

ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ОСЖД)

II издание

Разработано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 17 – 20 сентября 2013 г.,
Республика Болгария, г. Враца

Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 28 – 31 октября 2013 г.,
Комитет ОСЖД, г. Варшава

Дата вступления в силу: 31 октября 2013 г.

Примечание: Теряет силу I издание от 10.09.1987 г.

Р
774/2

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ НА УСТАЛОСТЬ С УЧЕТОМ РЕЖИМА ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

1. Предварительные замечания

Основой для расчета эксплуатационной усталостной прочности являются:

- принятые динамические нагрузки;
- характеристики материалов (в зависимости от применяемой марки стали);
- конструкции соединений элементов (концентраторы напряжений);
- по возможности наиболее правильно выбранная гипотеза повреждений.

Принимая во внимание индивидуальные особенности железных дорог, данные рекомендации могут быть использованы как основа для разработки методики для отдельной дороги.

2. Определение

В отличие от обычно применяемого расчета на усталостную прочность, при расчете эксплуатационной усталостной прочности учитывается тот факт, что в деталях железнодорожных мостов при движении по ним поездов возникают различные по величине колебания напряжений, которые в зависимости от своей величины и частоты вносят определенную долю в усталостное повреждение. Таким образом, обеспечивается более реальная оценка уровня безопасности сооружения.

3. Принцип проведения расчета

Этот расчет целесообразно осуществлять в виде расчета усталостной прочности, увеличенной на коэффициент эксплуатационной нагрузки "В". Этот коэффициент содержит в себе все параметры, взаимосвязанные с усталостью. Он определяется по режимам загрузки, используя гипотезу повреждений, а также с помощью диаграмм усталостной прочности для одноступенчатых режимов загрузки. Расчет получает следующий общий вид:

$$n B \times \Delta \sigma_{p. \max} \leq \Delta \sigma_{p. \text{доп}} \quad (1)$$

$$n B \times \Delta \tau_{p. \max} \leq \Delta \tau_{p. \text{доп}} \quad (2)$$

$$\Delta \sigma_{p. \max} = \sigma_{p. \max} - \sigma_{p. \min} \quad (3)$$

$$\Delta \tau_{p. \max} = \tau_{p. \max} - \tau_{p. \min} \quad (4)$$

где: $n B$ - коэффициент эксплуатационной нагрузки;
 $\Delta \sigma_{p. \max}$; $\Delta \tau_{p. \max}$ - максимальный размах напряжений от динамической нагрузки.

Максимальные и минимальные напряжения от динамической нагрузки определяются от действующих нагрузок, включая динамический коэффициент.

$\Delta \sigma_{p. \text{доп}}$; $\Delta \tau_{p. \text{доп}}$ - допускаемая разница напряжений при одноступенчатой нагрузке и числе циклов нагружений - $N_p = 2,0 \times 10^6$.

4. Определение коэффициента эксплуатационной нагрузки.

4.1. Анализ динамической нагрузки и определение режимов нагружения.

На основании статистического анализа параметров парка подвижного состава, таких как база и нагрузка от оси, а также оценки прогноза его развития следует выделить типовые единицы рельсового подвижного состава. К ним целесообразно отнести:

- 6-осный тяговый подвижной состав;
- 4-осные пассажирские вагоны;
- 2-, 4- и 6-осные грузовые вагоны;
- 20 и 32-осные большегрузные вагоны.

Эти типы подвижного состава нужно сгруппировать, учитывая соответственно специальные условия эксплуатации, в виде транспортной модели, состоящей из:

- случайно сформированных грузовых поездов;
- маршрутных грузовых поездов;
- пассажирских поездов;
- тяжеловесных поездов.

Следует определить максимальное количество поездов в день, доли соответствующих видов поездов в общем объеме перевозок, среднего тоннажа брутто на поезд и общего тоннажа в день.

