

Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
Уральский государственный университет путей сообщения

**А. Н. Пестряков**

**РАСЧЕТ  
ШПUNTOBOTO OГPAЖДЕНИЯ**

Екатеринбург  
2010

Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
Уральский государственный университет путей сообщения  
Кафедра «Мосты и транспортные тоннели»

**А. Н. Пестряков**

**РАСЧЕТ  
ШПУНТОВОГО ОГРАЖДЕНИЯ**

Методические указания к курсовому проектированию  
по дисциплине «Строительство мостов»  
для студентов дневной формы обучения  
специальности 291100 – Мосты и транспортные тоннели

Екатеринбург  
2010

УДК 624.21.096

П 28

**Пестряков, А. Н.**

П 28 Расчет шпунтового ограждения : метод. указания / А. Н. Пестряков. – Екатеринбург : УрГУПС, 2010. – 24 с.

Методические указания предназначены для студентов специальности 291100– «Мосты и транспортные тоннели» при курсовом проектировании по дисциплине «Строительство мостов». Поясняется методика расчета шпунтового ограждения, даны справочные данные для курсового проектирования.

УДК 624.21.096

Указания рекомендованы к печати на заседании кафедры «Мосты и транспортные тоннели», протокол № 7 от 25.09.2009 г.

*Автор:* А. Н. Пестряков, доцент кафедры «Мосты и транспортные тоннели», канд. техн. наук, УрГУПС

*Рецензент:* Г. В. Десятых, зав. кафедрой «Мосты и транспортные тоннели», канд. техн. наук, УрГУПС

© Уральский государственный университет  
путей сообщения (УрГУПС), 2010

## Оглавление

1. Введение .....	6
2. Деревянное шпунтовое ограждение.....	8
3. Металлическое шпунтовое ограждение .....	11
4. Основные положения расчета .....	13
5. Порядок расчета шпунтового ограждения .....	14
Заключение.....	21
Литература.....	22
Приложение.....	23

## 1. Введение

Одним из основных элементов опоры моста является её фундамент. Различают два основных вида фундамента: на естественном основании и на сваях (забивных, буровых, винтовых и пр.). В большинстве случаев устройство фундамента невозможно без разработки котлована.

Согласно СНиП 12-03-99. Часть 9. «Земляные работы» [1] рытье котлованов и траншей с вертикальными стенками без креплений в нескальных и незамерзших грунтах выше уровня грунтовых вод и при отсутствии вблизи подземных сооружений допускают на глубину, приведенную в табл. 1.

Таблица 1

Допустимые глубины разработки котлованов без применения специальных креплений [1]

Породы грунта	Глубина, м
Насыпные, песчаные и крупнообломочные	1,0
Супеси	1,25
Суглинки, глины	1,5

При разработке котлованов на большую глубину необходимо предусмотреть устройство откосов. Крутизна допустимых откосов и глубина в котлованах без креплений в нескальных грунтах выше уровня грунтовых вод (с учетом капиллярного поднятия) или в грунтах, осушенных с помощью искусственного водопонижения, приведена в табл. 2.

Таблица 2

Крутизна откосов и глубина при разработке котлованов без креплений [2]

Виды грунтов	Заложение откосов при глубине котлована, м		
	1,5	3	5
Насыпные неуплотненные	1:0,67	1:1	1:1,25
Песчаные и гравийные	1:0,5	1:1	1:1
Супесь	1:0,25	1:0,67	1:0,85
Суглинок	1:0	1:0,5	1:0,75
Глина	1:0	1:0,25	1:0,5
Лессы и лессовидные	1:0	1:0,5	1:0,5

*Примечание:* при наличии различных видов грунта в сечении котлована крутизну откосов для всех пластов назначают по наиболее слабому виду грунта.

Однако чаще приходится выполнять земляные работы на значительно большей глубине. В данном случае применяют различного типа ограждающие конструкции. Часто используют ограждающие конструкции в виде закладного крепления, опускного железобетонного ящика, шпунтового ограждения в виде металлической (реже деревянной) стенки.



Рис. 1. Погружение шпунта вибропогружателем

В мостостроении шпунтовые ограждения довольно распространены (рис. 1). Котлованы в шпунтовом ограждении устраивают на открытых водотоках; на местности, не покрытой водой, в неустойчивых и водоносных грунтах и в стесненных условиях возведения опор вблизи действующих транспортных или других сооружений.

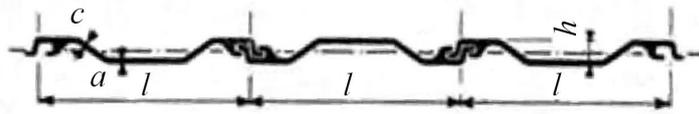
Первоначально использовалось в качестве материала для шпунтового ограждения дерево, в настоящее время применяется металл специального профиля, а ограждения из деревянного шпунта и до настоящего времени применяют при глубине погружения его в грунт до 4–6 м при отсутствии в грунте включений, препятствующих погружению шпунта.

Однако уже в XIX веке стальной шпунт становится инвентарным материалом строителей, который используется многократно, в результате чего металлический профиль практически полностью вытеснил из применения деревянный шпунт. Так, уже с 1910 года и до настоящего времени практически без изменений строители используют шпунт «Ларсен». Встречаются и другие конструкции шпунтовых свай (рис. 2).

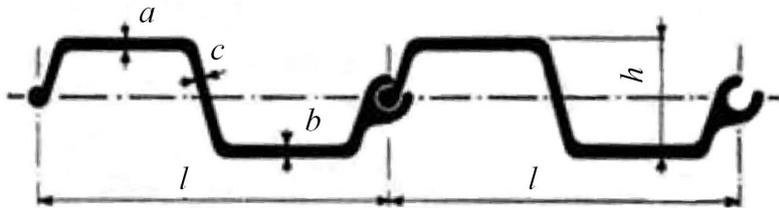
Разработки новых типов и конструкций шпунта продолжаются и в настоящее время [3], однако общие принципы расчета остаются неизменными.

**Die drei Typen**  
**SPUNDWANDEISEN**

Belval-O = B. O.



Rothe Erde = R. E.



Belval-Z = B. Z.

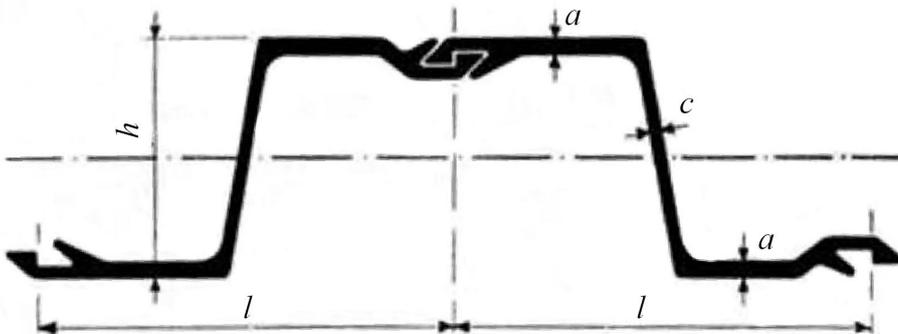


Рис. 2. Фрагмент инструкции 1936 г. о применении шпунта

## 2. Деревянное шпунтовое ограждение

Как уже отмечалось, ограждения из деревянного шпунта применяют с учетом двух условий: при глубине погружения его в грунт до 4–6 м; при отсутствии в грунте включений, препятствующих погружению шпунта.

Шпунт изготавливают из леса хвойных пород не ниже второго сорта. При

длине шпунта не более 3 м допускается применение шпунта из лиственных пород.

