

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО -  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению курсовой работы по дисциплине «Конструкции  
быстровозводимых мостов в условиях севера и чрезвычайных ситуаций»  
для студентов по направлению подготовки **08.03.01 «Строительство»**  
профиль «**Автодорожные мосты и тоннели**»

Казань  
2016

УДК 624.21

ББК 38

З-32

З-32 Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Конструкции быстровозводимых мостов в условиях севера и чрезвычайных ситуаций» / Сост. Т.А. Зиннуров, И.Ю. Майстренко, Д.А. Валиуллин. Казань: КГАСУ, 2016. – 27 с.

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

Настоящие методические указания содержат рекомендации, необходимые для использования при проектировании и выполнении расчётов несущих элементов деревянных мостов в процессе обучения дисциплине «Конструкции быстровозводимых мостов в условиях севера и чрезвычайных ситуаций», согласно учебным планам, утвержденным Ученым советом КГАСУ по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» профиль «Автодорожные мосты и тоннели».

Рецензент

Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры "МКиИС"

**М.А. Салахутдинов**

УДК 624.21

ББК 38

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2016

© Зиннуров Т.А., Майстренко И.Ю., Валиуллин Д.А. 2016

## Содержание

Введение	4
Общие сведения о деревянных мостах	5
Проектирование схемы моста	8
Конструирование и расчет пролетного строения с прогонами	9
Конструирование пролетного строения	9
Расчет элементов проезжей части моста	10
- Расчёт одинарного настила из пластин или накатника	10
- Расчёт двойного дощатого настила	11
Расчёт прогонов	13
- Расчет разбросных прогонов	13
- Расчет сосредоточенных клееных прогонов	18
Конструирование и расчет промежуточной опоры расчет элементов промежуточных свайных опор	19
Расчет элементов промежуточных свайных опор	20
Список литературы	23
Приложения	24

## ВВЕДЕНИЕ

Для возведения мостов могут быть использованы различные строительные материалы: дерево, камень, бетон, железобетон, сталь, композиты. Дерево – естественный строительный материал, широко распространённый на территории России и вполне пригодный для строительства мостов. Дерево как строительный материал обладает рядом преимуществ:

- не большой удельный вес древесины (от 5 до 9 кН/м<sup>3</sup>), что дает преимущество в транспортировке и монтаже иногда даже без использования специальной техники;

- древесина легко поддается обработке, без применения технологического оборудования;

- в северных районах России дерево является основным строительным материал с экономической и технологической точки зрения.

Данные достоинства древесины, как строительного материала, позволяют возводить мостовые сооружения в короткие сроки с минимальными затратами, особенно в случаях возникновения чрезвычайных ситуаций.

Изучение дисциплины «Конструкции быстровозводимых мостов в условиях севера и чрезвычайных ситуаций» включает выполнение курсовой работы. Целью выполнения работы – закрепление теоретических знаний о деревянных мостах и приобретение практических навыков по проектированию и расчету конструкции пролетного строения и опор.

В методических указаниях к выполнению курсовой работы рассмотрены варианты конструктивных решений деревянных мостов. Пояснительная часть методических указаний представляет собой взаимосвязанный между собой цикл расчётов направленный на достижения поставленной цели.

В состав курсовой работы входит пояснительная записка, включающая в себя расчёты несущих элементов по предельным состояниям первой и второй группы согласно действующим нормам [1] и чертежи. Общий объем курсовой работы: 1 лист чертежей на ватмане формата А3 и пояснительную записку 20 – 30 страниц на листах формата А4. На листе ватмана вычерчивают фасад моста, поперечные сечения пролетного строения по береговой и промежуточной опорам (можно совмещенные), некоторые узловые решения и спецификация деревоматериалов. Масштабы горизонтальный и вертикальный принимаются одинаковыми 1:100 или 1:200 в зависимости от размеров сооружения, узлы в масштабе 1:10. Чертежи выполняются согласно комплексу нормативно документов СПДС.

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ДЕРЕВЯННЫХ МОСТАХ

Проектирование деревянных мостов допускается на автомобильных дорогах IV и V категорий, на улицах без ограничений. Чаще всего для возведения деревянных мостов применяется балочная система, отличающаяся простотой конструктивных решений и доступности технологий их возведения (Рис. 1).

Основными несущими элементами балочных мостов являются прогоны – продольные элементы перекрывающие пролет и уложенные на опоры. Сверху на прогоны укладывается настил. В зависимости от конструкции пролетных строений применяются разбросные (сближенные) прогоны для пролетов ( $L_p$ ) от 4 до 10 метров, или сосредоточенные при пролетах ( $L_p$ ) от 8 до 16 метров. Пролетные строения со сближенными прогонами изготавливают из бревен или брусьев расстояние между ними принимается ( $d$ ) от 0.5 до 1.0 метра. Сосредоточенные прогоны могут быть сложными (составными) или клееными. Сложные представляют собой "пакеты" из нескольких бревен уложенные в несколько ярусов, объединение которых производится двумя способами. Первый вариант, когда укладываются друг на друга и стягиваются болтами, тогда в расчёт берется суммарный момент инерции всех бревен, второй вариант, когда бревна сращиваются при помощи дополнительных элементов шпонок или пластинчатых нагелей ограничивающие сдвиг между бревнами. Клееные прогоны изготавливаются на заводах из досок различной геометрии, допускается применение древесины второго сорта. Соединение производится при помощи фенолформальдегидного клея, который обладает высокой водостойкостью, биостойкостью и долговечностью. Расстояние между сосредоточенными прогонами ( $d$ ) принимается от 1.3 до 2.0 метра.

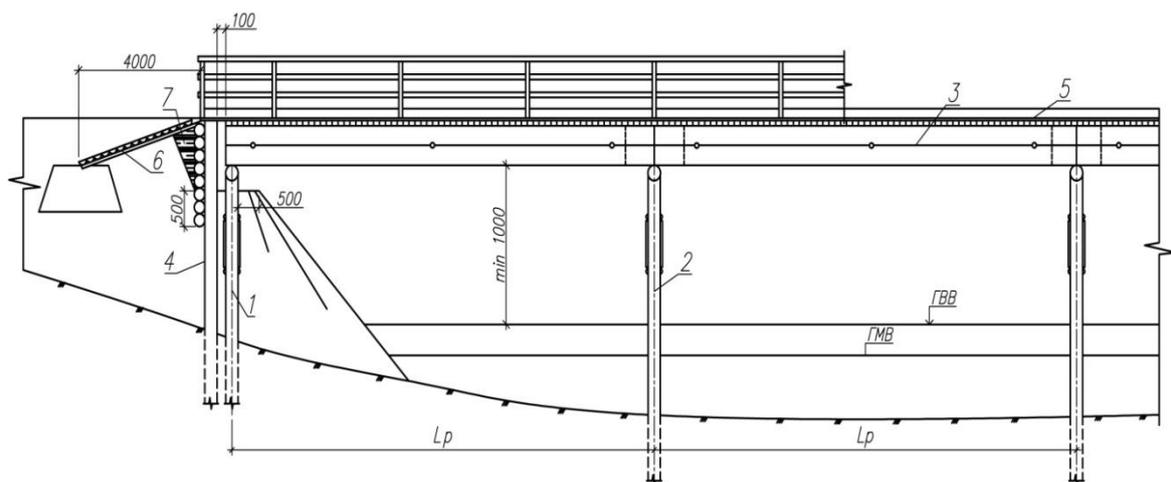


Рис. 1. Схема деревянного моста с разбросными прогонами  
1 – береговая опора, 2 – опора промежуточная, 3 – прогоны, 4 – заборная стенка, 5 – настил, 6 – деревянный щит, 7 – глиняный замок

