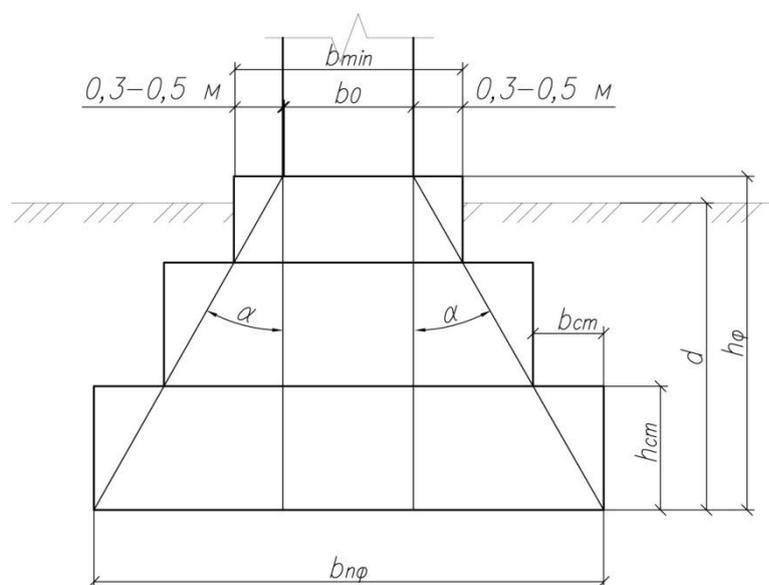


Рис. 4. Размеры и характеристики фундамента

Основными условиями, которым необходимо удовлетворять при определении размеров подошвы фундамента, является:

Для первого сочетания нагрузок:

$$P_{max} = \frac{N'_l}{A} + \frac{M'_{Ia}}{W_a} + \frac{M'_{Ib}}{W_b} \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} R$$

$$P_{min} = \frac{N'_l}{A} - \frac{M'_{Ia}}{W_a} - \frac{M'_{Ib}}{W_b} \geq 0$$

$$P_{cp} = \frac{N'_l}{A} \leq \frac{R}{\gamma_n} \quad (1)$$

Для остальных сочетаний (2, 3, 4):

$$P_{\max} = \frac{N'_I}{A} + \frac{M'_{Ia}}{W_a} \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} R$$

$$P_{\max} = \frac{N'_I}{A} + \frac{M'_{Ib}}{W_b} \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} R \quad P_{cp} = \frac{N'_I}{A} \leq \frac{R}{\gamma_n} \quad (2)$$

где, R – расчетное сопротивление грунта, вычисленное для принятых размеров фундамента; γ_c – коэффициент условий работы, принимаемый для условий : при расчете на первое сочетание нагрузок $\gamma_c=1$, при расчете на три других сочетания нагрузок $\gamma_c=1.2$; γ_n – коэффициент надежности по назначению сооружения равный $\gamma_n=1.4$.

Расчетное сопротивление основания фундамента находят по формуле (3) Приложения 2 СП 35.13330.2011 [1].

$$R = 1.7(R_0(1 + k_1(b - 2)) + k_2\gamma(d - 3)), \text{ кПа} \quad (3)$$

где, R_0 – условное расчетное сопротивление грунта кПа, следует уточнить по таблицам 2.1 и 2.2; b – меньшая сторона подошвы фундамента, если меньшая сторона подошвы фундамента больше 6м, то принимают $b = 6$ м; d – глубина заложения подошвы фундамента, принимается от уровня подошвы до половины уровня размыва грунта; γ – удельный вес грунта, расположенного выше подошвы фундамента, кН/м³; в k_1, k_2 – коэффициенты, зависящие от вида грунта. Значения, k_1, k_2 определяем по таблицам Приложения 2 [1]. Удельный вес грунта выше подошвы, допускается принимать $\gamma=19.62$ кН/м³.

