

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ РАСЧЕТЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ С ПРОЛЕТНЫМ СТРОЕНИЕМ ИЗ СТАЛЬНЫХ ФЕРМ

М.А. Кисель

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Приведены способы определения усталостной нагрузки, которые предлагаются в ТКП EN 1993-2–2009, при проектировании стальных железнодорожных мостов. Рассмотрены требования, которые предъявляются к элементам железнодорожного моста при оценке сопротивления усталости в процессе проектирования сооружения. Также рассмотрены некоторые вопросы актуальности данного расчета.

Ключевые слова: усталость металла, методы расчета, железнодорожный мост, стальные фермы, цикл воздействия, временная нагрузка.

В течение всего срока службы моста постоянно действующая временная нагрузка от движения железнодорожного транспорта создает многократно повторяющиеся циклы воздействий на элементы стальных ферм. Элементы конструкций вследствие такого воздействия подвержены развитию усталостных напряжений. Согласно правилам ТКП EN 1993-2–2009, п. 9.1.3 [1], все элементы железнодорожных мостов необходимо проверять на усталость металла. В отличие от пешеходных мостов или мостов, загруженных только статической нагрузкой, железнодорожные мосты в целом более подвержены усталостной нагрузке из-за высоких динамических нагрузок.

Основной принцип расчета на усталостные нагрузки состоит в нахождении количества циклов воздействия на стальной элемент в определенном диапазоне напряжений. После определения количества циклов воздействия необходимо проверить способность этого элемента выдерживать указанное количество циклов. Для проверки усталостной прочности стального элемента под действием циклической нагрузки можно использовать сумму Майнера:

$$\sum_i^n \frac{n_{Ei}}{N_{Ri}} \leq 1,0,$$

где n_{Ei} – количество циклов нагружения в заданном диапазоне напряжений; N_{Ri} – количество циклов нагружения в данном диапазоне напряжений, которое приведет к усталостному разрушению элемента.

На практике такой расчет окажется весьма трудоемким, поскольку напряжения в каждом элементе моста варьируются вследствие случайного характера движения железнодорожного транспорта. Отдельные элементы железнодорожного моста можно проверить при помощи такой процедуры, только зная режим воздействий, т.е. необходимо знать массу и количество каждого поезда, который будет проходить по каждому пути в течение всего срока службы моста, а также распределение нагрузки по колеям. Такие расчеты будут громоздкими, поскольку количество разных типов поездов, проходящих через мост в течение его срока эксплуатации, будет достаточно велико.

Для того чтобы упростить расчет, ТКП EN 1993-2–2009 [2], п. 9.2.3 дает возможность использовать упрощенную модель усталостной нагрузки 71 для железнодорожных мостов [3]. За основу берется тот факт, что усталостные напряжения вызывает один поезд, описывающий статическое воздействие вертикальной нагрузки. Напряжение, которое возникает в металлических элементах в результате действия такой нагрузки, корректируется с помощью коэффициентов, чтобы получить единый диапазон значений напряжения, который за 2 млн циклов нанесет мосту столько же повреждений, сколько реальный поток транспорта за весь срок службы моста.

При расчете железнодорожных мостов по ТКП EN 1993-2–2009, п. 9.4.1 применяется упрощенный метод эквивалентных напряжений для модели 71. Такой способ позволяет определить «контрольный диапазон усталостных напряжений»:

$$\Delta\sigma_p = |\Delta\sigma_{p\max} - \Delta\sigma_{p\min}|.$$

Это максимальное изменение напряжения в рассматриваемом элементе под действием усталостной нагрузки. После определения значения $\Delta\sigma_p$ напряжение необходимо перевести в эквивалентный диапазон значений напряжений для 2 млн циклов ($\Delta\sigma_{E2}$) таким образом, чтобы их можно было бы сравнивать с усталостными напряжениями, которые соответствуют 2 млн циклов напряжений одного диапазона. Для этого в ТКП EN 1993-2–2009, п. 9.4.1 приводится следующая формула:

$$\Delta\sigma_{E2} = \lambda\Phi_2\Delta\sigma_p,$$

где λ – коэффициент эквивалентности негативного воздействия, который определяется по ТКП TN 1993-2–2009, п. 9.5; Φ_2 – динамический

коэффициент эквивалентного негативного воздействия. Для железнодорожных мостов значение этого коэффициента определяется по ТКП EN 1991-2–2009.

Аналогичным образом рассчитывается диапазон для напряжений сдвига:

$$\Delta\tau_p = |\Delta\tau_{p\max} - \Delta\tau_{p\min}|;$$
$$\Delta\tau_{E2} = \lambda\Phi_2\Delta\tau_p.$$

После определения эквивалентных напряжений производится их подробный анализ и оценка по ТКП EN 1993-2–2009.

Актуальность данной темы не вызывает никаких сомнений, так как отечественные нормы не регламентировали расчеты железнодорожных мостов на усталость. Впервые такие требования были включены в СНиП 2.05.03–84* «Мосты и трубы». Однако дополнения 1991 г. не учитывали ряд специфических особенностей работы металлических элементов на усталостные напряжения в железнодорожных мостах.

В заключение хотелось бы отметить, что назрела необходимость проводить полноценные расчеты по определению усталостной нагрузки и усталостной прочности для существующих железнодорожных мостов на основании методики, изложенной в европейских нормах. Основная цель данного расчета заключается в том, чтобы определять остаточный ресурс уже существующих и эксплуатируемых пролетных строений, выполненных из стальных ферм.

Список литературы

1. Хенди К.Р., Мерфи К.Дж. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 3: Проектирование стальных конструкций. Ч. 2. Стальные мосты. EN 1993-2: пер. с англ. / МГСУ. – М., 2014. – 540 с.
2. ТКП EN 1993-2–2009. Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций. Ч. 2. Стальные мосты / МАиСРБ. – М., 2010. – 113 с.
3. ТКП EN 1991-2–2009. Еврокод 1: Воздействия на конструкции. Ч. 2. Транспортные нагрузки / МАиСРБ. – М., 2010. – 158 с.

Об авторе

Кисель Максим Александрович (Минск, Республика Беларусь) – ассистент кафедры «Мосты и тоннели», Белорусский национальный технический университет (220014, г. Минск, пр. Независимости, 150; e-mail: chief.kisel2012@yandex.ru).