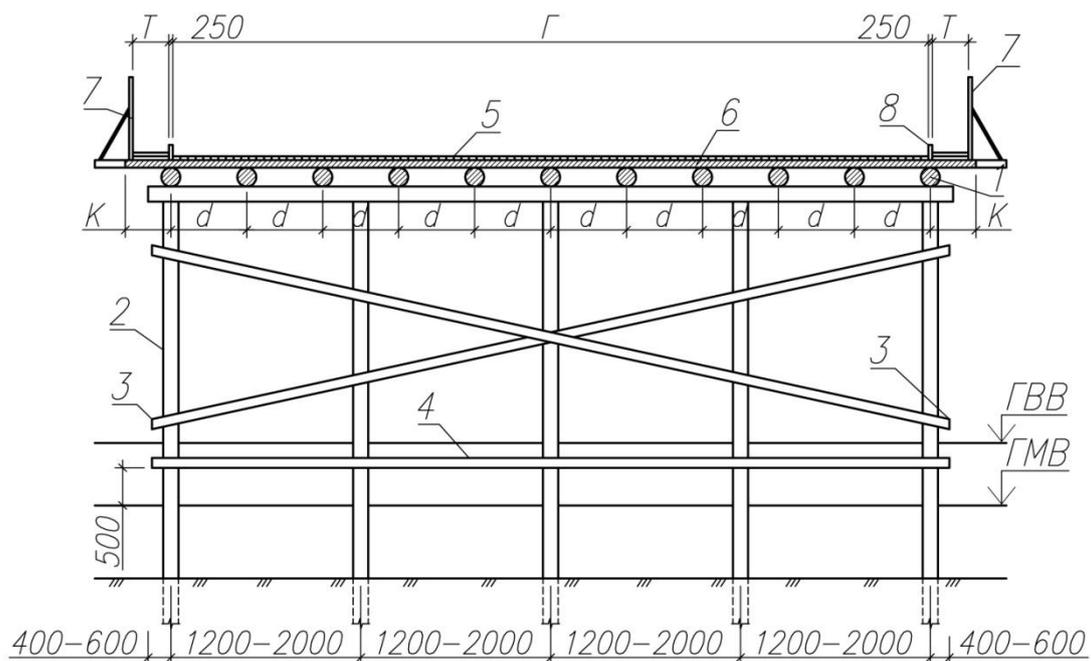


Рис. 2. Поперечный разрез деревянного моста с разбросными прогонами  
 1 – прогоны, 2 – свая-стойка, 3 – схватка наклонная, 4 – схватка горизонтальная, 5 – настил, 6 – насадка, 7 – перила, 8 – колесоотбойный брус

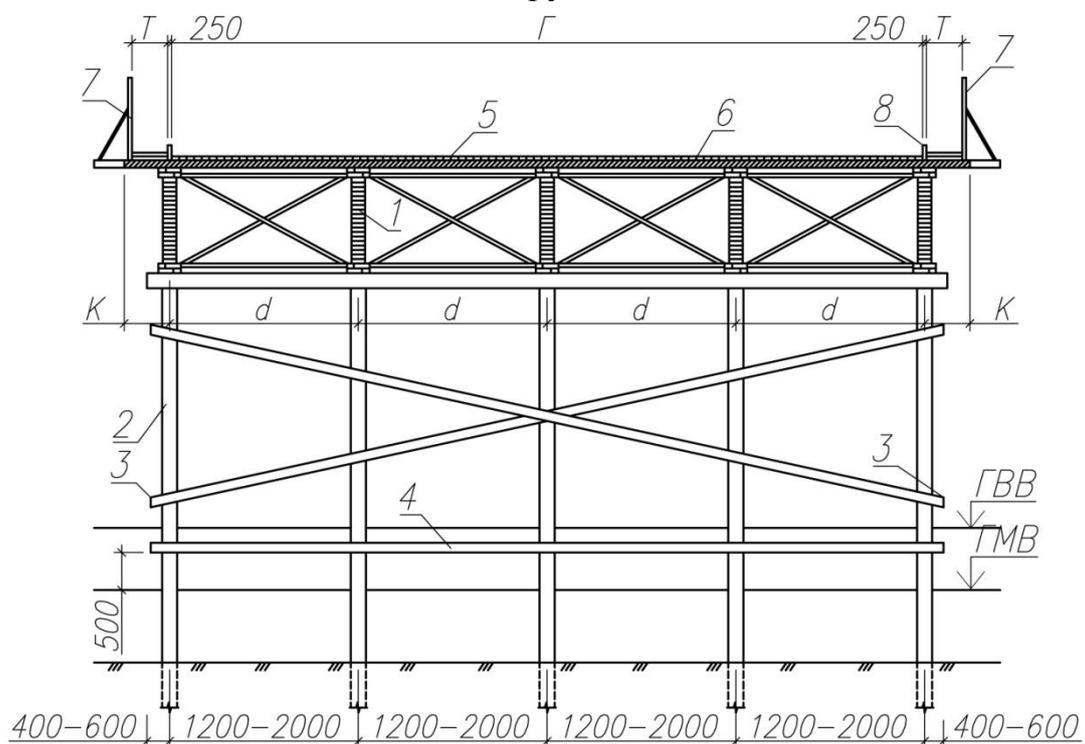


Рис. 3. Поперечный разрез деревянного моста с сосредоточенными прогонами (клееными прогонами)  
 1 – прогон клееный, 2 – свая-стойка, 3 – схватка наклонная, 4 – схватка горизонтальная, 5 – настил, 6 – насадка, 7 – перила, 8 – колесоотбойный брус

Расположение некоторых элементов регламентируется сводом правил [1]. Расстояние между низом пролетного строения и УВВ при карчеходе устанавливается не менее 1 м. Нижняя грань продольных схваток располагается на 0.75 м выше УВЛ и на 0.25 м выше УВВ. При проектировании не нужно забывать о таких элементах, как колесоотбойный брус высотой не менее 0.25 м, при наличии тротуаров устанавливается перильное ограждение высотой 1.1 м.

Нормативные постоянные нагрузки определяются из геометрических размеров элементов пролетных строений (прогонов, связей, настила проезжей части, тротуаров, ограждений и т. п.). Постоянная нагрузка распределяется равномерно между всеми прогонами пролетного строения, и переносится на опоры. Для расчёта по несущей способности потребуются расчётные значения, которые определяются умножением на коэффициент надёжности  $\gamma_f$ , для каждой нагрузки он свой (Приложение 1).

Согласно ГОСТ Р 52748–2007 "Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения» деревянные мосты проектируют и рассчитывают на временные нагрузки А11 и НК-80 [1, 2]. Нормативная временная нагрузка А11 (АК) представляет собой совместно действующие нагрузки: равномерно распределенную нагрузку в виде полосы интенсивностью 10,8 кН/м (1,1 т/м) и двухосную тележку с давлением на ось 108 кН (11 т). Одиночная негабаритная нормативная нагрузка НК-80 представлена в виде четырехосной тележки общим весом 785 кН (80 т) с давлением на каждую ось по 196 кН (20 т).

Для строительства мостов наибольшее распространение получила сосна. Данная порода древесины выделяется широкой распространенностью на территории России, прямыми и длинными стволами с небольшим сбегом, небольшой сучковатостью, смолистой и упругой древесиной. При необходимом обосновании применяются такие породы как ель, лиственница, кедр, пихта. Нужно помнить, что каждая порода имеет свою сопротивляемость различным воздействиям, для перехода используются коэффициенты приведения (Приложение 2).

Особенностью древесины является зависимость сопротивления дерева усилиям относительно направления волокон. Это условие накладывает определенные затруднения при сопряжении элементов в различных направлениях. Расчётные сопротивления сосны при работе в различных напряженных состояниях и направлениях представлены в приложении 3.

Изготовление несущих конструкций деревянных мостов выполняют из цельной древесины – бревен по ГОСТ 2292-88 или пиломатериалов - досок, брусьев, пластин, брусков по ГОСТ 8486-86 и ГОСТ 9463-88. Для

изготовления мелких деталей соединений (подушек, шпонок и т.п.) следует применять древесину твёрдых лиственных пород (дуба, ясеня, бука и граба), удовлетворяющим требованиям ГОСТ 9462-88 – для круглого леса лиственных пород и ГОСТ 2695-83 – для пиломатериалов лиственных пород.

Обязательно все несущие элементы должны быть выполнены из древесины 1 сорта. Древесина второго сорта используется для дополнительных элементов. Влажность древесины должна быть не более: для бревен – 25%; для пиломатериалов – 20%; для клееной древесины – 15%; для свай и других элементов, целиком расположенных ниже уровня низких вод, влажность не ограничивается. В поперечном сечении деревянные элементы должны иметь размеры минимально допустимые (Приложение 4).

При использовании недостаточно хорошего леса и неправильного содержания сооружения в период эксплуатации происходит быстрое загнивание древесины. Обычно срок службы при надлежащей эксплуатации составляет 12 – 15 лет, можно увеличить этот срок до 25 – 30 лет, если применять специальную обработку антисептиками по ГОСТ 20022.2-80. Древесина готовых деталей в соответствии с требованиями СП 35.13330.2011 [1] должна быть обязательно пропитана устойчивыми биозащитными средствами, кроме поверхностной обработки следует предусматривать и конструктивные меры обеспечивающие проветривание мест с возможным застаиванием воды. На деревянных мостах должны быть предусмотренные проектом меры защиты их от возгорания. При изготовлении деревянных конструкций необходимо обеспечить высокое качество обработки древесины.

