

УДК 624.21.093.004

С. В. Чижов, Э. Т. ЯхшиевПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

О ТРЕБОВАНИЯХ К МОСТАМ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ДВИЖЕНИИ

Речь идет о требованиях к эксплуатируемым мостам по прочности, жесткости, устойчивости, аэродинамической и динамической нагрузке. Детерминистическим методом дана оценка риску, возникающему при высокой скорости состава, проходящего по двухпутному звеньевому, двухпутному бесстыковому и особому путям.

Рассмотрены факторы, влияющие на безопасность движения, затронуты особенности влияния руководящего уклона на эксплуатацию моста, а также требования к эксплуатации мостов с балластными и безбалластными путями и технические условия, так как их соблюдение является гарантией обеспечения определенной грузоподъемности, безопасности и пропускной способности мостового сооружения.

безопасность движения, аэродинамическая и динамическая нагрузка, риск, руководящий уклон, балластный и безбалластный путь.

Введение

Условия обеспечения безопасности при движении по мостовому переходу требуют определенных технических параметров прочности, жесткости и устойчивости моста в целом и каждого его элемента в отдельности, которые обязательно проверяются расчетами на основании установленных допусков и норм. Но не все эти вопросы можно решить расчетами, поэтому иногда возникает необходимость в обеспечении технических требований конструктивными мерами. Требования технических условий строго обязательны, так как их соблюдение является гарантией обеспечения определенной грузоподъемности и пропускной способности мостового сооружения.

Но степень соответствия техническим требованиям различных элементов конструкции может быть различна. В одном случае они выполнены в точном соответствии нормам, а в другом – с некоторым запасом. Например, подбор сечения сжатого металлического

стержня выполняется таким образом, чтобы нормативные требования по устойчивости и жесткости удовлетворялись точно по нормам (без всякого запаса против норм), а каменные своды даже нет необходимости проверять на эти показатели, потому что запасы по устойчивости в них гарантированно большие.

Так как технические требования должны выполняться во всех вариантах проектируемого мостового сооружения и речь может идти только о выполнении дополнительных гарантий безопасности, при сравнении различных вариантов значение критериев технического характера не является основным.

Кроме них, следует учитывать эксплуатационные требования.

Беспрепятственность и удобство движения по мосту обеспечивается соблюдением эксплуатационных требований. Основные из них:

- соответствие принятым габаритам строения;
- возможность (при необходимости) замены мостовых конструкций;

- доступность обеспечения всех частей моста для профилактических осмотров и выполнения ремонта;
- обеспечение безопасного пропуска паводков, ледоходов и корчехода;
- заземление всех металлических конструкций моста и железобетонных конструкций, поддерживающих контактную сеть;
- использование защитных покрытий в накрывных галереях пешеходного моста;
- для сооружений и зданий в зоне мостовых габаритов должны быть обеспечены противопожарные мероприятия [1].

1 Основные требования к эксплуатации мостовых сооружений

При несоблюдении указанных требований мы сталкиваемся с таким понятием, как риск. В настоящее время при анализе риска приняты следующие определения.

Риск – мера величины угрозы. Риск – это функция частоты нежелательного события и его последствий, например, потери жизни, экономических потерь, социальных возмущений, экологического ущерба.

Уровень риска определяют по величине риска, рассчитываемой по формуле

$$R = FR\{C, P\} = \sum [FR_i(P_i, C_i)]i, \quad (1)$$

где R – величина риска; FR – функционал, связывающий вероятность P возникновения события и математическое ожидание последствия (ущерба) C от этого события; P – вероятность (частота) возникновения события; C – величина последствия возникновения события; i – вид события. При расчете рисков и обеспечения безопасности сооружений используются детерминистические и вероятностные методы.

Детерминистические методы основаны на проектировании с использованием определенных величин коэффициентов надежности.

В этих методах вводятся некоторые допущения по отношению к переменным прочности (x_1, \dots, x_n) и нагрузки (y_1, \dots, y_m) . При этом определен запас между расчетной прочностью R и нагрузкой S создается общим коэффициентом надежности γ_0 . В формульном виде это условие записывается так:

$$\frac{R(x_1, \dots, x_n)}{S(y_1, \dots, y_m)} \geq \gamma_0. \quad (2)$$

Коэффициенты надежности в какой-то степени отражают неполное знание реальной геотехнической ситуации, а их величина зависит от опыта, накопленного при проектировании и эксплуатации сооружений. Коэффициенты надежности помогают проектировщику в экспертной оценке ситуации, однако они ни прямо, ни косвенно не учитывают аварии и ущерб, связанный с ними [2].

Для наглядного анализа риска приведен схематический график зависимости риска от скорости (см. рисунок).

По графику видно, что увеличение риска прямо пропорционально увеличению скорости. Это говорит о том, что проблема роста риска превалирует в данной ситуации, так как мы заинтересованы в увеличении скорости. Для этого мы должны обратить внимание на уклон, конструкционные особенности пути (балластный или безбалластный путь, стыковой или бесстыковой), а также на аэродинамические и динамические особенности мостов.