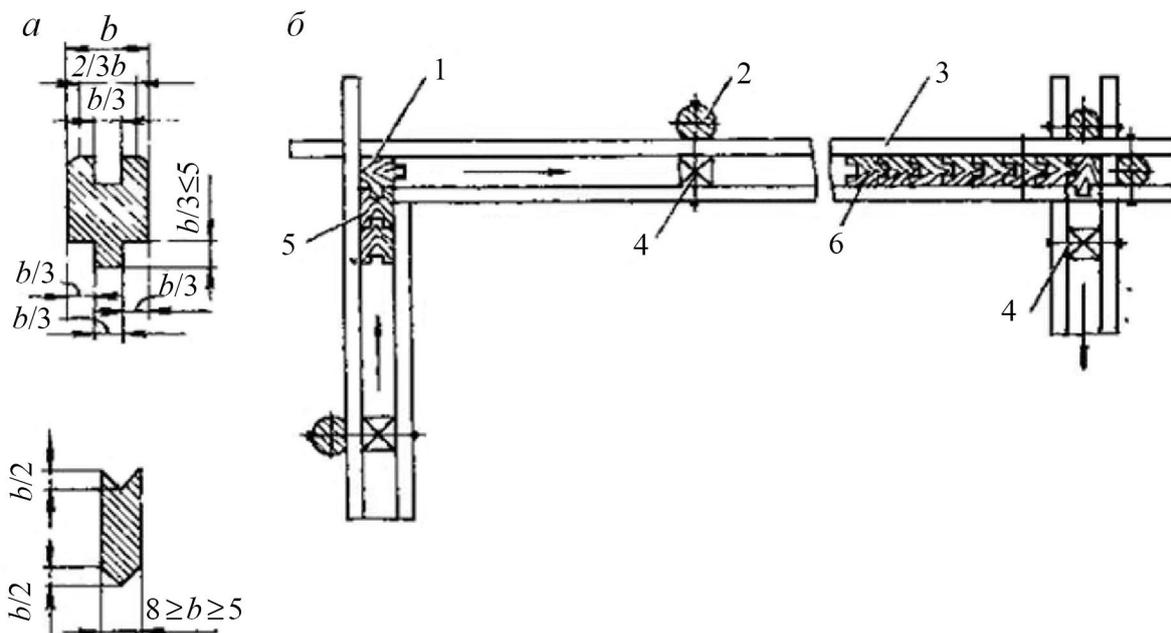


Рис. 3. Деревянные шпунтовые ограждения (стрелкой показано направление забивки):  
*a* – поперечное сечение шпунта; *б* – схема направляющих для забивки ограждений:  
 1 – угловая (шпунтовая) свая; 2 – маячные сваи; 3 – направляющие для забивки шпунта;  
 4 – временные деревянные прокладки; 5 – замыкающая шпунтовая свая;  
 б – шпунтовые сваи

Пиленый лес хвойных пород должен отвечать требованиям ГОСТ 8486-66, круглый – ГОСТ 9463-72.

Рекомендуемые соотношения поперечных размеров для разных типов деревянного шпунта приведены на рис. 3, *a*. Наилучшая форма гребня и паза шпунта – прямоугольная. Гребень треугольной формы применяют при толщине шпунта не более 8 см.

Для удобства погружения деревянный шпунт сплачивают в пакеты из двух-трех шпунтин, скрепляемых скобами через 100–150 см, а по концам – через 50 см (рис. 4). Скобы ( $\varnothing=14-16$  мм) забивают в шпунт под углом  $45^\circ$  попеременно в противоположных направлениях.

Головы шпунтин срезают перпендикулярно их продольной оси и объединяют бугелем прямоугольной формы, а концы заостряют на правильный клин длиной от одной (для тяжелых грунтов) до трех (для легких грунтов) толщин шпунта. Грань клина заострения со стороны гребня скашивают для обеспечения плотного прижатия забиваемого пакета к ранее забитому. Забивку шпунта всегда ведут гребнем вперед.

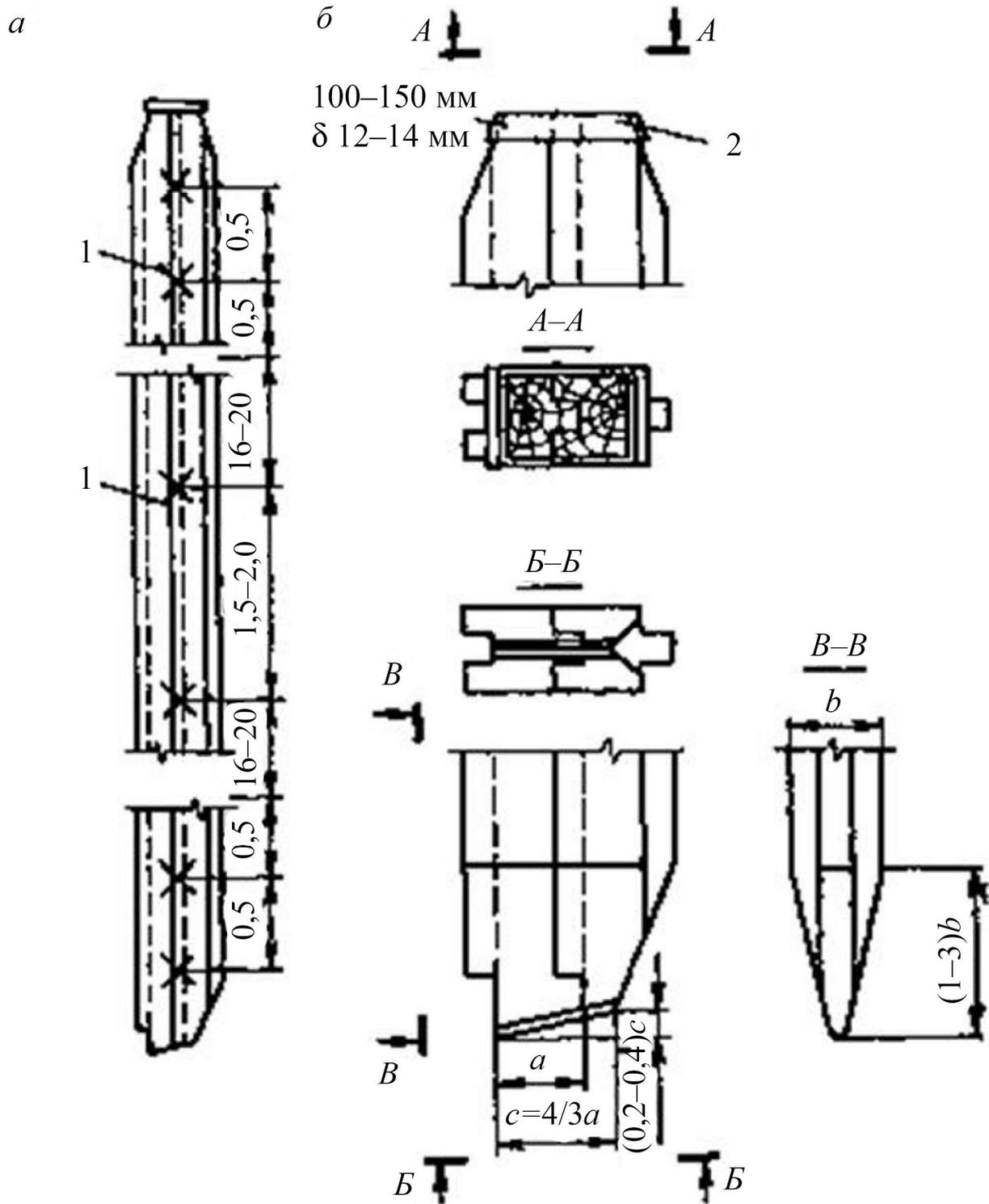


Рис. 4 Конструкция пакетной шпунтины:  
 а – пакет из двух шпунтин; б – обработка головы и заострение низа пакета:  
 1 – скобы; 2 – бугель

Направляющие для забивки шпунта рекомендуется прикреплять к маяч-

ным сваям, размещаемым снаружи шпунтовой стенки, через 2–3 м по ее длине и к одной из угловых шпунтовых свай, забиваемой одновременно с маячными (рис. 2, б). Остальные угловые шпунтовые сваи погружают по ходу забивки ограждения.

Внутренние направляющие прикрепляют к маячным сваям через деревянные прокладки, удаляемые по мере забивки шпунта. Перед снятием прокладки направляющие прикрепляют к ближайшей забитой шпунтовой свае.