### **Проектирование схемы моста**

Разбивка моста на пролеты является одной из сложных и ответственных задач проектирования не только деревянных, но любых других мостовых сооружений. Схема моста в первую очередь влияет на технико-экономические показатели, а также на условия эксплуатации (пропуск карчехода, ледохода и даже судов) и конструктивные решения основных несущих конструкции. Пролеты моста а, следовательно, и отверстия определяются экономическими, технологическими, архитектурными или гидрологическими условиями. В курсовой работе уже назначен основной расчётный пролет  $L_p$ , который следует располагать над русловой частью реки, так чтобы опоры не попали под интенсивное воздействие течения реки и ледохода, что приведет к увеличению общего и местного размывов и повышению стоимости опор.

Остальные пролеты назначаются конструктивно, рекомендуется применять не более трех типов размеров пролетных строений. При выборе

схемы моста рациональнее по стоимости является расположение больших пролетов в самых глубоких местах реки, а пойменные участки перекрываются меньшими пролетами.

Проектирование начинается с того, что вычерчивается в принятом масштабе продольный профиль рельефа с нанесением заданных горизонтов воды и геологии. Уровень горизонта меженных и высоких вод (*ГМВ* и *ГВВ*) определяется в соответствии с заданием. Отметки *ГМВ* и *ГВВ* откладываются от уровня земли в низшей точки водотока.

По горизонту высоких вод намечаются примерные границы моста. Длина моста складывается из суммы отверстий моста ( $\sum L_i$ ), суммарной толщины промежуточных опор ( $\sum b_i$ ) и суммарной ширины деформационных швов ( $\sum a_i$ ).

Согласно таблице 5.2 [1], при наличии карчехода размеры возвышений низа пролетного строения над *ГВВ* должны быть не менее 1,0 м. Минимальная отметка низа конструкции назначается из условия:

$$УНК = ГВВ + 1.0;$$

При наличии высоких склонов отметка УНК назначается с учетом уровня верхней отметки земли. Тогда отметка проезжей части устанавливается:

$$УПЧ = УНК + h_{cmp};$$

где  $h_{cmp}$  – строительная высота пролетного строения включает в себя высоту настила, прогона и дополнительных элементов. Отметка низа свай опор

$$УНС = УЗО - 4.0;$$

где *УЗО* – уровень земли в месте установки опоры, 4.0 – глубина забивки свай.

## **Конструирование и расчет пролетного строения с прогонами**

### **Конструирование пролетного строения**

Конструирование пролетного строения заключается в назначении числа прогонов  $n$  и расстояний между ними  $d$ . Количество прогонов определяют, исходя из общей ширины моста. Выбор конструкции прогона осуществляется из условия расчётного пролета  $L_p$ . Сближенные прогоны при пролетах 4 – 6 м делают одноярусными, при 6 – 9 м делают двухъярусными из двух или трех бревен. Балочные мосты со сближенными прогонами отличаются простотой конструкции и имеют минимальную строительную высоту. Для пролетов 10 – 14 м применяют пролетные строения с сосредоточенными прогонами.

Требуемое количество прогонов вычисляют по формуле:

$$n = \frac{Г + 2 \cdot Т + 2 \cdot k + 2 \cdot p - 2 \cdot К}{d},$$

где  $d$  – расстояние между осями прогонов;  $К = 0.6 - 0.9$  м – тротуарная консоль;  $Г$  – ширина габарита проезжей части;  $Т$  – ширина тротуара;  $k$  –

ширина колесоотбойного бруса принимается 250 мм;  $p$  – ширина перильного ограждения.

Округляем количество прогонов  $n$  до ближайшего целого числа, затем корректируем расстояние между прогонами  $d$ . В дальнейшем для расчетов используется расстояние уточненное расстояние между прогонами.

## Расчет элементов проезжей части моста

### Расчёт одинарного настила из пластин или накатника

Одинарный настил изготавливается из пластин или накатника и укладывается непосредственно на прогоны. За расчётную нагрузку можно принять половине усилия от давления оси тележки нагрузки А11 или НК-80, то есть

$$P_k = P^{AK}/2 \text{ или } P_k = P^{HK}/2,$$

где  $P^{AK} = 108$  кН (11.0 т) – усилие от давления колеса тележки нагрузки А11;  $P^{HK} = 196$  кН (20 т) – усилие от давления колеса тележки нагрузки НК-80. Так как усилие от давления колеса тележки нагрузки НК-80 будет всегда больше чем от А11, то расчёт достаточно производить только на НК-80.

Для нахождения диаметр пластины  $d_n$ . Найдем расчетный изгибающий момент в середине пролета пластины:

$$M = \frac{\gamma_{fp} * P * l^2}{8n * b}, \quad (1)$$

где  $\gamma_{fp}$  – коэффициент надежности нагрузки;  $n$  – количество пластин, воспринимающих нагрузку  $P$ ,  $b$  – ширина колеса по рисунку 4.

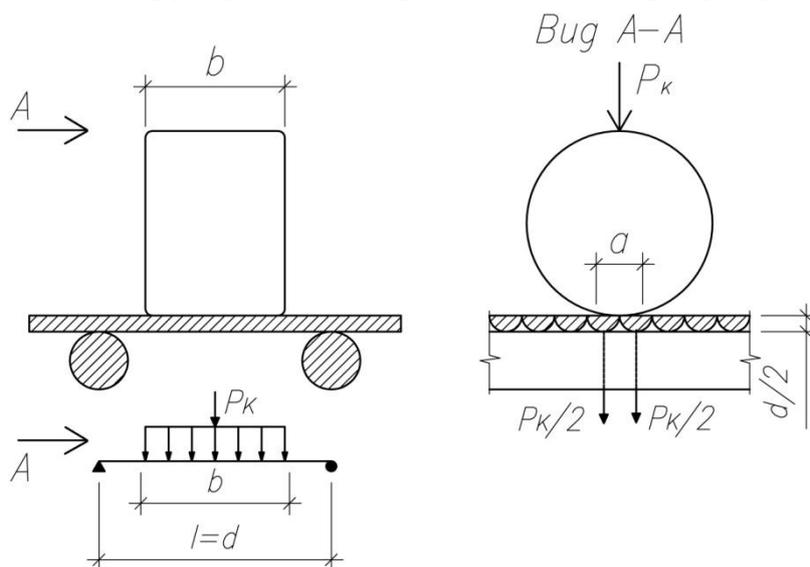


Рис. 4. Расчётная схема одинарного настила

Вычисляем требуемого момента сопротивления пластины по формуле:

$$W = \frac{M}{R_{db}},$$

где  $R_{db}$  – расчетное сопротивление древесины на изгиб.

Из таблицы приложения 1 получаем:

$$W = 0,0238 * d^3 \rightarrow d_{п} = \sqrt[3]{\frac{W}{0,0238}}$$

где  $d_{п}$  – диаметр пластин.

Производим проверку:

$$\sigma = \frac{M}{W} < R_{db}.$$

Находим недогрузка или перегрузку:

$$\frac{R_{db} - \sigma}{R_{db}} \cdot 100\%.$$

Если перегрузка более 5% или недогрузка более 10% следует переназначить сечение настила и провести расчёт заново.

### **Расчёт двойного дощатого настила**

Существует две разновидности двойного дощатого настила с продольным расположением и поперечным расположением нижнего настила. Продольное расположение досок применяется при наличии дополнительных элементов. Такими элементами могут быть поперечины, которые передают нагрузку на сосредоточенные прогоны в случае недостаточной несущей способности досок нижнего настила. Поперечное расположение применяется при разбросных прогонах.

Двойного дощатого настила состоит из досок верхнего настила, которые распределяют сосредоточенную нагрузку от давления колеса автомобиля на доски нижнего настила и защищают их от истирания. Размеры досок продольного верхнего настила назначаются конструктивно. Толщину досок верхнего настила принимают равной  $\delta_v = 5-7$  см, ширина 15 – 18 см. Толщина досок нижнего рабочего настила определяется расчетом прочности на изгиб, ширина назначается в диапазоне 15 – 20 см.

Поперечный нижний настил работает поперек движения, его рассчитывают на изгиб как простую разрезную балку, свободно лежащую на прогонах с расчетным пролетом, равным расстоянию между осями прогонов  $d$ .