Усилия в формулах (1) и (2) определяется из формул:

расчетная вертикальная нагрузка в плоскости подошвы фундамента

$$N'_I = N_0 + \gamma_r G_\phi + \gamma_f G_{zp} + G_w, \text{ кН};$$

расчетный момент относительно одной из осей плоскости подошвы фундамента

$$M'_{Ia(b)} = M_I + T'_{Ia(b)} \cdot h_\phi \text{ кН*м};$$

где M_I , $T'_{Ia(b)}$, N_0 – расчетные усилия, по заданию (Рис. 5), A – площадь подошвы фундамента, м², $W_{a(b)}$ или $W_{y(x)}$ – момент сопротивления подошвы фундамента определяется по формулам:

$$W_a = \frac{b \cdot a^2}{6}; W_b = \frac{a \cdot b^2}{6}, \text{ м}^3;$$

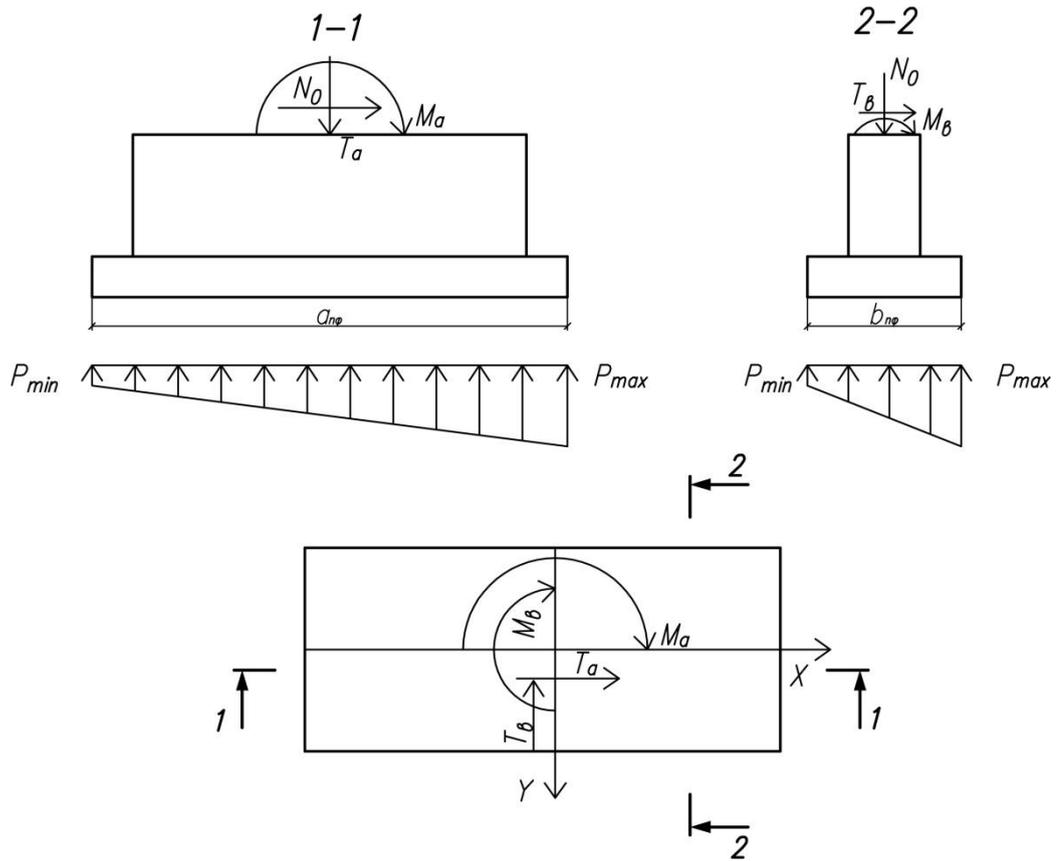


Рис. 5. Расчетная схема фундамента

G_{ϕ} – вес фундамента, кН; с учетом гидростатического взвешивания воды :
 $G_{\phi_{взв}} = V_{\phi} (\gamma_{\phi} - \gamma_w)$, кН, V_{ϕ} – объем фундамента, м^3 ; γ_{ϕ} – удельный вес бетона (24,5 кН/ м^3); γ_w – удельный вес воды (9,81 кН/ м^3); G_{gp} – вес грунта на уступах фундамента, с учетом гидростатического взвешивания воды:
 $G_{gp_{взв}} = V_{gp} (\gamma_{gp} - \gamma_w)$, кН; V_{gp} – объем грунта на обрезах и уступах фундамента, м^3 ;
 γ_{gp} – удельный вес грунта (19,62 кН/ м^3); γ_w – удельный вес воды (9,81 кН/ м^3);
 G_w – вес воды (не учитывается при отсутствии водоупора); $G_w = V_w \cdot \gamma_w$, кН; V_w – объем воды на обрезах и уступах фундамента, м^3

Если условия (1) и (2) не соблюдаются, размеры подошвы увеличиваются и производится повторный расчет. Увеличение площади подошвы жесткого фундамента требует и соответствующего увеличения глубины заложения.