### 3. Металлическое шпунтовое ограждение

Ограждения из металлического шпунта (рис. 5) применяют при глубине погружения в грунт более 6 м, а также при меньших глубинах в плотных глинистых или гравелистых грунтах или при глубине воды в реке более 3 м. Шпунт следует рассматривать как инвентарь и извлекать для повторного использования.

Для ограждения котлованов мостовых опор используют главным образом шпунт корытного профиля (ШК-1, ШК-2, Ларсен IV и Ларсен V).

Шпунт плоского профиля (ШП-1 и ШП-2) применяют преимущественно для образования цилиндрических стенок ограждения искусственных островков.

На заводах шпунт изготавливают длиной от 8 до 22 м. При необходимости шпунтовую сваю наращивают с перекрытием стыка накладками длиной не менее 600 мм. Стык накладки со свайей выполняется сварными, клепаными или болтовыми соединениями. Стыки шпунтин выполняются в соответствии с требованиями проекта по условию обеспечения непроницаемости и равнопрочности стыка основному сечению шпунтины. Стыкуемые отрезки шпунтин следует соединять строго соосно с плотным контактом торцевых поверхностей между собой по всей площади поперечного сечения. Совпадение замков наращиваемых шпунтин обеспечивают предварительной сборкой стыка с временным закреплением в их замках отрезков шпунтин длиной 3–4 м. Количество стыков в одной шпунтине должно быть не более двух, а расстояние между стыками не должно быть менее 3 м.

Перед погружением шпунтовой сваи проверяют правильность и прямолинейность замков, для чего протаскивают по ним шаблон из обрезка шпунта длиной 2 м. Концы шпунтин обрезают строго перпендикулярно к их продольной оси. Одновременно производится выправление небольших изгибов шпунта и вмятин замков. Вырезка дефектных мест замков разрешается на длине не более 50 см и не более одного выреза на шпунтину с последующей приваркой на этом участке качественного отрезка замка.

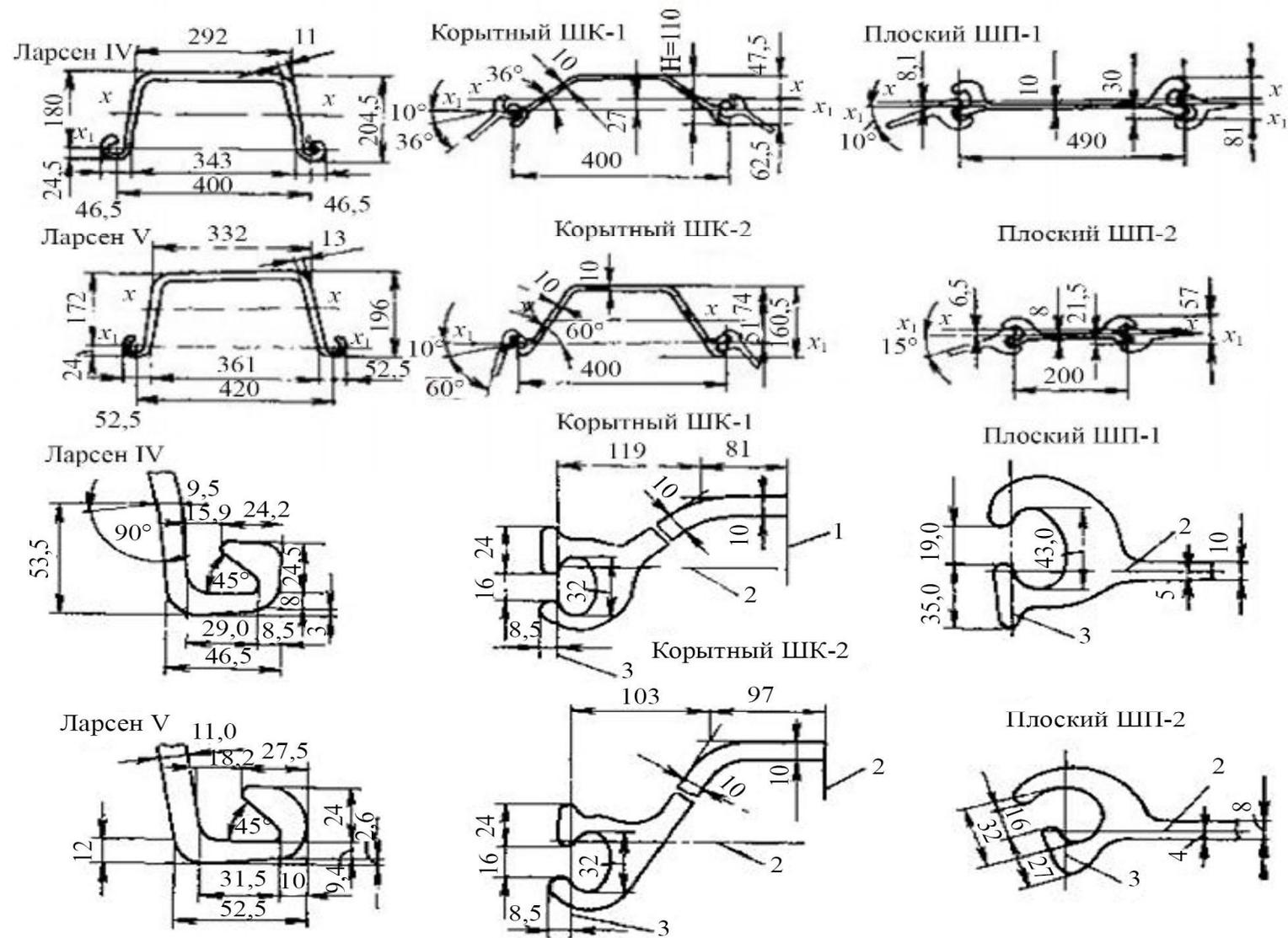


Рис. 5. Профили и детали замков металлических шпунтин: 1 – ось симметрии; 2 – ось шпунтовой стенки; 3 – ось сопряжения

При погружении металлического шпунта маячные сваи располагают вне линии шпунтовой стенки, а расстояние между схватками фиксируют временными прокладками, устанавливаемыми на расстоянии 1,0–1,5 м (рис. 6). Низ паза замка шпунтины, переднего по ходу забивки, закрывают стальной пробкой для предохранения от заполнения его грунтом. Для облегчения погружения и последующего извлечения шпунта его замки рекомендуется смазывать солидолом. При погружении стального шпунта молотами одиночного действия головы шпунтин защищают специальными наголовниками.

Для погружения в грунт стального шпунта рекомендуются следующие вибропогружатели:

- ВП-1 и ВПП-2 – для погружения шпунтин массой до 1,5 т на глубину 12–15 м в водонасыщенные песчаные грунты и на глубину до 10 м слабопластичные глины,

- вибромолот С-467 – то же на глубины 18 и 12 м соответственно,

- вибромолот ЦНИИС ВМ-7 – для погружения шпунтин массой до 1 т в песчаные и илистые грунты на глубину до 12 м.

Глубина погружения шпунта в грунт определяется из условий устойчивости шпунтовой стенки против ее опрокидывания; устойчивости грунта против выпора в котлован при водоотливе. Во всех случаях величина погружения шпунта ниже дна котлована должна быть не менее 1 м в связных, крупнопесчаных и гравелистых грунтах и не менее 2 м в мелкопесчаных и плывунных грунтах.

Верх шпунтового ограждения должен быть на 0,2–0,4 м выше уровня грунтовых вод и не менее чем на 0,7 м выше рабочего уровня воды в реке. За рабочий горизонт воды принимают возможный уровень десятилетней повторяемости, определяемый по гидрогеологическим данным за период производства работ в котловане.

При сооружении фундамента опоры с наклонными сваями низ шпунта должен отстоять по горизонтали от наклонных свай не менее чем на 0,5 м в свету.