С помощью сформулированной таким образом транспортной модели следует путем расчетов определить режимы нагружения при различных статических системах и при варьировании расстояний между опорами и пунктов сопряжения. При этом следует исследовать:

- моменты и поперечные силы в однопролетных главных и поперечных балках;
- опорные и пролетные моменты, а также поперечные силы в многопролетных главных баллах;
- опорные и пролетные моменты, а также поперечные и опорные силы в сквозных фермах.

В качестве динамического коэффициента; следует использовать не показатель, являющийся определяющим при статическом расчете, а уменьшенный динамический коэффициент, действующий при эксплуатации.

$$\Phi_B = 1 + \frac{2}{3}(\Phi_N - 1) \quad (5)$$

По полученным таким образом режимам нагружения, пользуясь надлежащим методом вычислений (рекомендуется метод "Рейнфлюу"), следует разработать для устанавливаемого нормативного срока службы интервалы напряжений $\Delta\sigma$, являющиеся определяющими для усталости, по их величине и числу циклов.

4.2. Параметры материалов

Основанием для расчета служат кривые усталостной прочности (диаграмма Валера) для одноступенчатой нагрузки в зависимости от формы конструкции (концентратора напряжений).

Примеры по классификации конструкционных форм представлены, в приложении 1.

Результаты, анализа национальных и международных исследований свидетельствуют о том, что сваренные образцы с внутренними напряжениями, имеющие размер конструкционных деталей, дают меньшие значения усталостной прочности, чем образцы малых размеров, и что в формах конструкций с большим надрезом возникает падение усталостной прочности вплоть до предельного числа циклов нагрузки $N_p = 2,0 \times 10^6$.

Параметры материала и усталостной прочности для распространенной конструкционной стали S 38 приведены в приложении 2.

4.3. Накопление повреждений и гипотеза повреждений

Для определения коэффициента эксплуатационной нагрузки за основу берется линейное накопление повреждений. Оно исходит из того, что каждая нагрузка при многоступенчатом нагружении вызывает частичное повреждение, которое суммируется с повреждениями, возникшими вследствие предыдущих нагрузок. Линейные теории предполагают общее повреждение вне зависимости от очередности частичных повреждений.

Повреждение, вызываемое циклом напряжений от многоступенчатой нагрузки, имеющей амплитуду напряжений $\Delta\sigma_j$, составляет $1/N_j$. При этом N_j – число циклов нагрузки до разрушения при одноступенчатой нагрузке с амплитудой $\Delta\sigma_j$ и определяется по диаграмме Вёлера.

Число n_j циклов напряжений при $\Delta\sigma_j$ вызывает тем самым повреждение n_j/N_j

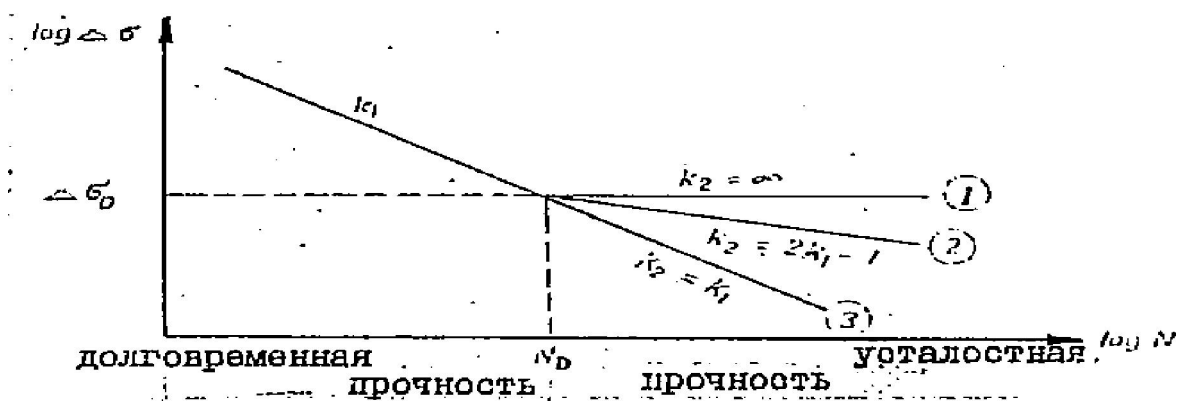
Все циклы напряжений режима дают сумму повреждений:

$$S = \sum \frac{n_j}{N_j}$$

Разрушение наступает тогда, когда сумма повреждений $S = 1$.