Учитывая упругое распределение нагрузки досками верхнего настила, усилие на доски нижнего настила согласно схеме на рисунке 5 в зависимости от ширины доски приближенно принять аналогично при расчёте одинарного настила.

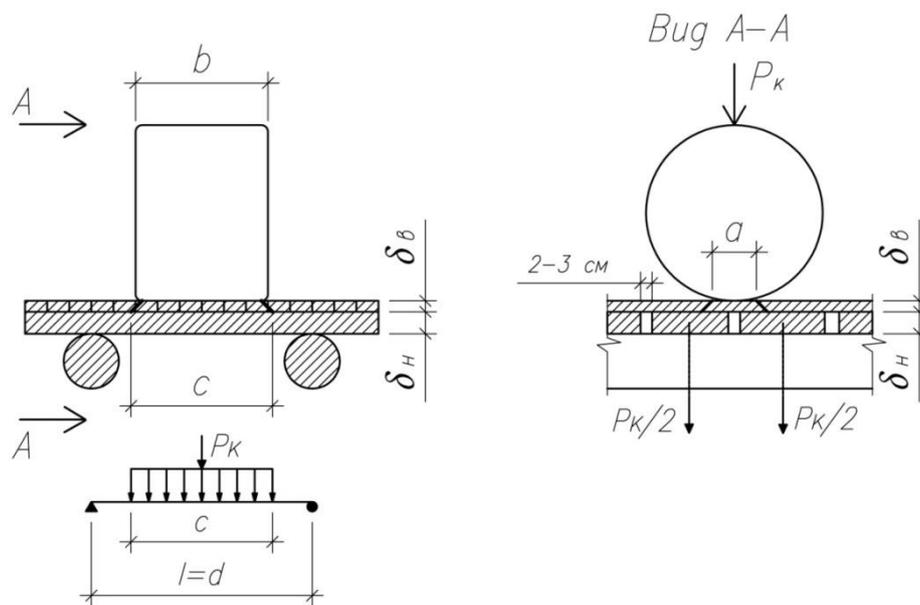


Рис. 5. Расчётная схема и схема распределения нагрузки на доски нижнего настила

Найдем длину площадки распределения нагрузки на нижний настил:

$$C = b + 2 \times \delta_{\text{в}},$$

Расчетный изгибающий момент в доске нижнего настила от воздействия колеса автомобильной нагрузки при расчётном пролете более 1.5 метра, будет равен:

$$M = \frac{\gamma_{fp} * P}{4 * n} (l - 0.5C),$$

где  $\gamma_{fp}$  – коэффициент надежности по нагрузке для тележки,  $l$  – расчетный пролет нижнего настила,  $C$  – площадки распределения нагрузки,  $n$  – количество досок воспринимаемые нагрузку. Собственным весом настила также пренебрегаем. Если расчётный пролет менее 1.5 метра, то используем формулу (1).

Найдем требуемый момент сопротивления:

$$W = \frac{M}{R_{db}},$$

где  $R_{db}$  – расчетное сопротивление досок настила.

Задавшись шириной доски нижнего настила  $b_n = 14$  см, определяем ее толщину  $\delta_n$ :

$$\delta_n = \sqrt{\frac{6 \times W}{b_n}}$$

Округляем до целого значения и определяем недогрузку или перегрузку сечения доски. Определив сначала действующие напряжения. На скалывание доски не рассчитывают, так как скалывающие напряжения незначительны.

## Расчёт прогонов

Предварительно для расчета прогонов понадобятся начальные исходные данные, которые впоследствии могут корректироваться. Следует выбрать конструкции прогона по размеру перекрываемого пролета  $L_p$ , затем назначить шаг прогонов  $d$  и размеры поперечного сечения прогона. Расчет производится согласно СП 35.133330.2011 [1] по предельным состояниям первой и второй группы.

## Расчёт разбросных прогонов

В расчете пролетных строений с разбросными прогонами учитывают упругое распределение нагрузки настилом или поперечинами на прогоны, которое зависит от расположения элементов, соотношения жесткостей настила (поперечин) и прогонов.

Для определения геометрических характеристик элементов: площадь, момент сопротивления, момент инерции, применяются выражения, представленные в приложении 1, а также простейшие формулы для прямоугольных сечений. В случае двухъярусных прогонов моменты инерции бревен складываются. Момент сопротивления  $W = 2 I_{бр} / u_{max}$ , где  $u_{max}$  расстояние до максимально удаленных волокон.

Коэффициент упругого распределения отвечающий за коэффициент поперечной установки колесной нагрузки  $P$  находится по формуле:

$$K_p = \frac{8 \times d^3 \times I_{пр}}{L_p^3 \times I_{нас}}$$

где  $I_{пр}$  – момент инерции прогона,  $I_{нас}$  – момент инерции настила (в расчёт принимаются доски, которые испытывают нагрузку от колеса  $P^{AK}$ ). При условии  $0.055 < K_p < 0.33$ , то нагрузка распределяется на пять прогонов, если  $K_p > 0.33$  то на три прогона, а при  $K_p < 0.055$  на семь прогонов.

Для распределенной от АК и тележки НК коэффициент упругого распределения определяется аналогично.

Следующим этапом требуется найти коэффициенты  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$ , с которыми нагрузка распределяется на прогоны:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{1 + 18K_p + 7K_p^2}{5 + 34K_p + 7K_p^2}; & \alpha_1 &= \frac{1 + 2K_p}{3 + 2K_p}, \\ \alpha_2 &= \frac{1 + 11K_p}{5 + 34K_p + 7K_p^2}; & \alpha_2 &= \frac{1}{3 + 2K_p}, \\ \alpha_3 &= \frac{1 - 3K_p}{5 + 34K_p + 7K_p^2}; & \alpha_1 + \alpha_2 &\approx 1, \\ \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 &\approx 1. \end{aligned}$$

При распределении на 5 прогонов      При распределении на 3 прогонов

Далее находим действующее усилие на расчётный прогон, который выбирается так, чтобы одна из осей нагрузки АК (A11) или НК в

поперечном направлении совпала с нейтральной осью прогона, а остальные оси колесной нагрузки располагались справа и слева от расчетного прогона. Такое расположение временной нагрузки будет наиболее неблагоприятным. Схема установки нагрузки показана на рисунке 6.