Наиболее распространенным ограничивающим (максимальным) уклоном продольного профиля является руководящий уклон. Он входит в состав основных технических параметров и выбирается по результатам технико-экономических обоснований.

При соответствующем обосновании можно применять различные значения руководящего уклона по направлениям.

Крутизну руководящего уклона на затяжных подъемах, когда скорость поезда становится близкой к минимальной расчетной, в кривых участках пути длиной K следует уменьшать на величину $i_{э(k)}$, эквивалентную

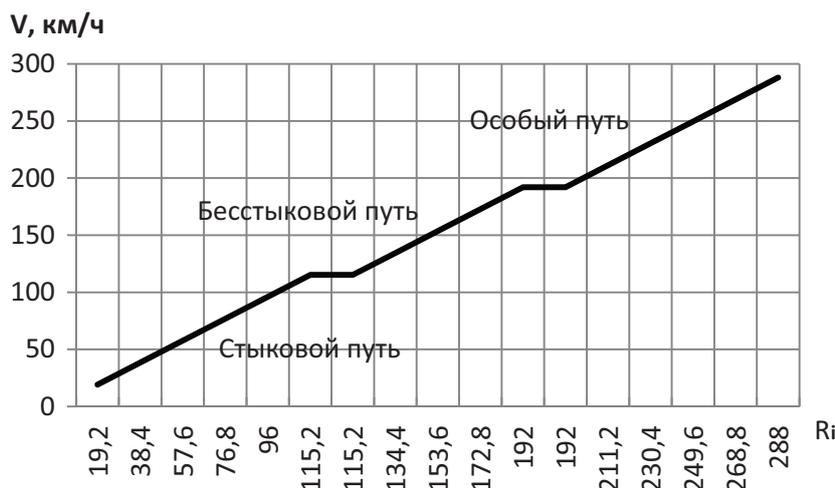


График зависимости риска от скорости

дополнительному сопротивлению от кривой, которая определяется по формулам:
при $K > l_{\text{п}}$ или $\Delta K > l_{\text{п}}$

$$i_{\text{э}(k)} = \frac{700}{R}, \quad (3)$$

при $K = l_{\text{см}}$, если $l_{\text{см}}$

$$i_{\text{э}(k)} = \frac{12,2 \times \alpha}{l_{\text{п}}}, \quad (4)$$

при $K > l_{\text{см}}$, если $l_{\text{см}}$

$$i_{\text{э}(k)} = \frac{12,2 \times \Delta \alpha}{l_{\text{п}}}, \quad (5)$$

при этом

$$\Delta \alpha = \frac{\Delta K \times \alpha}{K}, \quad (6)$$

где K – длина круговой кривой, м; $l_{\text{п}}$ – длина поезда, м; $l_{\text{см}}$ – длина участка смягчения руководящего уклона, м; $i_{\text{э}(k)}$ – уклон, эквивалентный дополнительному сопротивлению от кривой, ‰; R – радиус кривой, м; α – угол поворота кривой, град; $\Delta \alpha$, ΔK – части угла поворота, град, и длины кривой, м, соответственно.

Накоплен значительный объем теоретических знаний и экспериментальных исследований в области изучения аэродинамической устойчивости мостов.

В состав аэродинамики мостов, изучающей аэродинамические силы, действующие на элементы моста при обтекании их ветровыми потоками, входит и такая наука, как аэроупругость.

Аэроупругость изучает поведение сооружений в ветровых потоках, реакцию отдельных элементов и всего сооружения на ветровые воздействия. Большое разнообразие явлений, возникающих под воздействием потоков газа или жидкостей, их влияние на надежность работы мостовых конструкций делает изучение проблемы аэродинамической устойчивости мостов особенно важным в прикладном и научном значении.

Влияние ветровых воздействий на надежность и прочность гибких мостовых элементов очень велико. Поведение конструкций под действием ветра можно условно подразделить на явления динамической и статической аэроупругой неустойчивости.

Современные тенденции развития мостостроения характеризуются использованием новейших высокопрочных материалов, постоянным совершенствованием конструктивных форм и методик расчетов. Все это приводит к уменьшению материалоемкости мостовых

конструкций, их большей чувствительности к динамическим воздействиям, вызванным облегчением элементов мостов и уменьшением их жесткости. Также постоянно растет нагрузка на мосты из-за увеличения массы железнодорожных поездов, повышения грузоподъемности автомобильного транспорта и увеличения скоростей движения. Все это резко увеличило важность исследования динамики мостовых конструкций и совершенствование динамических расчетов.

Различные динамические нагрузки приводят к колебаниям мостовых сооружений. Значительно увеличивают напряжение в элементах мостов силы инерции, происходящие из-за колебательных процессов в мостовых конструкциях. Это может привести к нарушению нормальной эксплуатации мостовых сооружений, а при определенных условиях – даже к возникновению аварийных ситуаций [3].