Гипотеза повреждения необходима, чтобы многоступенчатый режим, состоящий из интервалов напряжений различной величины и частоты, преобразовать в одноступенчатый режим, эквивалентный повреждению. Тем самым можно осуществлять оценку с помощью кривых усталостной прочности для одноступенчатого режима.

Сопоставительные исследования показали, что в отношении типичных для железнодорожных мостов режимов с большим "числам циклов нагрузки при малых напряжениях гипотеза повреждения по "Хайбаху" дает более достоверные результаты, чем гипотеза по "Майнеру" или по "Кортену и Долану" (сравни чертеж внизу).



1. Гипотеза повреждения по "Майнеру":

$$\Delta\sigma_j \geq \Delta\sigma_0 \longrightarrow k_1; \quad \Delta\sigma_j < \Delta\sigma_0 \longrightarrow k_2 = \infty;$$

2. Гипотеза повреждения по "Хайбаху":

$$\Delta\sigma_j \geq \Delta\sigma_0 \longrightarrow k_1; \quad \Delta\sigma_j < \Delta\sigma_0 \quad k_2 = 2k_1 - 1$$

3. Гипотеза повреждения по "Коргену и Долану";

$$4. \Delta\sigma_j \geq \Delta\sigma_0 \longrightarrow k_1; \quad \Delta\sigma_j < \Delta\sigma_0 \quad k_2 = k_1$$

Поэтому в случаях расчета эксплуатационной прочности для железнодорожных стальных мостов рекомендуется использовать гипотезу повреждения по "Хайбаху".

Исследования указывают далее на то, что существует зависимость экспонента диаграммы Вёлера k_2 в зоне усталостной прочности от предварительного повреждения в зоне долговременной прочности. Этот факт можно успешно попользовать для модификации гипотезы Хайбаха.

4.4. Определение числовых значений коэффициента эксплуатационной нагрузки

Величина коэффициента эксплуатационной нагрузки зависит от соответствующих принятых динамических нагрузок, гипотезы повреждения, диаграмм допускаемой или выдерживаемой усталостной прочности, в зависимости от концентраторов напряжений, а также от принятых динамических нагрузок, предписанных для расчета усталостной прочности и допускаемых напряжений.

Пример определения коэффициента эксплуатационной нагрузки показан в приложении 3.

Сопоставительные исследования показали, что на коэффициент эксплуатационной нагрузки nB конструкции, для которой осуществляется расчет влияют следующие параметры:

- пролет между опорами;
- место расположения сечения элемента;
- количество путей на пролетном строении;
- форма конструкции (концентраторы напряжений).

Путем сопоставительных расчетов и варьирования этих параметров можно разложить коэффициент эксплуатационной нагрузки nB на 4 подкоэффициента.

Подкоэффициент $nB1$ - учитывает влияние определяющей длины L . Для него действует следующая закономерность:

$$nB1 = A + \frac{B}{L} \leq C,$$

где: A , B , C - постоянные, выведенные из результатов сопоставительных расчетов.

L - пролет между опорами, длина линии влияния или в случае поперечных балок - сумма пролетов между опорами обоих примыкающих пролетов продольной балки, опирающейся на поперечные балки.;

Коэффициент эксплуатационной нагрузки уменьшается с увеличением длины пролета между опорами и показывает, что при малой длине пролетов имеет место более сильная усталостная опасность.

Подкоэффициент $nB2$ учитывает влияние расположения сопряжения. Для моментов это влияние не является характерным, поэтому:

$$nB2 = 1,0.$$

Для поперечных сил $nB2$ увеличивается от опоры к середине пролета.