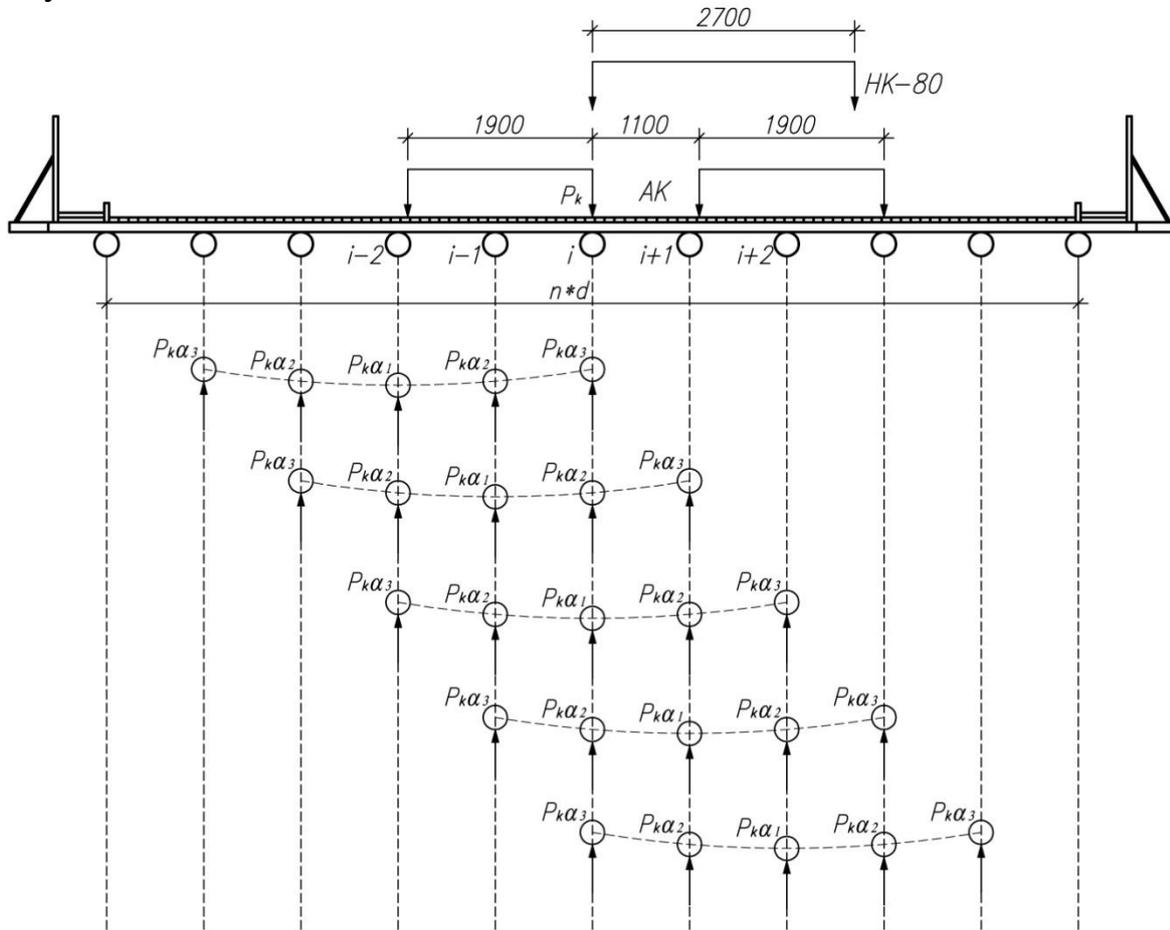


Рис. 6. Схема упругого распределения нагрузки на разбросные прогоны

Согласно схеме давление на расчетный ( $i$  – ый) прогон от давления колеса  $P_k$  нагрузки при упругом распределении на пять прогонов равна:

$$P'_i = (P_k \alpha_3 + P_k \alpha_2 + P_k \alpha_1 + P_k \alpha_2 + P_k \alpha_3) \gamma_{fp},$$

Давление на расчетный прогон от погонной нагрузки рассчитывается по формуле:

$$V'_i = (V_k \alpha_3 + V_k \alpha_2 + V_k \alpha_1 + V_k \alpha_2 + V_k \alpha_3) \gamma_{fv}.$$

Для нагрузки НК-80 давление на расчетный прогон находится аналогично. Физический смысл формулы заключается в том, что когда от действия сосредоточенной нагрузки в работу включаются 5 прогонов, то нагрузка, действующая на один из пяти задействованных прогонов, также переходит на расчетный прогон. В случае несоосного расположения нагрузки учитываются коэффициенты распределения нагрузки на два смежных прогона в соотношении  $x/d$  на правый прогон и  $(d-x)/d$  на левый

прогон, где  $x$  – расстояние от левого прогона до действующей колесной нагрузки.

Временная нагрузка А11 и НК-80 по своей природе являются подвижными нагрузками, характер воздействия такой нагрузки на изгибаемый элемент (прогон) оценивается линией влияния. Наиболее невыгодное расположение сосредоточенной нагрузки, для разрезных систем, считается в середине расчётного пролета  $L_p$  (Рис. 7).

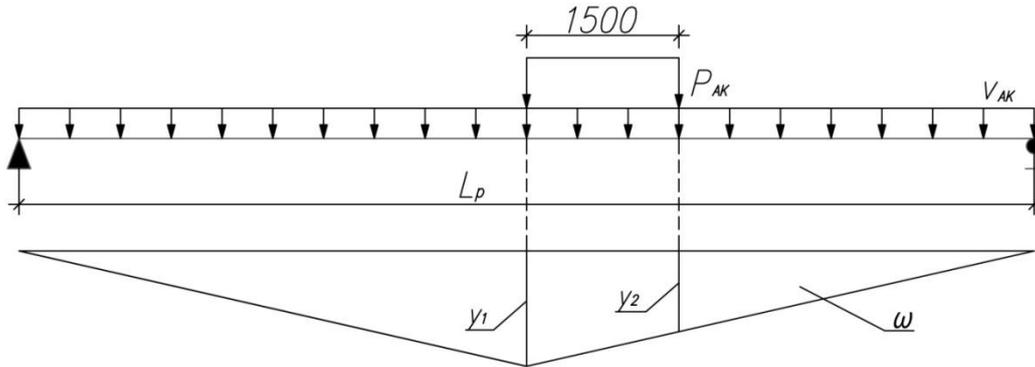


Рис.7. Линия влияния подвижной нагрузки АК (А11)

Рассчитаем параметры линии влияния:

- координаты сосредоточенных нагрузок

$$y_1 = L_p / 4; y_2 = [1 - 1.5 / (0.5 L_p)];$$

- площадь линии влияния для расчёта распределенной нагрузки

$$\omega = y_1 \times L_p / 2.$$

Далее определяем изгибающий момент от временной нагрузки А11:

$$M_{\text{вр}}^{\text{АК}} = P_i'(y_1 + y_2) + V_i' \cdot \omega;$$

Изгибающий момент от временной нагрузки НК-80:

$$M_{\text{вр}}^{\text{НК}} = P_i'(y_1 + y_2 + y_3 + y_4);$$

Находим максимальное значение:

$$M_{\text{вр}}^{\text{рас}} = \max \left\{ \begin{matrix} M_{\text{вр}}^{\text{АК}} \\ M_{\text{вр}}^{\text{НК}} \end{matrix} \right.$$

Рассчитаем постоянную нагрузку на один погонный метр длины прогона. Постоянная нагрузка от верхнего настила равна:

$$g_{\text{в}} = \delta_{\text{в}} \cdot d \cdot \gamma.$$

Постоянная нагрузка от нижнего настила:

$$g_{\text{н}} = \delta_{\text{н}} \cdot d \cdot \gamma.$$

Постоянная нагрузка от прогона:

$$g_{\text{пр}} = A_{\text{пр}} \cdot \gamma;$$

где  $\gamma$  – удельный вес древесины пропитанной антисептиком  $6.9 \text{ кН/м}^3$ .

Найдем изгибающий момент от постоянных нагрузок:

$$M_{\text{г}} = (\gamma_{\text{фн}} \times g_{\text{н}} + \gamma_{\text{fv}} \times g_{\text{в}} + \gamma_{\text{фпр}} \times g_{\text{пр}}) \times \omega.$$

Суммарный изгибающий момент:

$$M = M_{\text{г}} + M_{\text{вр}}^{\text{рас}}.$$

Проверяем прочность:

$$\sigma = \frac{M}{W_{пр}} < R_{db}.$$

Находим недогрузку или перегрузку. При небольшом отклонении от допустимой перегрузки или недогрузки следует увеличить или уменьшить сечение прогона. Большой запас или перегрузка свидетельствует о неправильном выборе проектных решений, а именно шаг прогонов или конструкцию прогона. В итоге делаем вывод о прочности принятого поперечного сечения прогона.

Опорное сечение прогона пролетного строения необходимо проверить на действие максимальной поперечной силы. Если прогоны одноярусные, то диаметр бревна в отрубе вычисляем  $d_{on} = d_{np} - 0.01 \frac{L_p}{2}$ , соответственно все характеристики с учетом уменьшения диаметра бревна. В двухъярусных или трехъярусных прогонах бревна укладываются комлями в разные стороны, сечение прогона по длине практически не изменяется, и геометрические характеристики опорного сечения вычисляют по диаметру  $d_{пр}$ .

Для вычисления расчетной поперечной силы выполняют продольную установку нагрузок А11 и НК-80 на пролетном строении (Рис. 8).

В опорных сечениях вертикальные деформации прогонов отсутствуют, то есть упругое распределение нагрузки настилом на прогоны не обеспечивается, а учитывается распределение нагрузки по закону рычага. Поперечная сила от нагрузки А11 вычисляется по формуле:

$$Q_{вр}^{AK} = \gamma_{fp} \frac{P^{AK}}{2} (y_1 + y_2) + \gamma_{fv} \frac{V^{AK} \cdot L_p}{2};$$

сосредоточенными силами от колес тележки; 0.5 – коэффициент поперечной установки по методу рычага;  $P^{AK}$  – нагрузка от осевой нагрузки А11.