Иногда требуется проверка несущей способности слабого подстилающего слоя грунта в том случае, когда показатель условного сопротивления R_0 меньше, чем у несущего слоя.

Проверка производится в соответствии с обязательным приложением 2 [1].

$$\text{Условие проверки: } \gamma \cdot (d + z_i) + \alpha(P - \gamma d) \leq \frac{R}{\gamma_n};$$

где: P – среднее давление на грунт, действующее под подошвой условного фундамента мелкого заложения, кПа; d – заглубление подошвы фундамента, м; z_i – расстояние от подошвы фундамента до кровли слабого слоя, м; α – коэффициент рассеивания напряжений, принимаемый по табл. 2 приложения 2 [1]; R – расчетное сопротивление слабого слоя, определяемое по формуле (3) при глубине заложения условного фундамента, равной $d_{y.ф.} = d + z_i$, кПа.

8.2. Проверка на опрокидывание и плоский сдвиг

Проверка на опрокидывание и плоский сдвиг по подошве фундамента производится на четвертое сочетание нагрузок, которое может воздействовать на опору в строительный период. В это сочетание входит давление льда поперек оси моста и собственный вес фундамента и опоры с еще неустановленными пролетными строениями, обеспечивающие пригруз опоры, коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_n = 0.9$. Собственный вес опоры и фундамента вычисляется с учетом гидростатического взвешивания. Уровень воды принимается невыгоднейший – ГВЛ или ГПЛ.

Проверка на опрокидывание производится по формуле:

$$\frac{M_u}{M_z} \leq \frac{m}{\gamma_n}, \quad (4)$$

где $M_u = M_I + T_I \cdot h_\phi$ – момент опрокидывающих сил относительно ребра фундамента; M_I – момент относительно обреза фундамента; T_I – расчетная горизонтальная сила; $M_z = N_{ii} e_i$ – момент удерживающих сил относительно того же ребра фундамента; γ_n – коэффициент надежности в стадии строительства равный 1.0; e_i – плечо вертикальных сил относительно того же ребра фундамента.

Проверка на плоский сдвиг производится по формуле:

$$\frac{Q_r}{Q_z} = \frac{Q_r}{\psi \sum N_{ii}} \leq \frac{m}{\gamma} = 0.9$$

где: Q_r – сдвигающая сила, равная в IV-ом сочетании расчетному давлению льда; $\sum N_{ii}$ – сумма расчетных вертикальных постоянных нагрузок; ψ – коэффициент трения, принимаемый $\psi = 0.3$ – для суглинков и супесей, $\psi = 0.25$ – для глин, $\psi = 0.4$ – для песков и $\psi = 0.5$ – для гравийных материалов.

9. Расчет по второй группе предельных состояний

9.1. Проверка положения равнодействующей

Для ограничения крена фундамента и более равномерного распределения давления по подошве фундамента производится проверка положения равнодействующей нагрузок относительно центра тяжести подошвы фундамента.

Проверка выполняется, исходя из условия: $\bar{e}_0 \leq \bar{e}_{0n}$,

где $\bar{e}_0 = e_0 / r$ – относительный эксцентриситет равнодействующей; $r = W/A$ – радиус ядра сечения подошвы фундамента; W – момент сопротивления подошвы фундамента площадью A для менее напряженного ребра; \bar{e}_{0n} – предельный относительный эксцентриситет, величина которого принимается равной 0.1 – при расчете на постоянные нормативные нагрузки; 1.0 – при расчете на наиболее невыгодные сочетания нормативных нагрузок.