Главные факторы динамического воздействия подвижных нагрузок на мосты:

- эффект скорости, который определяется инерционными силами, возникающими из-за движения подвижной нагрузки по криволинейным траекториям;
- случайные – неровности в колесах подвижного состава и рельсах, возникающие из-за неравномерных износов и угона.
- балочный эффект – колебания надрессорных элементов подвижного состава, приводящие к периодическим изменениям давления на ось. Они возникают от ударов колес на неровностях мостового пути и от движения по извилистой траектории. В связи с тем, что продольные мостовые балки опираются на поперечные, под нагрузкой их статические перемещения будут различны;
- влияние подвижного состава на железнодорожных мостах. Это определяет горизонтальное действие нагрузки, вызванное извилистым в плане движением вагонов и локомотивов вследствие конической формы бандажей;
- кинематическое возбуждение, возникающее из-за пульсации статических прогибов

пролетных строений при движении по ним нагрузки, состоящей из однотипных автомобилей или вагонов. Так как нагрузка сосредоточивается в местах расположения осей, всегда найдутся два ее положения, которые дадут наименьший и наибольший статические прогибы пролетных строений;

- для систем, обладающих меньшей жесткостью (висячих мостов и некоторых видов вантовых), – взаимодействие конструкций с воздушными потоками при сильном ветре.

На железнодорожных мостах динамика воздействия подвижной нагрузки учитывается умножением динамического коэффициента на величину нормативной нагрузки. Величина коэффициента представляет собой отношение величины динамической добавки, перемещения или напряжения к определенной статической величине.

Значение динамического коэффициента при скоростях до 200 км/ч не всегда значительно отличается от единицы, что подчеркивается обозначением $1 + \mu$, где μ – малая величина, называемая динамической добавкой. Коэффициент в значительной мере зависит от материала и конструкции мостовых пролетных строений, а также от типа подвижного состава.

Величина динамического коэффициента железнодорожных мостов при скорости до 200 км/ч рассчитывается по следующим формулам:

- для балочных разрезных металлических пролетных строений [4]

$$1 + \mu = 1 + 18 / (30 + \lambda),$$

где λ – длина расчетного пролета или некоторых участков для элементов, которые работают на местную нагрузку. Для скоростей свыше 200 км/ч $1 + \mu$ имеет более сложное выражение;

- для неразрезных металлических пролетных строений и для совмещенных мостов (с железнодорожным и автодорожным проездом)

$$1 + \mu = 1 + 14 / (30 + \lambda);$$

- для балочных железобетонных пролетных строений и конструкций рамных систем

$$1 + \mu = 1 + 10 / (20 + \lambda).$$

Немаловажное значение имеет также мостовое полотно железнодорожных мостов балластного и безбалластного типов.

Мостовое полотно на балласте создает хорошие условия для движения железнодорожных составов. Это обусловлено тем обстоятельством, что железнодорожный путь в пределах моста и подходных насыпях имеет одинаковую жесткость, а это приводит к отсутствию толчков при въезде состава на мост.

К достоинствам безбалластного полотна, устраиваемого на железобетонных плитах, относятся:

- безопасность прохода колесных пар по мосту при их сходе с рельсов;
- длительные сроки эксплуатации;
- направленный отвод воды с мостового полотна;
- защита верхних поясов и связей главных балок от коррозии и загрязнения;
- хорошие показатели по электроизоляции;
- легкость и скорость укладки;
- минимальные затраты на содержание;
- высокая стабильность положения элементов;
- возможность замены мостового полотна, выполненного на поперечинах, без необхо-

димости опускания или подъема путей на подходах.

Заключение

Требования технических условий строго обязательны, так как их соблюдение является гарантией обеспечения определенной грузоподъемности и пропускной способности мостового сооружения. Однако степень соответствия техническим требованиям различных элементов конструкции может быть различна. В одном случае они выполнены в точном соответствии нормам, а в другом – с некоторым запасом.

Детерминистическим методом был рассчитан показатель риска, возникающий при высокой скорости состава, проходящего по двухпутному стыковому, двухпутному бесстыковому и особому путям. Рассмотрены факторы, влияющие на безопасность движения, затронуты особенности влияния руководящего уклона на эксплуатацию моста.

Библиографический список

1. **Основные** требования к проектированию мостовых переходов. – URL : <http://мост.рф/article/44>.
2. **Оценка** риска и обеспечение безопасности в строительстве / В. М. Улицкий, М. Б. Лисюк // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2002. – № 5. – С. 160–166.
3. **Аэродинамическая** устойчивость висячих и вантовых мостов. – URL : <http://мост.рф/article/44>.
4. **СНиП 2.05.03–84.** Мосты и трубы / Минстрой России. – Москва : ГП ЦПП, 1996. – 214 с.