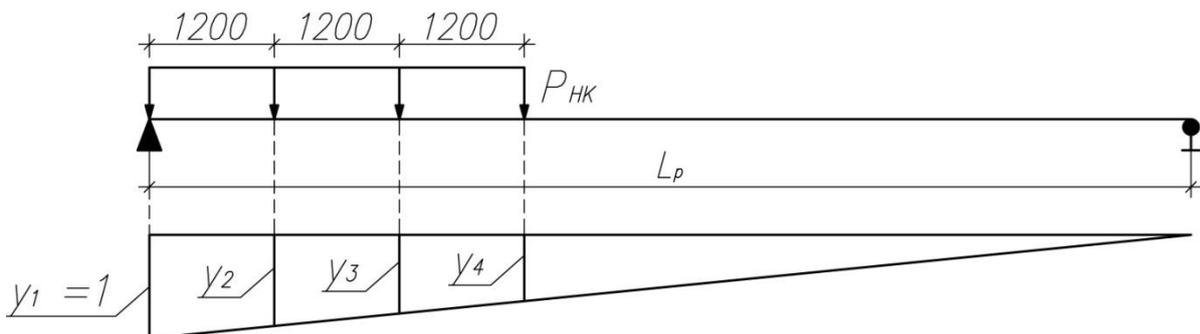


Рис. 8. Продольная установка подвижной нагрузки НК-80 на линии влияния для определения поперечного усилия

Поперечная сила от нагрузки НК-80 вычисляется по формуле:

$$Q_{\text{вр}}^{\text{AK}} = \gamma_{fn} \frac{p^{\text{HK}}}{2} (y_1 + y_2 + y_3 + y_4);$$

Находим максимальное значение:

$$Q_{\text{вр}}^{\text{pac}} = \max \begin{cases} Q_{\text{вр}}^{\text{AK}} \\ Q_{\text{вр}}^{\text{HK}} \end{cases}$$

Поперечную силу от постоянной нагрузки вычисляют по формуле:

$$Q_g = (\gamma_{fn} \times g_n + \gamma_{fv} \times g_v + \gamma_{fnp} \times g_{np}) \times \frac{L_p}{2}$$

Максимальная расчетная поперечная сила вычисляется по формуле

$$Q = Q_g + Q_{\text{вр}}^{\text{pac}}$$

Проверка прочности по касательным напряжениям от расчетной поперечной силы выполняется по формуле:

$$\tau = \frac{Q \cdot S_{np}}{I_{np} d_{np}} \leq R_{dab}$$

где  $S_{np}$ ,  $J_{np}$  – статический момент полусферы и момент инерции опорного сечения прогона (Приложение 1);  $R_{dab}$  – расчетное сопротивление скалывания вдоль волокон при изгибе (Приложение 2). При двухъярусных прогонах проверку на скалывание проходят колодки. В курсовой работе проверку на скалывание проведем для одного из бревен по центру сечения.

Расчет прогонов пролетного строения по второму предельному состоянию выполняется в сравнении максимального прогиба прогона с предельным прогибом по СП 35.13330.2011 [1]. Для автодорожных балочных мостов величина прогиба не должна превышать  $1/400 L_p$ . Для деревянных мостов предельную величину прогиба допускается увеличивать на 50 %, тогда  $[f] = 1/250 L_p$ .

Прогиб расчётного прогона в середине пролета с достаточной точностью можно вычислить через расчетный изгибающий момент по формуле:

$$f = \frac{5 \cdot M_n \cdot L_p^2}{48 \cdot E \cdot I_{np}};$$

где  $E = 9810$  МПа – модуль упругости древесины на действие кратковременных нагрузок;  $M_n$  – максимальный изгибающий момент в сечении прогона от нормативных нагрузок вычисляется без учета коэффициента надежности по нагрузке.

Жесткость пролетного строения обеспечена, если выполняется условие  $f > [f]$

### Расчёт сосредоточенных клееных прогонов

Расчёт сосредоточенных прогонов отличается от расчёта разбросных прогонов нахождением коэффициента поперечной установки и определением геометрических характеристик.

Коэффициента поперечной установки нагрузки находится из условия, что пролетное строение имеет жесткие поперечные связи (Рис. 8). Тогда коэффициент поперечной установки определяем по методу внецентренного сжатия. В этом случае наиболее нагруженными являются крайние прогоны. Строим линию влияния на крайний прогон №1. Координаты определяем по формулам:

$$\eta_1 = \frac{1}{n} + \frac{a_1^2}{2(\sum_{i=1}^n a_i^2)}$$

$$\eta_2 = \frac{1}{n} - \frac{a_1^2}{2(\sum_{i=1}^n a_i^2)}$$

где  $n$  – количество прогонов;  $a_1$  – расстояние между осями крайних прогонов;  $(\sum_{i=1}^n a_i^2)$  – сумма квадратов расстояний между осями зеркально расположенными прогонами относительно оси симметрии пролетного строения (Рис.9).

При расчетах на прочность рассматриваем две схемы установки нагрузки А11 совместно с толпой и одну схему загрузки нагрузкой НК-80. Для того чтобы получить наиболее неблагоприятные условия, размещаем нагрузки на пролетном строении максимально близко к прогону №1, но при этом должны соблюдаться условия указанные в СП 35.13330.2011 [1].

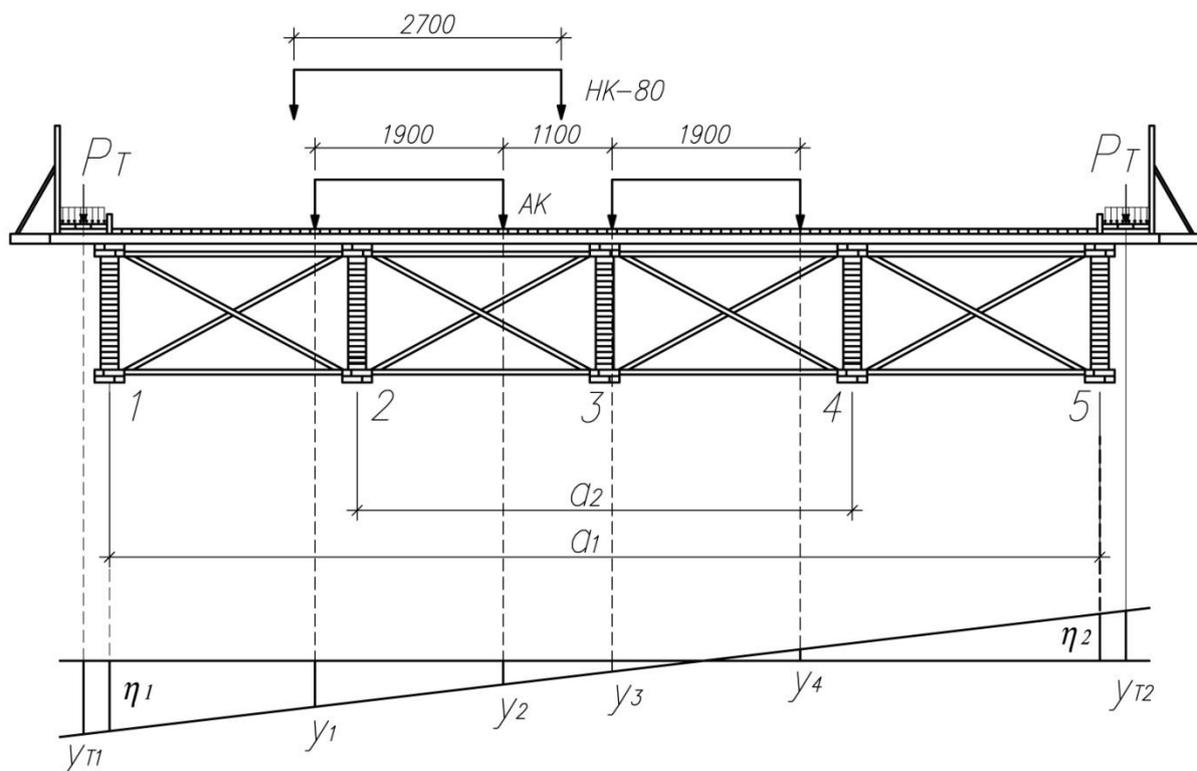


Рис. 9. Определение КПУ методом внецентренного сжатия

Рассчитываем схему загрузки I и II:

$$K_p = 0.5 \cdot (y_1 + y_2 + y_3 + y_4)$$
$$K_v = 0.5 \cdot (y_1 + y_2) + 0.5 \cdot S \cdot (y_3 + y_4);$$
$$K_T = (y_{1T} + y_{2T}).$$

Рассчитываем схему загрузки III:

$$K_k = 0.5 \cdot (y_{1k} + y_{2k}),$$

где  $y_i$  – координаты сосредоточенных нагрузок от подвижных нагрузок на линии влияния,  $S$  – коэффициент полноты.