Для ограждений, сооружаемых с поверхности грунта, рекомендуется предварительно частично разработать котлован без ограждения. Ширина бермы между подошвой откоса открытого котлована и шпунтовой стенкой должна быть достаточной для расположения применяемых механизмов и устройств.

Шпунтовые ограждения отличаются типом креплений и формой ограждения в плане. Конструкция ограждений без креплений в виде свободно стоящей стенки целесообразна только для неглубоких котлованов.

В ограждениях с внутренними распорными креплениями количество ярусов креплений назначается по условиям прочности шпунта и его устойчивости. При размещении ярусов необходимо исходить из условий наилучшего использования материала шпунта. Элементы креплений должны быть удобны для их монтажа.

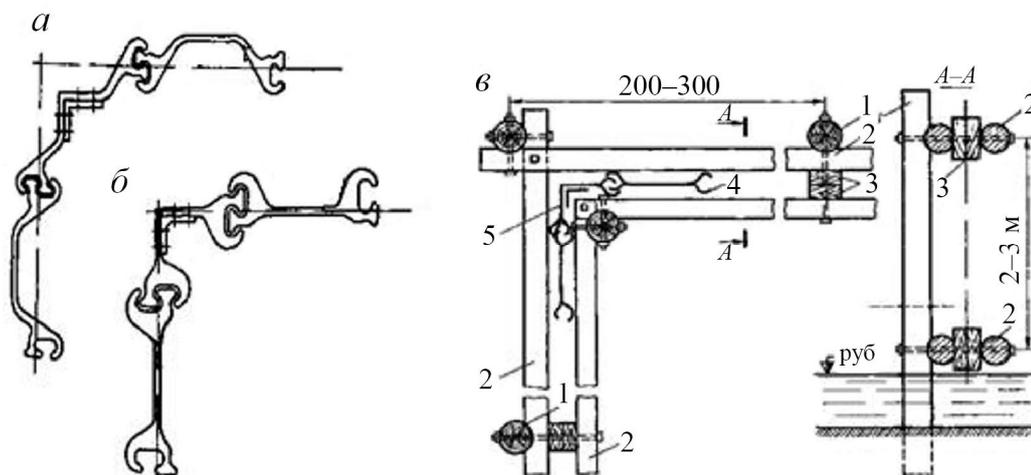


Рис. 6. Конструкция стыков шпунтин и направляющих для забивки шпунта: *a* – стык шпунтин типа ШК; *б* – стык шпунтин типа ШП; *в* – направляющие для забивки шпунта; 1 – маячная свая; 2 – горизонтальные схватки; 3 – коротыши; 4, 5 – стальной шпунт

Ограждения прямоугольного очертания должны раскрепляться горизонтальными поясами (обвязками) по внутреннему контуру котлована и системой поперечных распорок и угловых подкосов (рис. 7). Верхний ярус креплений рекомендуется использовать как направляющий для забивки шпунта. Расстояние между распорками креплений назначают с учетом способа разработки котлована и вида применяемых механизмов.

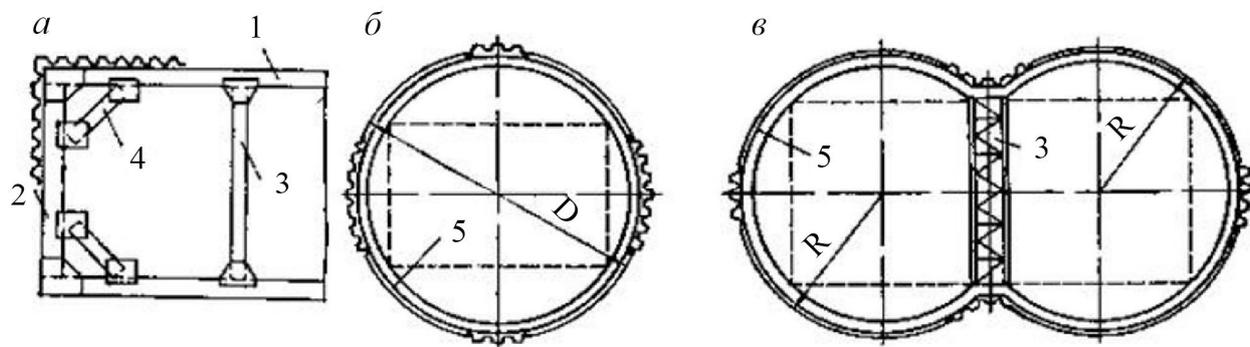


Рис. 7. Схемы распорных креплений:  
*a* – прямоугольное ограждение; *б* – кольцевое; *в* – двухкольцевое;  
 1 – продольная обвязка; 2 – поперечная обвязка; 3 – распорка; 4 – подкос;  
 5 – кольцевая обвязка

В ограждениях, сооружаемых на открытых водотоках, ярусы креплений в пределах глубины воды следует, как правило, объединять в пространственный каркас связями, соединяющими распорки и обвязку смежных ярусов. Каркас в собранном виде доставляется на плашкоутах к опоре, устанавливается в проектное положение и закрепляется на маячных сваях (рис. 8).

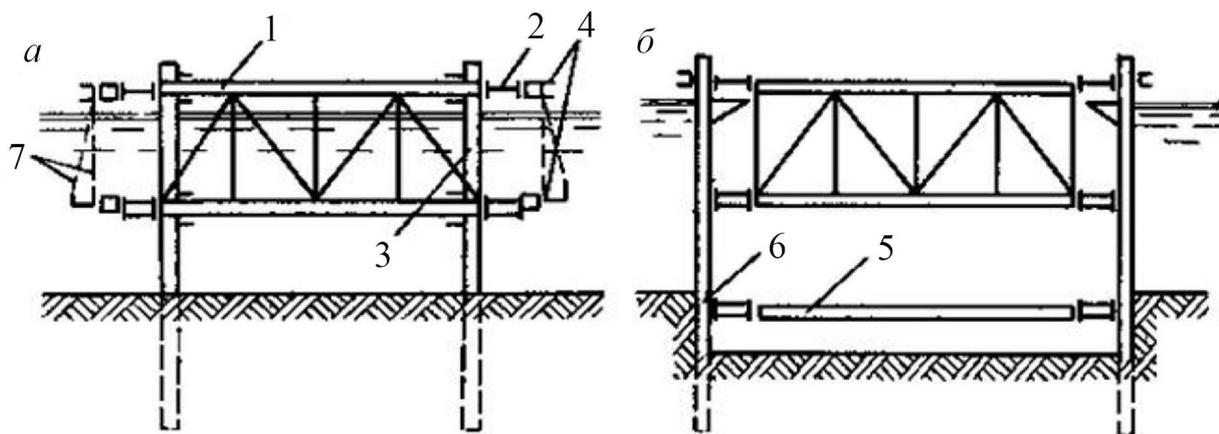


Рис. 8. Схема шпунтового ограждения с верхними ярусами креплений, объединенными в каркас: *а* – установка каркаса; *б* – общий вид ограждения; 1 – каркас; 2 – обвязка; 3 – маячная свая; 4 – наружная направляющая; 5 – нижний ярус креплений, устанавливаемый по месту при разработке грунта в котловане; 6 – шпунт; 7 – тяжи, поддерживающие нижнюю направляющую

#### 4. Основные положения расчета

Методика расчета шпунтовых ограждений разработана исходя из следующих основных положений:

1. Шпунтовые стенки приняты абсолютно жесткими.
2. Давления грунта на стены приняты по теории Кулона с плоской поверхностью обрушения.
3. Активное давление грунта условно принято действующим независимо от наличия или отсутствия грунта с противоположной стороны.
4. Расчет производится на 1 погонный метр ограждения шпунтового котлована.

Для расчета шпунтовых ограждений необходимо иметь геологический разрез в месте сооружения опоры; физико-механические характеристики грунтовых напластований (угол внутреннего трения грунта, объемную массу грунта, коэффициент пористости грунта, сцепление грунта), гидрогеологические данные расчетных уровней воды, графики колебаний горизонтов воды за последний десятилетний период, скорости течения и ледовые условия; сведения о судоходстве; данные об оборудовании и транспортных средствах, которые будут находиться в пределах призмы обрушения грунта и на ограждении при сооружении фундамента опоры.

