

УДК 674.8:630\*836.002.5

РАСЧЕТ ШПАЛ ДЛЯ ТРАМВАЙНЫХ ПУТЕЙ  
(ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА)

Стородубцева Т.Н.

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Воронежский государственный  
лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова»

Email: tamara-tns@yandex.ru

**Аннотация:** В статье приведен частичный расчет шпал для экологического вида транспорта – трамвая, определены нормальные и касательные напряжения, выбрана удобная для расчета схема, предусматривающая опирание шпалы на балласт с постоянным по всей длине коэффициентом постели.

**Ключевые слова:** трамвайные шпалы, экологический транспорт, прочность.

CALCULATION OF SLEEPERS FOR TRAMWAYS  
(ECOLOGICAL TRANSPORT)

Storodubtseva T.N.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
«Voronezh State Forestry University. G.F. Morozova»

Email: tamara-tns@yandex.ru

**Summary:** The article provides a partial calculation of sleepers for the ecological mode of transport - tram, normal and tangential stresses are determined, a scheme convenient for calculation is selected, providing for the support of the sleepers on ballast with a constant bed coefficient throughout the length.

**Keywords:** tram sleepers, ecological transport, strength.

В последнее время обратили внимание на трамвай, стоимость инфраструктуры и подвижного состава которого существенно ниже, чем метрополитена. Признаны такие достоинства трамвая, как высокая провозная способность и скорость движения поездов (при выделении обособленных полос), а также экологическая чистота (при принятии мер по уменьшению шумового воздействия на окружающую среду). Таким образом, возникли условия для возвращения трамвая в города. В течение последних лет трамвай появился впервые или

возродился примерно в 30 городах более 10 стран мира [1, 2].

В настоящее время самым «трамвайным» городом мира является Санкт-Петербург. Ежегодно 2000 поездов трамвая перевозят по линиям общей протяженностью более 700 км около 1 млрд. пассажиров. На втором месте находится Москва с 1000 поездами трамвая, протяженностью линий 450 км и объемом перевозок около 400 млн. пассажиров в год. Трамвайные сообщения распространены в основном в городах Восточной и Центральной Европы. Наибольшим числом городов с трамвайным сообщением располагает Германия: здесь трамваи есть в 52 городах, причем в 20 из них численность населения не превышает 200 тыс. чел. [3, 4].

Мы произвели расчет шпал для трамвайных путей из водостойкого долговечного древесностекловолоконистого композиционного материала, получаемого с использованием отходов лесного комплекса в изделиях транспортного строительства с частичной заменой дерева и железобетона [5-7].

В источнике [4] указывается, что трамвайные пути работают в несравненно более тяжелых условиях, чем железнодорожные пути. Основная нагрузка, которая воспринимается трамвайными путями и создает напряженное состояние в них, – давление от колес движущихся трамвайных вагонов.

Кроме давления колес трамвайных вагонов, напряженное состояние в элементах пути возникает в результате колебания температуры воздуха, так как трамвайные пути, в отличие от железнодорожных, укладываются без зазоров в стыках и сваривают в большие плети.

Расчеты трамвайных путей заключаются в определении напряжений и выявлении необходимых размеров отдельных их элементов – рельсов, балласта и основания, обеспечивающих долговечность и надежность работы всей конструкции в целом.

Так как трамвайный путь связан с улицей в целом и является сложным элементом проезжей части городской дороги, то учесть весь комплекс явлений, происходящих при его деформации, чрезвычайно трудно.

Поэтому в расчетных схемах трамвайных путей делают ряд допущений, игнорирующих некоторые факторы, сравнительно мало влияющие на напряженное и деформированное состояние пути.

Основными из этих допущений являются следующие. Трамвайный путь рассматривается изолированно от проезжей части улицы. Учитываются только вертикальные силы, действующие на рельсы. Расчет ведется на статическую нагрузку. Динамическая нагрузка учитывается лишь введением динамического коэффициента в конечные результаты расчета. (Например, динамический ко-

коэффициент для определения давления на грунт принимают равным  $K_0 = 1,10$  [4, с. 140]. Рельс рассматривают как балку бесконечной длины, лежащую на однослойном или многослойном упругом основании.

В настоящее время создано много разнообразных конструкций трамвайных путей. Все конструкции разбиты на две основные группы: 1) пути на упругих основаниях, построенных по принципу железнодорожных путей; 2) пути на жестких основаниях.

Трамвайные пути на упругих основаниях рассчитываются по методу, принятому для расчета железнодорожных путей. При этом шпала рассматривается как балка конечной длины на упругом основании.

Методика расчета шпалы из водостойкого долговечного древесностекловолоконного композиционного материала.

Шпалы рассчитывают на выносливость, трещиностойкость, давление на балласт, смятие в подрельсовой зоне. Расчеты на выносливость и трещиностойкость предполагают определение напряжений (нормальных и касательных) в поперечных сечениях шпалы.