Расчет производится для всех сочетаний в двух плоскостях.

$$\bar{e}_{0a} = e_{0a} / r_a, \quad \bar{e}_{0b} = e_{0b} / r_b;$$

$$e_{0a} = \frac{\sum M_{IIa}}{\sum N_{II}}, \quad e_{0b} = \frac{\sum M_{IIb}}{\sum N_{II}};$$

Усилия определяются по формулам

$$\sum M_{IIa} = M_a^H + T_a^H \cdot h_\phi, \quad \sum M_{IIb} = M_b^H + T_b^H \cdot h_\phi,$$

$$\sum N_{II} = N_0^H + G_\phi + G_{zp} + G_w.$$

Исходные нормативные значения усилий принимаются по заданию

9.2. Расчет осадки фундамента

Расчет осадки производится от I-го сочетания нормативных нагрузок. Осадку определяют методом послойного суммирования согласно п. 5.6 СП 22.13330.2016 [3].

Среднее давление по подошве фундамента P_{cp} не должно превосходить значения R , определенного по формуле [3]:

$$P_{cp} = \frac{\sum N'_{II}}{A} \leq R,$$

где, $\sum N'_{II}$ – вертикальная нагрузка в плоскости подошвы фундамента? определяется по формуле из предыдущего раздела; R определим по формуле:

$$R = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k} [M_{\gamma} k_z b \gamma_{II} + M_q d \gamma'_{II} + M_c c_{II}],$$

где γ_{c1}, γ_{c2} – коэффициенты условий работы, принимаемые по таблице 5.4. [3], в данном случае равны соответственно 1.2 и 1; k – коэффициент, принимаемый равным 1.1, если прочностные характеристики грунта определены согласно приложению А [3]; k_z – коэффициент, принимаемый равным: при $b < 10$ м, $k_z = 1$ и при $b > 10$ м, $k_z = z_0/b + 0.2$; b – ширина подошвы фундамента; γ'_{II} – осредненное расчетное значение удельного веса грунтов, залегающих выше подошвы фундамента (при наличии подземных вод определяется с учетом взвешивающего действия воды), кН/м^3 , γ_{II} – осредненное расчетное значение удельного веса грунтов, залегающих ниже подошвы фундамента (при наличии подземных вод определяется с учетом взвешивающего действия воды), кН/м^3 ; M_{γ}, M_q, M_c – коэффициенты, принимаемые по таблице 5.5 [3]; c_{II} – расчетное значение удельного сцепления грунта, залегающего непосредственно под подошвой фундамента, кПа . d – глубина заложения фундамента.

Если условие $P_{cp} \leq R$ выполняется, приступаем к расчету осадки.

1. Основание ниже подошвы фундамента разделяется на горизонтальные однородные слои, толщина которых не должна превышать $0.4 b$, и не более 2 м.
2. Слева от вертикальной оси симметрии фундамента строится эпюра природного давления (Рис.6). Ординаты эпюры вычисляются для границы каждого выделенного слоя и на границах геологических слоев по формуле:

$$\sigma_{zg} = \sigma_{zgo} + \sum \gamma_i h_i, \text{ кПа},$$

где, $\sigma_{zgo} = \gamma \cdot d$, кПа – природное давление на уровне подошвы фундамента; γ – удельный вес грунта выше подошвы фундамента. кН/м^3 ; d – глубина

заложения фундамента от дна водотока, м; γ_i – удельный вес грунта, i -го слоя.
 $\text{кН} / \text{м}^3$; h_i – толщина i -го слоя грунта;

Удельный вес водопроницаемых грунтов вводится в расчет с учетом взвешивающего действия воды.

3. Справа от оси симметрии строится эпюра дополнительных давлений (Рис.6).

Ординаты эпюры вычисляются по формуле:

$$\sigma_{zp} = \alpha(P_{cp} - \sigma_{zg0}), \text{ кПа},$$

где, P_{cp} – среднее давление на грунт по подошве фундамента; α – коэффициент распределения давления, учитывающий уменьшение давления с глубиной, определяется по таблице 5.8 [2, 7].

4. Нижнюю границу сжимаемой толщи основания принимают на глубине $z = H_c$, где выполняется условие $\sigma_{zp} = 0.2\sigma_{zg}$. Ниже этой границы деформации грунта не учитывают. Легче всего определить границу сжимаемой толщи графически.