Размер шпунтового ограждения в плане принимаем таким, чтобы между внутренней конструкцией ограждения и внешней конструкцией опоры (опалубки, арматурного каркаса и пр.) был зазор как минимум 50 см.

Таблица 3

Средние физико-механические характеристики грунтов  
(с – в кгс/см<sup>2</sup>, φ – в град)

Грунты		Характеристики грунтов	Характеристика грунтов при коэффициенте пористости- ε											
			0,41-0,5		0,51-0,6		0,61-0,78		0,71-0,8		0,81-0,95		0,96-1,1	
			Нормативные	Расчетные	Нормативные	Расчетные	Нормативные	Расчетные	Нормативные	Расчетные	Нормативные	Расчетные	Нормативные	Расчетные
песчаные	гравелистые и крупные	с	0,02	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		φ	43	41	40	38	38	36	-	-	-	-	-	-
	средней крупности	с	0,03	-	0,02	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-
		φ	40	38	38	36	35	33	-	-	-	-	-	-
	мелкие	с	0,06	0,01	0,04	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-
		φ	38	36	36	34	32	30	28	26	-	-	-	-
пылеватые	с	0,08	0,02	0,06	0,01	0,04	-	0,02	-	-	-	-	-	
	φ	36	34	34	32	30	28	36	24	-	-	-	-	
глинистые при влажности на границе полосы раскатывания, %	9,5–12,4	с	0,12	0,03	0,08	0,01	0,06	-	-	-	-	-	-	
		φ	25	23	24	22	23	21	-	-	-	-	-	
	12,5–15,4	с	0,42	0,14	0,21	0,07	0,14	0,04	0,07	0,02	-	-	-	
		φ	24	22	23	21	22	20	21	19	-	-	-	
	15,5–18,4	с	-	-	0,50	0,19	0,25	0,11	0,19	0,08	0,11	0,04	0,08	0,02
		φ	-	-	22	20	21	19	20	18	19	17	18	16
	18,5–22,4	с	-	-	-	-	0,68	0,28	0,34	0,19	0,28	0,10	0,19	0,06
		φ	-	-	-	-	20	18	19	17	18	16	17	15
	22,5–26,4	с	-	-	-	-	-	-	0,82	0,35	0,41	0,25	0,36	0,12
		φ	-	-	-	-	-	-	18	16	17	15	16	14
	26,5–30,4	с	-	-	-	-	-	-	-	-	0,94	0,40	0,47	0,22
		φ	-	-	-	-	-	-	-	-	16	14	15	13

Расчет шпунтовой стенки заключается в определении:

- величины заглубления шпунта ниже уровня дна котлована;
- подбора сечения шпунта с целью предотвращения его деформации;
- определение необходимой длины шпунта.

### 5. Порядок расчета шпунтового ограждения

Как уже отмечалось ранее, шпунтовая стенка может выполняться как со свободностоящими стенками, так и с одним или более рядами креплений. На рис. 9 приведены две из множества возможных расчетных схем шпунтового ограждения. В первом случае шпунтовое ограждение установлено с одним ярусом распорного крепления в зоне, покрытой водой, во втором случае шпунтовое ограждение выполнено по схеме свободностоящей стенки на сухом месте с

нагрузкой, находящейся непосредственно у стенки сооружения.

В пределах курсового проекта рассмотрим расчет свободностоящей стенки, оговаривая возможные допущения при других расчетах.

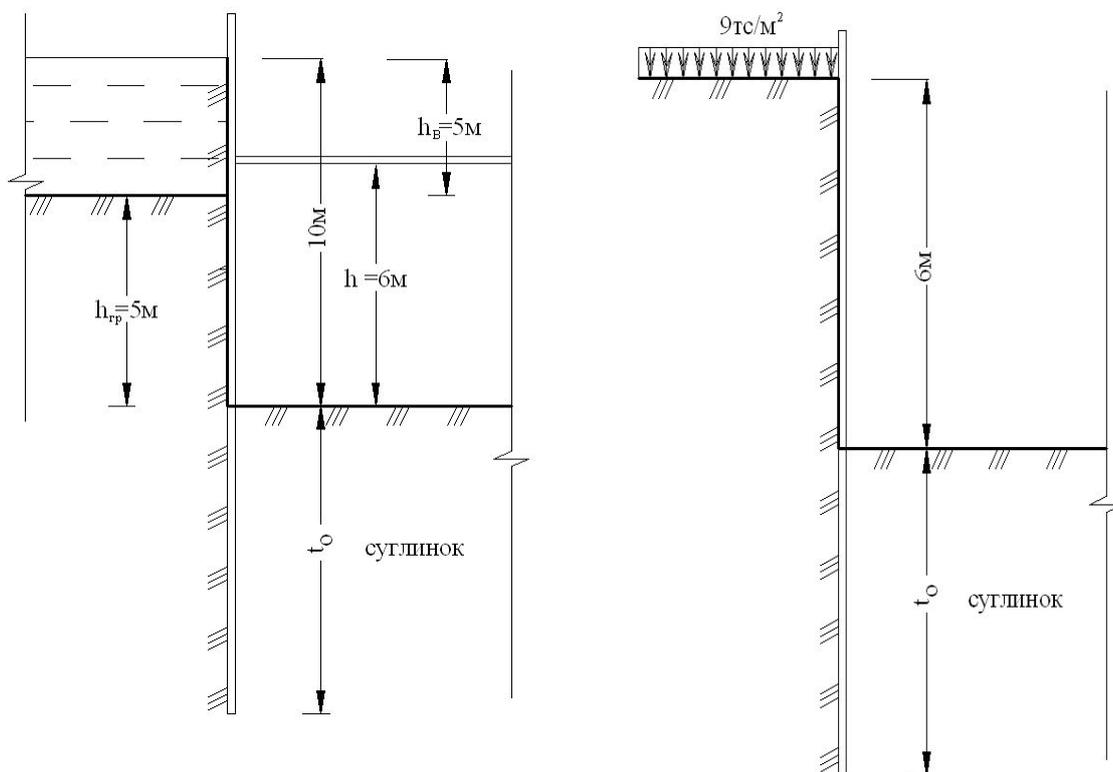


Рис. 9. Варианты расчетных схем шпунтового ограждения

Задание глубины погружения шпунта выполняют путем сравнения следующих значений: нормативной глубины и глубины, обеспечивающей устойчивость стенки котлована. Для несвязных грунтов добавляют третью величину – глубину, полученную при проверке на выпучивание дна котлована. В качестве результата расчета принимают максимальную величину заглубления шпунта.

Минимальную нормативную глубину погружения для глинистых, суглинистых, супесчаных, мелкопесчаных грунтов принимают равной 2 м. Для остальных грунтов минимальное нормативное заглубление равно 1 м.

Расчет на устойчивость шпунтовой стенки сводим к сравнению опрокидывающего ( $M_{\text{опр}}$ ) и удерживающего моментов ( $M_{\text{уд}}$ ).

$$M_{\text{опр}} \leq m M_{\text{уд}},$$

где  $m$  – коэффициент условий работы, зависящий от угла внутреннего трения и коэффициентов:

$$\mu_{\text{гр}} = \frac{h_{\text{гр}}}{H}; m_{\text{в}} = \frac{h_{\text{в}}}{H},$$

где  $H$  – глубина котлована,  $h_{\text{гр}}$  и  $h_{\text{в}}$  – расстояние от дна котлована до уровня грунта (на открытых водотоках) или грунтовой воды (на местности, не покрытой водой) снаружи котлована. Коэффициент условий работы  $m$  в общем случае (для конструкции свободно стоящий стенок без применения распорок) равен 0,95. В остальных случаях он принимается по табл. 4 и рис. 10 и 11.