Подкоэффициент $nB3$ учитывает влияние количества путей. Для продольных, поперечных и главных балок однопутного пролетного строения действует:

$$nB3 = 1,0.$$

Для поперечных и главных балок двухпутного пролетного строения $nB3$ зависит от отношения напряжения по исследуемому сечению вследствие нагрузки пути, находящегося в наиболее неблагоприятном состоянии, к напряжению от нагрузки обоих путей.


Подкоэффициент $nB4$ учитывает влияние формы конструкции. Он возрастает с увеличением влияния от надреза, что отвечает соответствующему уменьшению усталостной прочности.

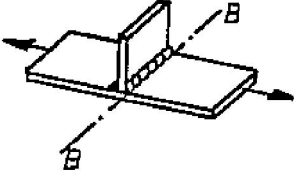
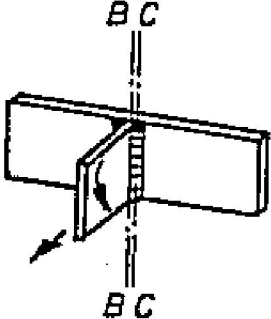
Коэффициент эксплуатационной нагрузки nB равен:

$$nB = nB1 \times nB2 \times nB3 \times nB4$$

В случае типовых вариантов, часто встречающихся в практике, расчет может быть существенно облегчен, принимая значения подкоэффициентов из таблиц.

ПРИМЕРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЙ КОНСТРУКЦИОННЫХ ФОРМ (КОНЦЕНТРАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЙ).

СХЕМА	ОПИСАНИЕ	СЛУЧАИ НАДРЕЗА		
		Основной материал		Сварной шов
		без воздействия А-А	под воздействием В-В	С-С
1	2	3	4	5
	Основной материал - поверхность проката без надреза	0	-	-
	Приваренная закругленная фасонка жесткости	-	2	2) ¹
	Сварной шов, нагрузка под прямым углом к шву	-	$1.2.3.5)^2$	$1.2.3.5)^2$

1	2	3	4	5
	<p>Основной материал с поперечным швом (НУ или К – образный угловой шов: клиновой без надреза нормальный переход односторонний</p>	<p>- - -</p>	<p>3 4 5</p>	<p>- - -</p>
	<p>Т – образный или крестовидный стык с двойным угловым швом: переход без надреза переход обычный</p>	<p>- -</p>	<p>5 6</p>	<p>6 6</p>

1. Наивысший класс выполнения сварки
2. В зависимости от класса выполнения сварки.
3. Шлифовка шовного перехода в направлении приложенных сил.

Параметры материала и вспомогательные значения для расчета эксплуатационной прочности для стали S 38.

Параметры стали:

- предел текучести при растяжении 240 Н/мм²;
- предел прочности при растяжении 380 Н/мм²;
- относительное удлинение: при разрыве 25 %.

Форма конструкции	Н/мм ²	N _σ 10 ⁶	Н/мм ²	Наклон диаграммы Веллера	
	$\Delta\sigma_{p. доп}$ (N _σ 10 ⁶)		$\Delta\sigma_{p. доп}$	k ₁	k ₂
0	168,0	2.00	168,0	6,5	12
1	147,0	2.00	147,0	6,5	12
2	126,0	2.00	126,0	3,5	6
3	105,0	2.48	98,0	3,5	6
4	84,0	3.23	73,3	3,5	6
5	69,0	4.68	56,3	3,5	6
6	58,0	5.05	44,5	3,5	6

Равенства диаграмм Веллера в зоне:

- долговременной прочности:
- усталостной прочности:

$$\log N_{iz} = D_z - k_1 \log \Delta \sigma_{iz}$$

$$\log N_{iD} = D_D - k_2 \log \Delta \sigma_{iD}$$

Форма конструкции	D_z	D_D
0	20.756	30.005
1	20.369	32.309
2	13.652	18.903
3	13.375	18.360
4	13.036	17.700
5	12.737	17.114
6	12.473	15.593