Нормальные напряжения в поперечных сечениях шпалы определяют методом сопротивления материалов по формуле Навье [5, с. 162]:

$$\sigma_z = -\frac{M_x \cdot y}{I_x}, \quad (1)$$

где  $M_x$  – изгибающий момент в поперечном сечении;  $I_x$  – момент инерции поперечного сечения относительно главной центральной оси  $X$ ;  $y$  – координата точки, в которой определяется напряжение.

Касательные напряжения также определяют методом сопротивления материалов по формуле Журавского [5, с. 201]:

$$\tau_{xy} = \frac{Q_y \cdot S_x^{ob}(Y)}{e(Y) \cdot I_x} \quad (2)$$

где  $Q_y$  – поперечная сила в сечении;  $S_x^{ob}(Y)$  – статический момент площади сечения обреза, лежащего выше координаты  $y$ , для которой определяется  $\tau_{zy}(Y)$ ;  $e(Y)$  – ширина обреза при координате  $Y$ ;  $I_x$  – то же, что и в формуле (1).

Давление на балласт определяют по зависимости [6, с. 120]:

$$\sigma_{БАЛ.} = U \cdot Y^* , \quad (3)$$

где  $U$  – коэффициент постели шпалы;  $Y^*$  – прогиб шпалы.

Напряжения смятия в шпале в подрельсовой зоне определяют по формуле [8, с. 249]:

$$\sigma_{ш} = \frac{Q}{\omega} , \quad (4)$$

где  $Q$  – сила давления рельса на шпалу (в дальнейшем обозначим  $Q = P_w$ );  $\omega$  – площадь передачи нагрузки на шпалу.

Известно [9, с.213], что

$$M_x(Z) = I_x \cdot E \cdot \frac{d^2 y}{dZ^2} , \quad (5)$$

$$Q_y = \frac{dM_x}{dZ} = E \cdot I_x \cdot \frac{d^3 y}{dZ^3} , \quad (6)$$

где  $y(Z)$  – функция прогибов стержня;  $E$  – модуль нормальной упругости материала;  $I_x$  – то же, что и в формуле (1).

Следовательно, необходимым условием расчета шпалы является определение нагрузок на шпалу и определение функции прогибов шпалы. Поэтому методика расчета шпалы должна иметь вид:

- 1 Выбор расчетной схемы шпалы.
- 2 Расчет нагрузки на шпалу.
- 3 Определение функции прогибов шпалы.
- 4 Определение прогибов шпалы и давления на балласт.
- 5 Определение изгибающих моментов и нормальных напряжений в поперечных сечениях шпалы.

6 Определение поперечных сил и касательных напряжений в поперечных сечениях шпалы.

7 Расчет шпалы на выносливость:

а) расчет на выносливость в сжатой зоне под рельсом по условию

$$|\sigma_{СЖ}|_{max} \leq [\sigma_{СЖ}]_B , \text{ где } [\sigma_{СЖ}]_B - \text{допускаемое напряжение сжатия на выносливость.}$$

б) расчет на выносливость в растянутой зоне по условию

$$\sigma_{РАСТ.MAX} \leq [\sigma_{РАСТ}]_B , \text{ где } [\sigma_{РАСТ}]_B - \text{допускаемое напряжение растяжения на}$$

выносливость.

8 Расчет шпалы на трещиностойкость по условию

$$\sigma_{РАСТ.МАХ} \leq [\sigma_{РАСТ}]_{ТР},$$

где  $[\sigma_{РАСТ}]_{ТР}$  – допускаемое напряжение растяжения на трещиностойкость.

9 Расчет шпалы на смятие в подрельсовой зоне по условию

$$\sigma_{СЖ} = \frac{P_{Ш}}{\omega} \leq [\sigma_{СМ}],$$

где  $[\sigma_{СМ}]$  – допускаемое напряжение на сжатие.

Выбор расчетной схемы шпалы.

При расчете железнодорожных шпал применяют расчетные схемы, показанные на рисунке 1 [6, с. 110].