Таблица 4

**Коэффициенты условий работы  $m$  шпунтовых ограждений при расчете на устойчивость**

Гидрогеологические условия и тип ограждения		Коэффициент $m$
Несвязные грунты при отсутствии водоупора ниже острия шпунта	При полной откачке воды из котлована: на открытых водотоках на местности, не покрытой водой	по рис. 10 по рис. 11
	При частичной откачке воды из котлована на глубину (от расчетного горизонта воды) на открытых водотоках не более $0,25H$ на местности, не покрытой водой не более $0,25 h_B$	0,95 1,0
Несвязные грунты при погружении острия шпунта в водоупор		0,95
Свободно стоящая стенка с подводным тампонажным бетоном		0,95
Связные грунты		0,95

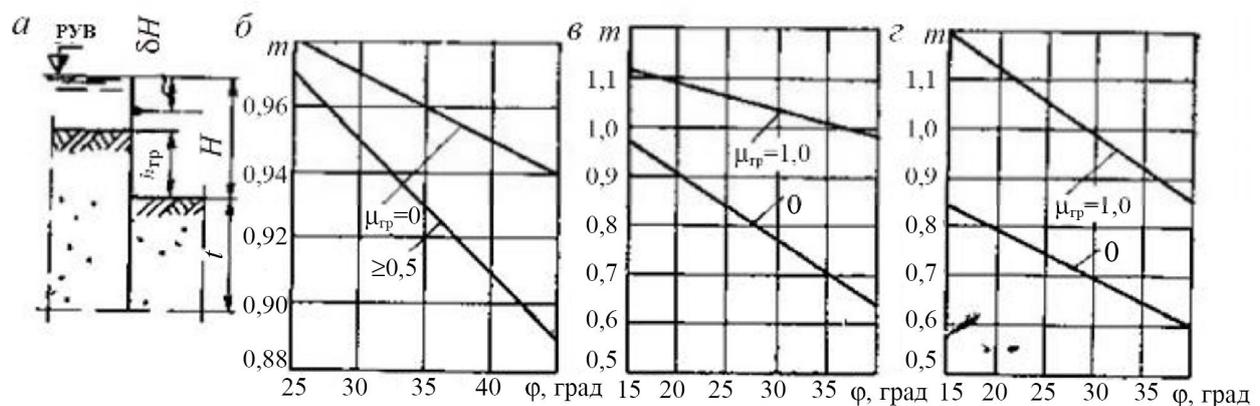


Рис. 10. Графики значений коэффициентов условий работы  $m$  шпунтовых ограждений на отбывших водотоках:  $a$  – гидрогеологические условия;  $b$  – свободно стоящая стенка;  $v$  – стенка с одним ярусом креплений;  $z$  – стенка с многоярусными креплениями

Опрокидывающий момент складывается из момента, образованного гидростатическим давлением, момента от нагрузки, находящейся на призме обрушения, и активного давления грунта. Удерживающий момент образовывается пассивным давлением грунта.

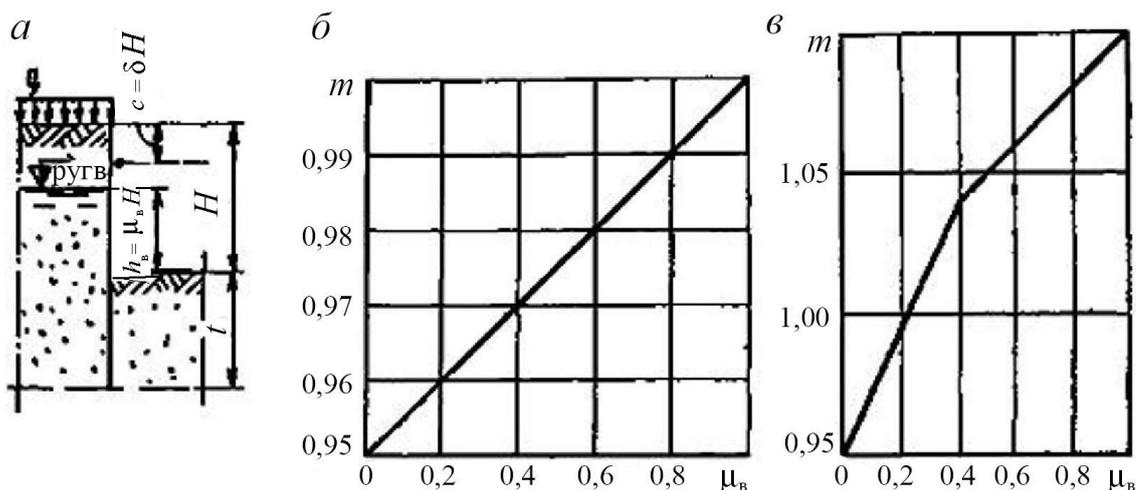


Рис. 11. Графики значений коэффициентов условий работы  $m$  шпунтовых ограждений на местности, не покрытой водой:  
 а – гидрогеологические условия; б – свободно стоящая стенка; в – стенка с одним и более ярусом креплений

Гидростатическое давление на стенку в несвязных грунтах принимаем изменяющимся по линейной зависимости в пределах свободного напора, а ниже уровня грунтовых вод – постоянным и равным напору (рис. 12). Объемную массу воды ( $\gamma_v$ ) принимаем равной  $1 \text{ т/м}^3$ .

Глубина воздействия гидростатического давления в пределах связного грунта принимается равной (рис. 12):

- для свободно стоящих стенок глубине  $0,8(t_0+t_{гп})$  от поверхности связного грунта;
- для стенок с одним ярусом креплений глубине  $0,5$  от дна котлована;
- для стенок с многоярусными креплениями глубине  $a = 0,5 b$ , но не выше уровня грунта в котловане при установке первого яруса креплений в пределах связного грунта ( $b$  – расстояние от связного грунта до первого яруса крепления, расположенного выше связного грунта).

При средней скорости течения воды  $v \geq 2 \text{ м/с}$  учитываем повышение расчетного горизонта воды на величину

$$\Delta h = \frac{v^2}{2g},$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести ( $9,81 \text{ м/с}^2$ ).

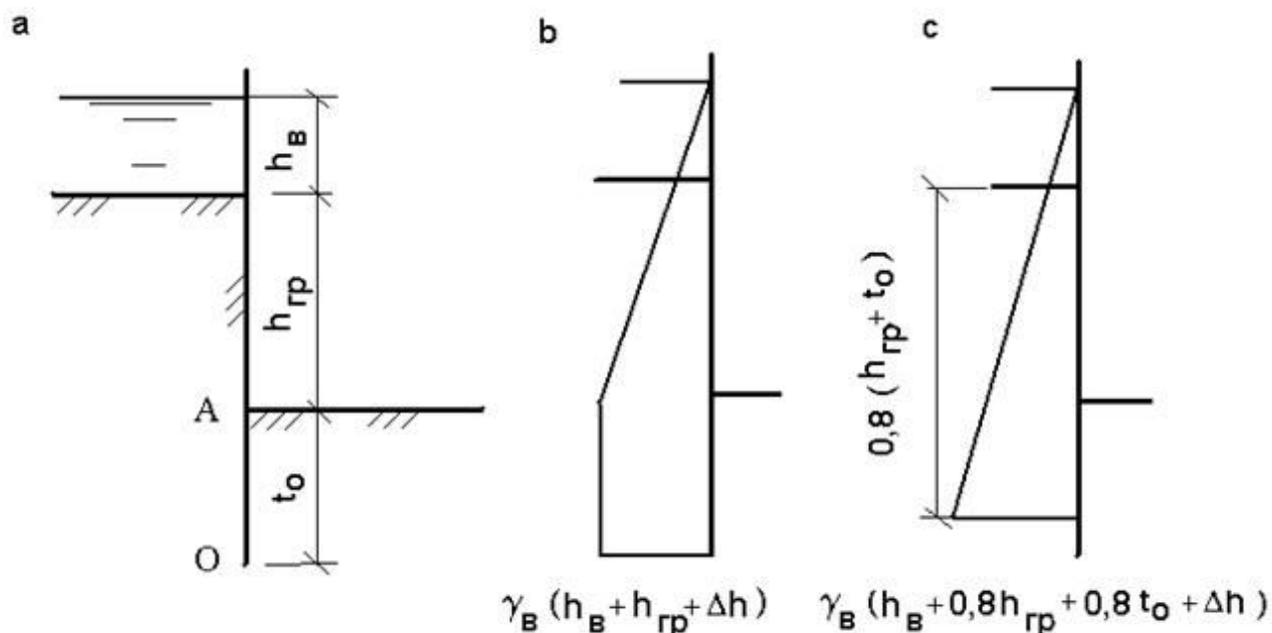


Рис. 12. Гидростатическое давление воды:

*a* – расчетная схема, *b* – эпюра в несвязных грунтах, *c* – эпюра в связных грунтах

Активное давление грунта (рис. 13) от собственного веса изменяется по линейной зависимости от глубины

где  $\bullet_a$  – коэффициент активного давления равный:

$$\bullet_a = tg^2(45^\circ - 0,5\varphi),$$

здесь  $\varphi$  – угол внутреннего трения,  $h$  – глубина заглубления:

$$h = h_{гр} + t_0.$$

Если грунт несвязный и работает в подтопленной зоне или имеются подземные водотоки, то объемную массу  $\gamma$  несвязного грунта, расположенного ниже горизонта грунтовых или поверхностных вод, определяют с учетом взвешивающего действия воды по формуле

$$g_{взв} = \frac{g_0 - 1}{1 + \varepsilon},$$

где  $\gamma_0$  – плотность скелета грунта, принимается равной 2,7– 2,8 т/м<sup>3</sup>;

$\varepsilon$  – коэффициент пористости грунта.

В остальных случаях принимаем объемную массу естественного грунта. Если в пределах расчетной высоты находятся разнородные грунты, для которых разница величин объемной массы, угла внутреннего трения и сцепления не превосходит 20 %, допускается рассматривать грунт как однородный со средневзвешенными значениями характеристик

$$\gamma_{cp} = \frac{e \gamma_i h_i}{e h_i}, \quad j_{cp} = \frac{e j_i h_i}{e h_i}, \quad c_{cp} = \frac{e c_i h_i}{e h_i}.$$

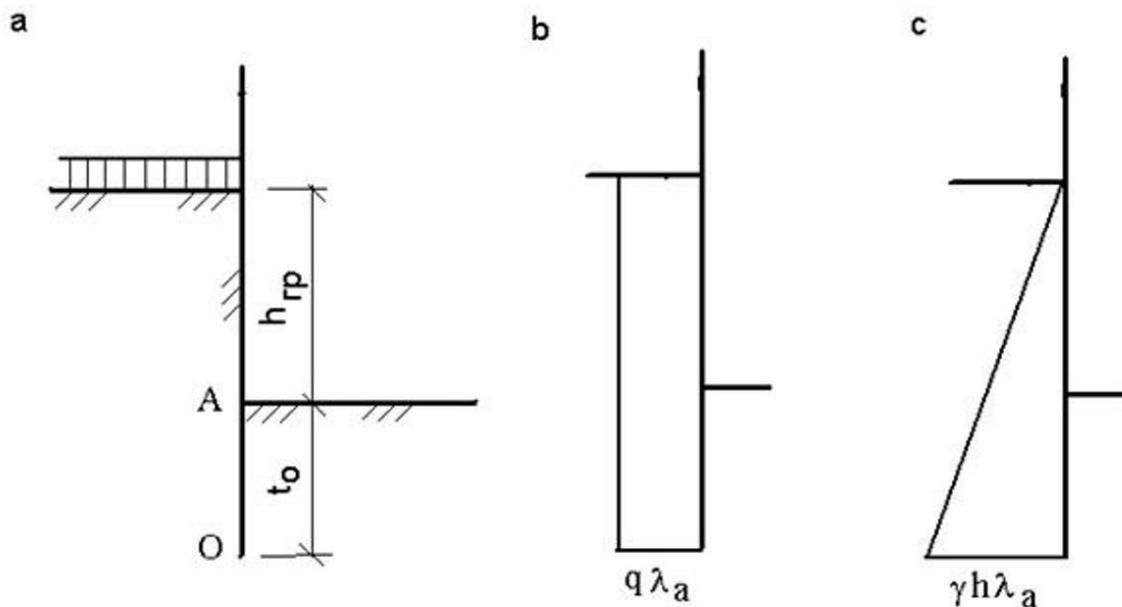


Рис. 13. Активное давление:

*a* – расчетная схема, *b* – эпюра от нагрузки на поверхности, *c* – эпюра от грунта

Давление от нагрузки на поверхности вблизи призмы обрушения

$$P_q = q \bullet \lambda_a.$$

$Q$  – распределенная нагрузка на поверхности. В случае отсутствия сосредоточенной нагрузки принимаем нагрузку  $q = 50 \text{ кг/м}^2$ .

Расчетные значения физико-механических характеристик грунтов (угол внутреннего трения  $\phi$ , объемная масса  $\gamma$ , сцепление  $c$  и др.) принимаются на основании данных инженерно-геологических изысканий с учетом природного состояния грунта. Ориентировочные значения  $\phi$  и  $c$  можно принять из табл. 3. Объемная масса  $\gamma$  – это масса единицы объема породы при естественной влажности и пористости. Объемная масса влажной породы зависит от количества содержащейся в ней воды и пористости, т. е. она определяется каждый раз фактически для этого случая. При упрощенных расчетах можно брать: для песчаных грунтов в природном состоянии 1,6–1,7 т/м<sup>3</sup>, глинистых – 1,7– 2 т/м<sup>3</sup>, скальных – до 2,5 т/м<sup>3</sup>.

Удерживающее давление называется пассивным (рис. 14). Оно складывается из давления установленного в котловане оборудования (в случае отсутствия сосредоточенной нагрузки принимаем нагрузку  $q = 50 \text{ кг/м}^2$ ) и пассивного отпора грунта, сопротивляющегося изменению его положения.

Давление от нагрузки рассчитываем по формуле

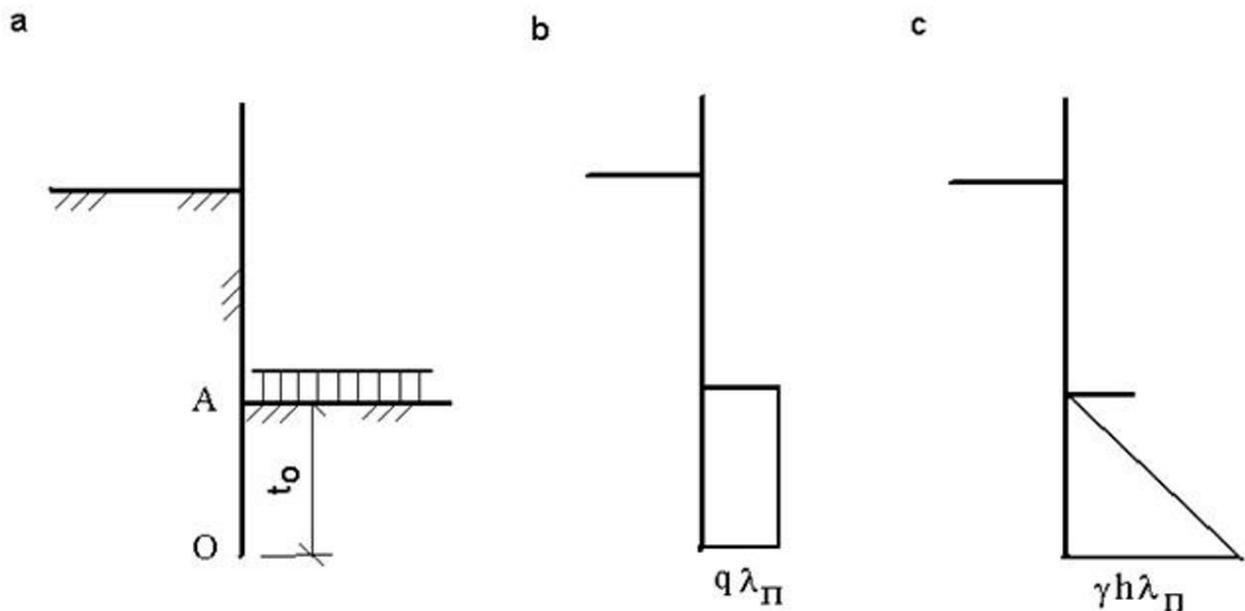


Рис. 14. Пассивное давление:  
*a* – расчетная схема, *b* – эпюра от нагрузки на поверхности, *c* – эпюра от грунта

Пассивное давление грунта равно

здесь  $\lambda_{\text{п}}$  – коэффициент пассивного давления равный:

$$\lambda_{\text{п}} = \operatorname{tg}^2(45^\circ + 0,5\varphi).$$

Получив значения как активных (опрокидывающих), так и пассивных (удерживающих) усилий, составляем уравнение моментов относительно точки О. Решаем данное уравнение равновесия с одним неизвестным ( $t_0$ ).