Изгибающий момент от временной нагрузки определяется по формулам:

$$M_{вр}^{AK} = (1 + \mu) \cdot \gamma_{fp} \cdot P^{AK} \cdot K_p \cdot (y_1 + y_2) + (1 + \mu) \gamma_{fv} \cdot V^{AK} \cdot K_v \cdot \omega \gamma_{fT} \cdot V^T \cdot K_T \cdot \omega$$

$$M_{вр}^{HK} = (1 + \mu) \cdot \gamma_{fn} \cdot P^{AK} \cdot K_p \cdot (y_1 + y_2 + y_3 + y_4).$$

где  $(1 + \mu)$  – динамический коэффициент.

### Конструирование и расчет промежуточной опоры

Конструкция и размеры опоры зависят от типа пролетных строений, размера пролета и высоты моста, а также от геологических, гидрологических и других условий. Если геологические условия, а именно наличие сжимаемых грунтов, что позволяет забивать деревянные сваи, опоры простых балочных мостов устраивают в виде сваи - стоек. Сваи забивают в грунт на глубину не менее 3.5 – 4.0 м на расстоянии 1.2 – 2.0 м друг от друга.

При небольшой высоте опор над уровнем меженных вод или уровнем земли до 3.0 м их выполняют без наклонных схваток. Наклонные схватки устанавливаются при высоте опоры от 3.0 до 5.0 м. Если опора высотой более 5.0 м с низовой и верховой стороны устраивают дополнительные сваи и укосины.

Для балочных мостов со сближенными прогонами пролетом 4.0 – 8.0 м применяют опоры из одного поперечного ряда свай (плоские однорядные опоры). В пролетных строениях с сосредоточенными прогонами применяют двухрядные опоры.

В свайных опорах все сопряжения элементов устраиваются наиболее простыми по конструкции. Сопряжение насадки со сваями производится при помощи металлических штырей или шипов. В местах опирания на сваю насадка подтесывается на глубину, при которой ширина врубки не меньше диаметра сваи.

При значительной длине сваи требуется их наращивание. Стыки бревен свай располагают не менее 0.3 м над горизонтом меженных вод в местах установки горизонтальных схваток или в грунте на 2.0 м ниже уровня возможного размыва грунта. Стыки выполняются в торец и перекрываются металлическими хомутами на болтах.

Горизонтальные и диагональные схватки соединяют со сваями простым или цилиндрическим врубом с обжатием болтами. Чаще всего схватки выполняют из пластин, при этом врубки глубиной до 2.0 см устраивают только в свая-стойках.

### Расчет элементов промежуточных свайных опор

В мостах с разбросными и сосредоточенными прогонами насадка опоры работает по-разному. В случае разбросных прогонов следует производить расчет по прочности на изгиб как неразрезная балка с пролетами, равными расстоянию между свая-стойками. Насадка рассчитывается на действие положительного изгибающего момента в середине пролета между свая-стойками и на действие отрицательного изгибающего момента над свая-стойками, а также на давление насадки на сваю (местное смятие). Сосредоточенных прогонов располагаются соосно со свая-стойками, поэтому производится расчет на смятие площадки насадки под прогоном.

Расчетное давление на насадку однорядной свайной опоры от постоянных и временных вертикальных нагрузок определяется по невыгодному загрузению линии влияния опорного давления (Рис. 10).

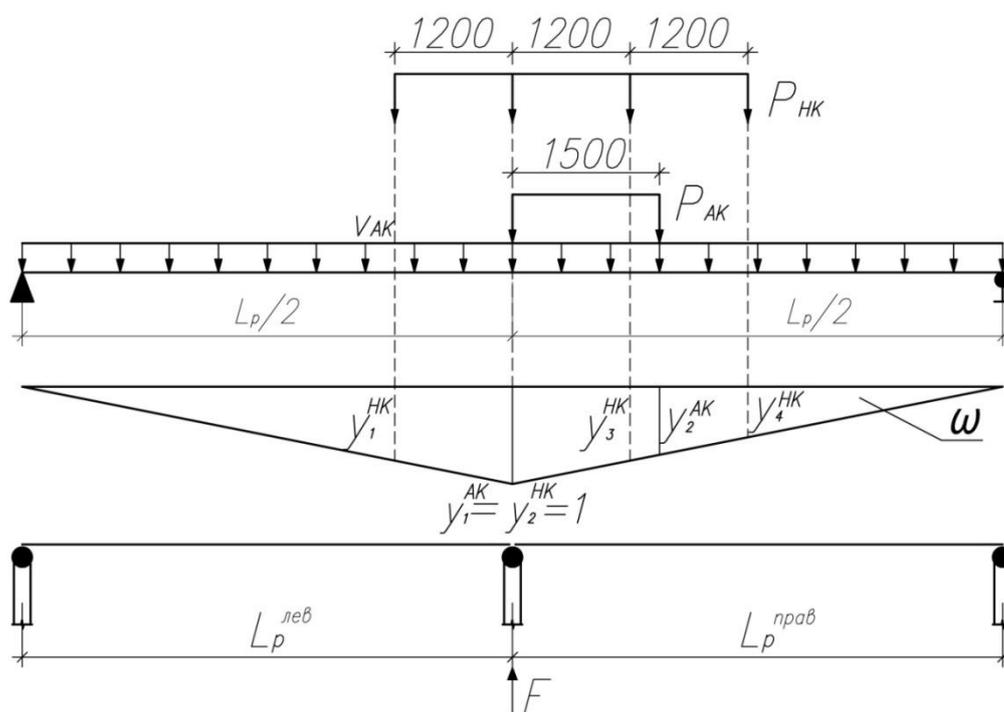


Рис. 10. Схема загрузки линии влияния временной нагрузкой АК (А11) и НК-80 при расчёте однорядной свайной опоры

Вычисляется опорное усилие от постоянной нагрузки:

$$F_q = \{\gamma_{fH} \times g_H + \gamma_{fB} \times g_B + \gamma_{fП} \times g_{П}\} \frac{L_p^{\text{прав}} + L_p^{\text{лев}}}{2}$$

где  $q^B$ ,  $q^H$  и  $q^П$  – нагрузки от массы верхнего, нижнего настилов и прогона,  $L_p^{\text{прав}}$ ,  $L_p^{\text{лев}}$  – расчётные пролеты левого и правого пролетных строений.

Опорное усилие от временной вертикальной нагрузки А11 вычисляют по формуле:

$$F_{\text{вр}}^{\text{АК}} = 0.5 \left\{ \gamma_{fP} P^{\text{АК}}(y_1 + y_2) + \gamma_{fv} \cdot V^{\text{АК}} \frac{L_p^{\text{прав}} + L_p^{\text{лев}}}{2} \right\}$$

Опорное давление от временной вертикальной нагрузки НК-80 вычисляют по формуле:

$$F_{\text{вр}}^{\text{АК}} = 0.5 \left\{ \gamma_{fP} P^{\text{АК}}(y_1 + y_2) + \gamma_{fv} \cdot V^{\text{АК}} \frac{L_p^{\text{прав}} + L_p^{\text{лев}}}{2} \right\}$$

Насадка опоры работает как неразрезная балка, опорами которой служат сваи. С достаточной точностью допускается в расчётах неразрезность насадки балку, учитывая при помощи редуцирующих коэффициентов, которые применяются к формулам разрезных балок:  $H_{np} = 0.5$  – для середины пролета насадки;  $H_{on} = 0.7$  – для опорного сечения насадки.

Изгибающий момент в насадке вычисляют по формуле:

$$M = F_{\text{вр}}^{\text{макс}} \frac{L_H}{4} + F_g \frac{L_H}{4}$$

где  $F_{\text{вр}}^{\text{макс}}$  – максимальное опорное давление от временной нагрузки  $L_H$  – расчетный пролет насадки (расстояние между осями свай).

Изгибающий момент в пролете:  $M_{\text{пр}} = M_{\text{пр}} \cdot H_{\text{пр}}$ .

Изгибающий момент над опорой  $M_{\text{пр}} = M_{\text{оп}} \cdot H_{\text{оп}}$ .

Назначаемся диаметром бревна насадки  $d_{\text{нас}}$  с двухсторонней стеской. Вычисляется момент сопротивления сечения насадки нетто  $W_{nt}$  с учетом стески в местах крепления насадки. Проверку прочности насадки выполняют по формуле:

$$\sigma = \frac{M}{W_{\text{пр}}} < R_{db}$$

Вычисляем перегрузку или недогрузку.

Проверка насадки на смятие в месте сопряжения со свайей или прогоном производится по максимальному расчетному опорному усилию  $F = F_{\text{вр}}^{\text{макс}} + F_g$ . Задаваясь диаметром сваи  $d_{\text{св}}$  и стеской в интервале  $(d/4 - d)$ , можно определить площадь смятия  $A_{\text{см}}$  (Рис. 11).