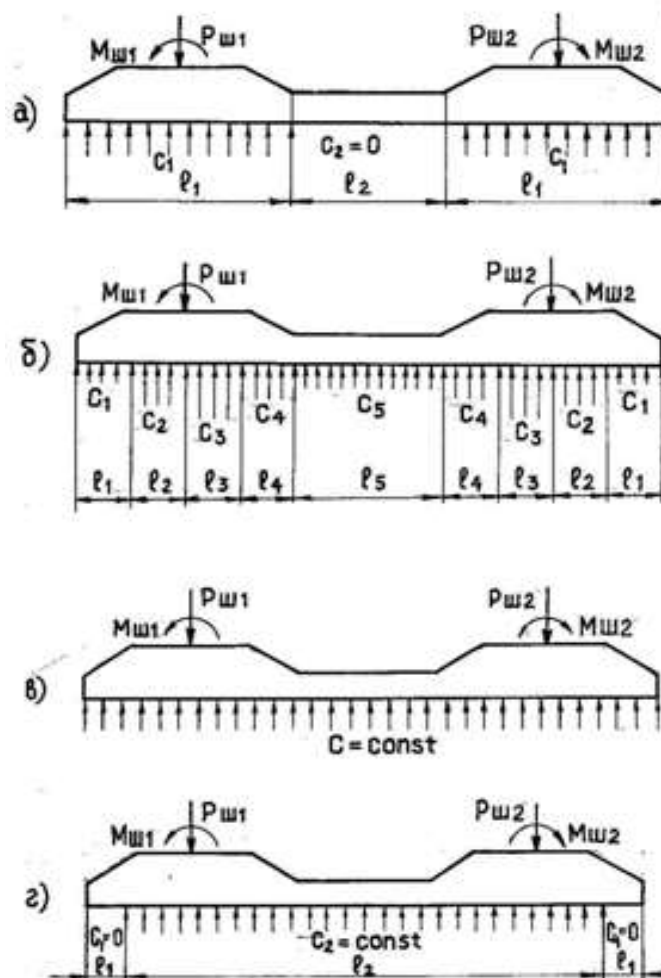


Рисунок 1 – Расчетные схемы шпалы

Начальному периоду работы шпалы после ее укладки в путь или после ремонта пути с подъемом и выправкой соответствует схема, показанная на рисунке 1,а. В этот период середина шпалы либо совсем не опирается на балласт, либо ее опирание очень слабое. Это обусловлено тем, что при укладке железобетонных шпал для уменьшения отрицательного изгибающего момента в средней части шпалы применяют различные конструктивные мероприятия [10]. Чаще всего поверхность балластной призмы планируют с устройством небольшого углубления (канавки) по оси колеи.

При дальнейшей эксплуатации шпалы распределение плотности балласта под ней принимает вид, показанный на рисунке 1,б. Эта схема в наибольшей степени отражает фактические условия работы шпалы в пути. Однако, из-за отсутствия достаточных экспериментальных данных для назначения размеров  $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5$  и коэффициентов  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$  использование этой схемы в практических расчетах невозможно.

Наиболее удобной для расчетов является схема, показанная на рисунке 1, в, предусматривающая опирание шпалы на балласт с постоянным по всей длине коэффициентом постели ( $C = \text{Const}$ ). Такое опирание шпалы реально существует при ее работе в пути и подтверждается удовлетворительным совпадением результатов испытаний с расчетными данными.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Rail International, 2000, № 4, p. 28-36.
- 2 Реформа железнодорожной отрасли. «Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года». Правительство Российской Федерации : № 877-р от 17.06.2008; 2003-2010 ОАО "РЖД". – Свидетельство о регистрации : СМИ Эл № ФС77-25927. – Эл. ресурс rzd.ru.
- 3 Батисс, Ф. (F. BATISSE). Комбинированные системы общественного рельсового транспорта / Ф. Батисс. – ЖДМ № 8, 2000. – 4 с.
- 4 Сосянц, В. Г. Городские рельсовые пути и дороги [Текст] / В. Г. Сосянц. – 2-е изд. М. : Стройиздат, 1965. – 334 с.
- 5 Александров, А. В. Сопротивление материалов [Текст] : Уч. для вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин. – М. : Высш. шк., 1995. – 560 с.

6 Железобетонные шпалы для рельсового пути [Текст] / А. Ф. Золотарский, Б. А. Евдокимов, Н. М. Исаев [и др.] / Под ред. д-ра техн. наук, проф. А. Ф. Золотарского. – М. : Транспорт, 1980. – 270 с.

7 Стородубцева, Т. Н. Исследование прочностных характеристик древесно-полимерного композита в изделиях специального назначения [Текст] / Т. Н. Стородубцева, Д. С. Григорьев // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика : сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. – Воронеж, 2017. – Т. 5, № 5 (31). – С. 361-366.

8 Шахунянц, Г. М. Железнодорожный путь [Текст] / Изд. 3-е перераб. и доп. М. : Транспорт, 1987. – 479 с.

9 Прочность, устойчивость, колебания [Текст]. Справочник в трех томах. Т. I. / Под ред. д.т.н., проф. И. А. Биргера и чл.-корр. АН Латвийской ССР Я. Г. Пановко. – Машиностроение. И. : 1968. – 733 с.

10 Науменко, В. С. Взаимодействие рельсового пути с подвижным составом ГЭТ и расчет пути на прочность [Текст] : Уч. пос. / В. С. Науменко. – МЭИ, Москва, 1973. – 113 с.