Достаточность заглубления шпунта в несвязные грунты должна проверяться на устойчивость грунта от отпора его в котлован при водоотливе по формуле

$$t_{\min} = \frac{h_{\text{в}}}{m_1 \varphi \gamma_{\text{взв}}},$$

где  $h_{\text{в}}$  – напор воды в котловане (на открытых водотоках  $h_{\text{в}} = H$ ),  $\gamma_{\text{взв}}$  – объемная масса взвешенного грунта;  $m_1$  – коэффициент условий работы, принимаемый равным:

- 0,7 – для гравелистого грунта и крупнозернистого песка;
- 0,5 – для среднезернистого песка;
- 0,4 – для пылеватого песка и супеси.

Сравниваем полученные значения заглубления шпунта ниже дна котлована и принимаем максимальное значение.

При втором этапе расчета мы должны подобрать прочность шпунта, для чего изменяем расчетную схему. Заменяем реальную конструкцию консольной балкой, длиной равной  $h+t_0/2$ , на которую действуют только активные силы (гидростатическое давление, активное давление грунта и давление от внешней нагрузки на призме обрушения).

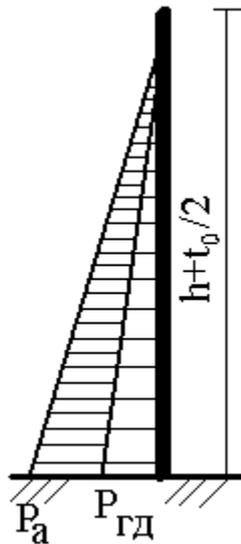


Рис. 15. Расчетная схема при расчете на прочность

Зная, что  $\frac{M}{m_1 W_x} J_{s_m} = 2100 \text{ кг/см}^2$ .

С учетом коэффициента запаса прочности  $m_1$ , равному 0,7 – при устройстве котлована без распорок и 0,8 – при наличии распорок, определяем момент сопротивления. Обращаем внимание, что сбор нагрузок у нас осуществлялся для 1 пм ограждения, следовательно, момент сопротивления ( $W$ ) необходимо также использовать для 1 погонного метра, а не для единичной шпунтовой сваи.

Подбираем для данной конструкции необходимую марку шпунта по приложению.

Заключительной стадией расчета является определение необходимой длины шпунтовых свай. Длина вычисляется по следующей формуле:

$$L = h_b + h_{гр} + \Delta h + t_0 + a.$$

В данном случае единственной неизвестной величиной является коэффициент –  $a$ . Он характеризует возвышение верхней части шпунта над поверхностью и принимается равным 0,3 м при отсутствии поверхностных вод и 0,7 – при их наличии.  $L$  – минимальная длина шпунтовой сваи, подбираемая согласно приложению.

## Заключение

В данной работе в рамках курсового проекта мы рассмотрели только один способ решения задачи расчета шпунтового ограждения. При применении в устройстве котлована одного или более ряда распорок методика расчета не

меняется, только уравнения из статически определимых становятся статически неопределимыми, для их решения требуется более сложный алгоритм, изучаемый в пределах курса строительной механики.

## Литература

1. *СНиП 12-03-99*. Часть 9. Земляные работы.
2. *Колоколов Н. М., Вейнблат Б. М.* Строительство мостов: учеб. – М.: Транспорт, 1984. – 504 с.
3. <http://www.simbexpert.ru/?snips/snip/51928/>
4. *ВСН 136-78*. Указания по проектированию вспомогательных сооружений и устройств для строительства мостов.

Характеристики шпунтовых профилей

Типы шпунтовых свай	ГОСТ, ТУ на шпунтовые профили	Расчетная ширина – расстояние по осям замков	Высота профиля Н, мм	Расчетная высота (толщина) шпунтовой стенки Н <sub>р</sub> , мм	Толщина стенки профиля δ, мм	Площадь сечения шпунтовой сваи А, см <sup>2</sup>	Масса 1 м профиля, кг	Длина шпунтовой сваи L, м	Справочные данные прокатного профиля и шпунтовой стенки относительно оси X-X			
									Момент инерции I <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>		Момент сопротивления W <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	
									Шпунтового профиля	Стенки длиной 1м	Шпунтового профиля	Стенки длиной 1м
ШП-1 (плоский)	ГОСТ 4781 – 85	400	81	-	10	82	64	8 – 22	332	830	73	182,5
ШП-1 (плоский)	–, –	400	110	150	10	64	50	8 – 22	730	1825	114	285
Л-4 (Ларсен)	ТУ 14-2-879-89	400	204	360	14,8	94,26	74	5 – 22	4131	39600	405	2200
Л-5 (Ларсен)	–, –	420	196	344	21	127,4	100	5 – 22	4518	50946	461	2962
Л-7 (Ларсен)	–, –	425	236	442	23	183,8	144,3	5 – 22	7045	110721	597	5010
ШПЗ-51 (зетовый)	ТУ 35-1772-86	500	510	510	12	182,1	143	12, 15, 18, 21, 24	84200	168100	3300	6600
ШПЗ-55 (зетовый)	–, –	500	550	550	12	188	147	12, 15, 18, 21, 24	98000	196000	3557	7114
ШПЗ-62 (зетовый)	–, –	500	620	620	12	195,3	153,4	12, 15, 18, 21, 24	127500	255000	4141	8282
ШПЗ-67 (зетовый)	–, –	500	670	670	12	201,3	158,1	12, 15, 18, 21, 24	153000	306000	4572	9144
ШПЗ-73 (зетовый)	–, –	500	730	730	12	208,3	164	12, 15, 18, 21, 24	186000	372000	5100	10200
ШПЗ-77 (зетовый)	–, –	500	770	770	12	213,3	167,5	12, 15, 18, 21, 24	210000	420000	5461	10922
ШПЗ-82 (зетовый)	–, –	500	820	820	12	219,3	172,2	12, 15, 18, 21, 24	243000	486000	5922	11844
ШПЗ-88 (зетовый)	–, –	500	880	880	12	226,5	178	12, 15, 18, 21, 24	286000	572000	6487	12974
ШПЗ-92 (зетовый)	–, –	500	920	920	12	231,3	187,6	12, 15, 18, 21, 24	317000	634000	6872	13744
ШПЗ-97 (зетовый)	–, –	500	970	970	12	237,3	186,4	12, 15, 18, 21, 24	358000	716000	7363	14726
ШПЗ-107 (зетовый)	–, –	500	1070	1070	12	249,3	195,5	12, 15, 18, 21, 24	430000	860000	8050	16100

*Учебное издание*

**Пестряков Алексей Николаевич**

**РАСЧЕТ  
ШПУНТОВОГО ОГРАЖДЕНИЯ**

Методические указания к курсовому проектированию,  
по дисциплине «Изыскание и проектирование мостовых переходов»  
для студентов дневной формы обучения  
специальности 291100 – «Мосты и транспортные тоннели»

Редактор *С. В. Пилюгина*  
Подписано в печать 15.04.10. Формат 60 x 84/16  
Бумага офсетная. Усл. печ. л.  
Тираж 70 экз. Заказ №  
Издательство УрГУПС  
620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66