5. Осадка фундамента вычисляется по формуле:

$$S = 0.8 \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zpi} h_i}{E_i},$$

где, σ_{zpi} – среднее значение дополнительного давления в пределах i -го слоя, кПа; h_i – толщина i -го слоя; E_i – модуль деформации i -го слоя, кПа; n – количество слоев в пределах сжимаемой толщи от подошвы фундамента до $z = H_c$.

Вычисления вносятся в табличную форму:

z_i , м	$\xi = \frac{2 \cdot z_i}{b}$	α_i	σ_{zqi} , кПа	σ_{zpi} , кПа	Среднее кПа	σ_{zpi} ,	E_i , кПа

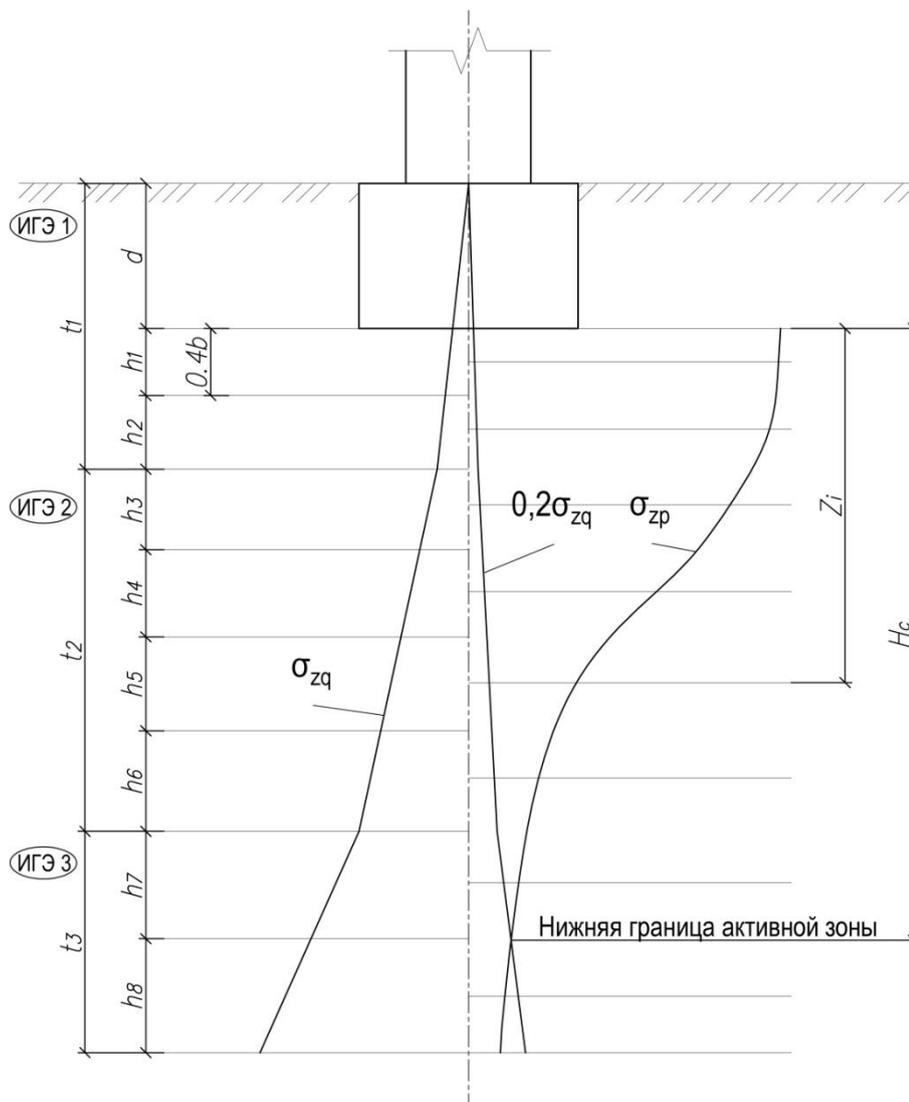


Рис. 6. Эпюры природного и дополнительного давления

Осадка основания фундамента получается суммированием величины осадки каждого слоя в пределах основания. Она не должна превышать предельно допустимой осадки сооружения данного типа, определяемой по формуле:

$$S_u = 1.5 \cdot \sqrt{l_p}$$

где S_u – предельно допустимая осадка, см; l_p – длина меньшего примыкающего к опоре пролёта, м.