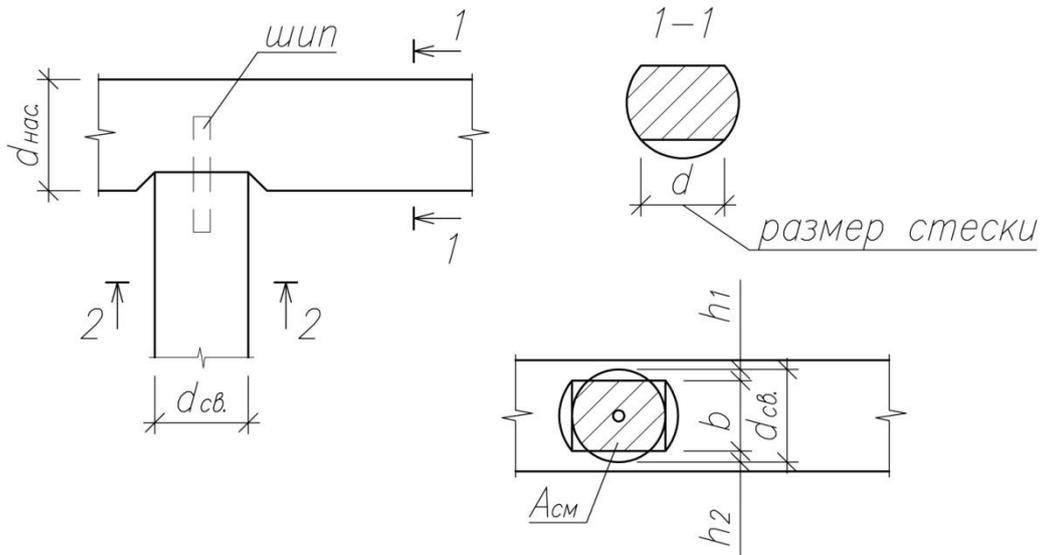


Рис. 11. Схема определения площади смятия насадки

Проверка прочности на смятие насадки поперек волокон древесины выполняется по формуле:

$$\frac{F}{A_{см}} \leq R_{dq},$$

$R_{dq}$  – расчётное сопротивление древесины на смятие поперек волокон.

При перенапряжении более 5 % необходимо увеличить диаметры насадки и сваи, при необходимости можно увеличить количество рядов свай. В этом случае максимальное опорное давление ( $F$ ) будет делиться между рядами свайной опоры.

Сваю диаметром  $d_{св}$ , назначенный из условия смятия насадки, проверяют на прочность, как центрально сжатый стержень с учетом возможной потери устойчивости по формуле:

$$\frac{F}{A_d} \leq \varphi R_{ds}$$

где  $R_{ds}$  – расчетное сопротивление древесины на сжатие вдоль волокон;  $A_d$  – площадь сечения сваи брутто;  $\varphi$  – коэффициент продольного изгиба при проверке устойчивости центрально-сжатых элементов, равный

$$\text{при } \lambda > 70, \quad \varphi = \frac{3000}{\lambda^2}; \quad \text{при } \lambda \leq 70, \quad \varphi = 1 - 0.8 \left(\frac{\lambda}{100}\right)^2$$

$\lambda$  – гибкость сваи  $\frac{l_0}{i}$ ;  $l_0$  – расчетная длина сваи, равная расстоянию от насадки до ближайшей горизонтальной схватки;  $i$  – радиус инерции сечения сваи  $\frac{d_{св}}{4}$ .

Если условие не выполняется, то следует уменьшить расчетную длину сваи или увеличить ее диаметр.

### Список литературы

1. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\* – М. : Минстрой России, 2011. – 341 с.
2. ГОСТ Р 52748–2007. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения. – М. : Стандартинформ, 2008. – 9 с.
3. Проектирование деревянных и железобетонных мостов: учеб. для вузов; под ред. А.А. Петропавловского. – М.: Транспорт, 1978. –359с.
4. Проектирование деревянных мостов: учеб. для вузов / Е.Е. Гибшман. – М.: Транспорт, 1976. –272с.
5. Методические указания к курсовому проектированию деревянного моста / Боровиков А.Г., Картоальцев В.М. – Томск: ТГАСУ, 2009. – 42с.

Приложение 1

Формулы для вычисления геометрических характеристик для различных сечений бревен

Профиль сечения	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Расстояние от нейтральной оси до крайних волокон, см		Момент инерции относительно оси x, см <sup>4</sup>	Момент сопротивления относительно оси x, см <sup>3</sup>
		До верхних	До нижних		
Бревно	$0.7854d^2$	0.5d	0.5d	$0.0491d^4$	$0.0982d^3$
Стежка d/2 с одной стороны	$0.7627d^2$	0.4467d	0.4853d	$0.0442d^4$	$0.0908d^3$
Стежка d/3 с одной стороны	$0.7790d^2$	0.4754	0.4959	$0.0476d^4$	$0.0959d^3$
Стежка d/4 с одной стороны	$0.7829d^2$	0.4857	0.4983	$0.0485d^4$	$0.0974d^3$
Стежка d/2 с двух сторон	$0.7401d^2$	0.4330	0.4330	$0.0395d^4$	$0.0912d^3$
Стежка d/3 с двух сторон	$0.7726d^2$	0.4713	0.4713	$0.0461d^4$	$0.0978d^3$
Стежка d/4 с двух сторон	$0.7801d^2$	0.4841	0.4841	$0.0479d^4$	$0.0989d^3$
Пластина	$0.3927d^2$	0.2122	0.2878	$0.0069d^4$	$0.0238d^3$

Приложение 2

Расчетные характеристики сосны

Напряжённое состояние и характеристика элементов	Расчётные сопротивления, МПа, при влажности, %		
	обозначение	25 и менее	свыше 25
Изгиб -бревен естественной коничности; -элементов из брусьев и окантованных брёвен; -досок, пластин	$R_{db}$	17.7	15.2
		15.7	13.7
		13.7	11.8
Сжатие и смятие вдоль волокон	$R_{dc}, R_{dqs}$	14.7	11.8
Сжатие и смятие всей поверхности поперёк волокон	$R_{dq}$	1.77	1.47
Сжатие и смятие местное поперёк волокон	$R_{dqa}$	определяется по формуле	определяется по формуле
Скалывание вдоль волокон при изгибе	$R_{dab}$	2,35	2,15

$$R_{dqa} = R_{dq} \cdot \left(1 + \frac{8}{l_s + 1.2}\right),$$

где  $l_s$  – длина площадки смятия вдоль волокон древесины, см.

Приложение 3

Коэффициенты перехода для расчётных сопротивлений различных пород древесины

Порода дерева	Растяжение, изгиб, сжатие и смятие вдоль волокон	Сжатие и смятие поперек волокон	Скалывание
Ель	1.0	1.0	1.0
Лиственница	1.2	1.2	1.0 (0.9)
Пихта	0.8	0.8	0.8
Дуб	1.3	2.0	1.3
Ясень	1.3	2.0	1.6
Бук	1.1	1.6	1.3

В скобках для клееных конструкций

Приложение 4

Наименьшие размеры деревянных элементов

Элемент	Нормируемый размер поперечного сечения	Наименьший размер нормируемого размера для автодорожных мостов, см
Брусья - основные элементы; - дополнительные элементы (связи, накладки, и другие)	Большая сторона	16 8
Доски	Толщина	4
Бревна - основные элементы; - сваи; - накатник; - схватки;	Диаметр на отрубе	18 22 14 14
Пластины	Радиус круга	9
Для клееных балок толщина досок не должна превышать после обработки 3.3 см		

Приложение 5

Коэффициенты надежности по нагрузке

Нагрузка и воздействие	Коэффициент надежности, $\gamma_f$
Вес деревянных конструкций	1.2
Равномерно распределенная нагрузка от АК (А11)	1.15
Тележка АК (А11)	1.5
Тележка НК	1.2

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению курсовой работы по дисциплине «Конструкции  
быстровозводимых мостов в условиях севера и чрезвычайных ситуаций»  
для студентов по направлению подготовки **08.03.01 «Строительство»**  
профиль «**Автодорожные мосты и тоннели**»

Составители Т.А. Зиннуров, И.Ю. Майстренко, Д.А. Валиуллин

Подписано в печать

Заказ №

Тираж экз.

Печать

ризографическая  
Бумага офсетная. №1

Формат 60x84/16

Усл. печ.л.

Уч.-изд.л.

---

Издательство КГАСУ  
420043, Казань, Зелёная, 1