Затем следует выполнить проверку условия: $S \leq S_u$

Дополнительно требуется найти интервал допустимых осадок смежных опор из условия неравномерности осадок:

$$S \leq S_u^{\text{лев}}, S \leq S_u^{\text{пр}},$$

где, $S_u^{\text{лев}}$, $S_u^{\text{пр}}$ – осадки левой и правой опор моста. Неравномерность осадок

определяется через формулу:

$$S_u = 0.75 \cdot \sqrt{l_p}, \text{ см.}$$

9.3. Расчет горизонтального смещения верха опоры

Крен прямоугольного фундамента вдоль его поперечной оси определяют по формуле для всех сочетаний нагрузок:

$$i_0 = \frac{1 - \nu^2}{E_{II} K_m} k_e \frac{M_{IIb}}{b^3},$$

где, ν – коэффициент Пуассона, принимаемый равным для песков и супесей – 0.30; для суглинков – 0.35 и глин – 0.42; E_{II} – модуль деформации грунта, основания для расчета по второй группе предельных состояний; M_{IIb} – опрокидывающий момент от нормативных нагрузок, определяемый по формуле (4); b – ширина подошвы фундамента; K_m – коэффициент принимаемый равным 1; k_e – коэффициент принимаемый в зависимости от отношения сторон подошвы фундамента по следующей форме:

Соотношение сторон Подошвы фундамента a_ϕ/b_ϕ	1.0	1.4	1.8	2.4	3.2	5.0
Коэффициент k_e	0.5	0.39	0.33	0.25	0.19	0.12

Для промежуточных значений a_ϕ/b_ϕ коэффициент k_e определяется по интерполяции.

Горизонтальное смещение верха опоры находится по формуле:

$$S_r = i_0 \cdot H_{опр}, \text{ см}$$

где $H_{опр}$ – расстояние от подошвы фундамента до верха опоры, см

$$H_{опр} = H_0 + h_\phi + h_{нф}, \text{ см}$$

Полученное смещение не должно превышать предельной величины

$$S_{np} = 0.5 \sqrt{l_p}$$

где l_p – длина меньшего примыкающего к опоре пролета, м, принимаемая в курсовой работе как указано выше.

Список литературы

1. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2013.
2. СП 22. 13330.2016 Основания зданий и сооружений. – М.: Минрегион России, 2017.
3. СП 35. 13330.2012 Мосты и трубы – М.: Минрегион России, 2013.
4. СП 45. 13330.2011 Земляные сооружения. Основания и фундаменты. Правила производства и приемки работ– М.: Минрегион России, 2011.
5. СП 131.13330.2012 Климатология – М.: Минрегион России, 2013.
6. Основания и фундаменты мостов: справочник/ Н.М. Глотов [и др.] – М. : Транспорт, 1990. – 239 с
7. Основания и фундаменты Часть 2. Основы геотехники. Учебник / Б.И. Далматов [и др.] Под. ред. Б.И. Далматова. – М.: Изд. АСВ СпбГАСУ, 2002. – 392с.
8. Костерин, Э.В.Основания и фундаменты. – М.: Высшая школа, 1990. – 432 с.
9. Мосты и сооружения на дорогах. / Под ред. Гибшмана Е.Е. – М.: Транспорт, 1972. – 198с.
10. Проектирование и сооружение фундаментов опор мостов и путепроводов" Учебное пособие / И.Г. Овчинников, А.А. Пискунов, В.А. Швецов, А.А. Шейн. – К.: Изд. КГАСУ, 2003. – 290с

Зиннуров Т.А., Майстренко И.Ю.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ
к практическим занятиям по дисциплине
«Опоры транспортных сооружений», направление подготовки **08.03.01**
«Строительство», профиль «Строительство автомобильных дорог,
аэродромов, объектов транспортной инфраструктуры»