

К ВОПРОСУ УЧЕТА СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ БАЛОЧНЫХ МОСТОВ

Предложено методику приближенного учета скорости движения поездов по мостам разрезной балочной системы. Определены коэффициенты учета скорости движения, которые могут быть использованы в практических инженерных расчетах мостовых конструкций.

Ключевые слова: мост, поезд, железная дорога, скорость движения, колебания

На железных дорогах Украины эксплуатируется около 20 тыс. искусственных сооружений общей протяженностью более 600 км, основная часть из которых сосредоточена на Львовской, Юго-Западной и Одесской железных дорогах. Количество пролетных строений, эксплуатируемых от 50 до 100 лет, превышает 5000 шт., при этом более 20 % железнодорожных мостов в Украине имеют различные дефекты. Ежегодно Укрзалізниця выдает предупреждения об ограничениях скорости движения поездов по тем или иным искусственным сооружениям, снижая экономические показатели грузоперевозок.

Максимальная скорость движения пассажирских поездов в Украине – 120 км/ч, на отдельных участках – 140 км/ч. Согласно общепринятой в мировой практике классификации пассажирских перевозок, перевозки по обычным дорогам осуществляют на скорости до 160 км/ч, скоростному движению соответствует диапазон 160...250 км/ч, высокоскоростному – свыше 250 км/ч [1]. В Украине соответствующие показатели снижены на 50 км/ч. Следуя «Концепции Государственной целевой программы внедрения на железных дорогах скоростного движения пассажирских поездов на 2005-2015 гг.», предполагается создание сети скоростных железнодорожных магистралей для соединения столицы Украины с крупными областными и промышленными центрами Украины и странами Западной Европы и СНГ [1, 2]. Реализация данной программы связана с улучшением и развитием существующей инфраструктуры, в том числе реконструкцией искусственных сооружений и строительством новых железнодорожных мостов с учетом скоростей движения экипажей, близких к мировым аналогам (до 350 км/ч). В процессе реализации программы предполагается обновление парка пассажирского подвижного состава (например, электровозами типа ДС) и существенная модернизация железнодорожного пути. В частно-

сти, на участках со скоростью движения пассажирских поездов до 140 км/ч считается допустимым также пропуск грузовых экипажей, однако участки железной дороги со скоростью движения свыше 160 км/ч должны освобождаться от грузового подвижного состава с целью снижения нагрузки на путь и обеспечения более длительного срока его эксплуатации. В некоторых случаях это потребует строительства дополнительных специализированных главных путей, выпрямления старого пути, увеличения радиусов кривых, ремонта земляного полотна, мостов, путепроводов, восстановления водопропускных сооружений, устройства путей эстакадного типа на новой оси и др.

Подобные изменения в системе транспорта невозможны без пересмотра традиционных подходов к проектированию мостов. Эта задача является комплексной, и ее решение зависит от многих факторов, например, совершенствования отечественных норм проектирования с учетом новейших критериев и требований, регламентированных в Еврокодах [3]. Важнейшим аспектом является использование в процессе разработки проектов современных систем автоматизированного проектирования, а также тесная интеграция инженерных решений с научными методами расчета мостовых конструкций.

На основе анализа различных научных публикаций, результатов теоретических и экспериментальных исследований в области динамики мостов можно сделать вывод, что добиться дальнейшего качественного улучшения моделей взаимодействующей системы «мост – поезд» возможно, в первую очередь, уточняя параметры нагрузки. Так, влияние на пространственную динамику подвижного состава некоторых особенностей его конструкции, нелинейных фрикционных демпфирующих устройств, неровностей рельсового пути, характерных дефектов рассматривалось в трудах

отечественных ученых В. А. Лазаряна, С. И. Конашенко, В. Ф. Ушкалова, Е. П. Блохина, В. В. Кулябко и др. [4–6]. Некоторые важные результаты этих исследований, например, амплитудно-частотные характеристики колебаний подвижного состава при различных режимах и скоростях его движения, используются в данной работе для моделирования динамического воздействия в системе «мост – поезд».

Проблема учета скорости движения временной нагрузки на мостах неоднократно обсуждалась в научных трудах, например [7–12]. Однако на практике использование сложных научных методик и подходов часто вызывает затруднения. В связи с этим возникает необходимость иметь разработки более простых динамических моделей для учета скорости движения поезда по мосту.

Результаты различных теоретических и экспериментальных исследований [7, 10, 13–15] подтверждают, что несущие элементы пролетных строений мостов при движении по ним железнодорожных экипажей работают в условиях сложного напряженно-деформированного состояния. Доминирующими для разрезных пролетных строений являются изгибные и продольные колебания. Исходя из этого, введем понятие коэффициента учета скорости $1 + \psi \geq 1,0$, который наряду с коэффициентом надежности по нагрузке γ_f может использоваться при определении расчетной интенсивности вертикальной нагрузки от подвижного состава v (1). При этом роль динамического коэффициента $1 + \mu$, который традиционно в расчетах мостовых конструкций зависит только от длины пролета и материала конструкции, упрощается.

$$\begin{aligned} 1 + \psi &= 1 + \alpha(v - v_{\min}); \\ v &= v_n \gamma_f (1 + \psi), \end{aligned} \quad (1)$$

где α – амплитуда изменения напряженно-деформированного состояния элемента конструкции; $v_{\min}$ – минимальная скорость движения поезда на интервале скоростей, в пределах которого изменение напряженно-деформированного состояния конструкции близко к линейному закону; v – заданная скорость движения поезда; v_n – нормативное значение временной эквивалентной нагрузки от подвижного состава.

Величины α , $v_{\min}$ определяются на основании динамического расчета пролетного строения во временной области с учетом динамиче-

ского воздействия поезда [16]. Компоненты ψ_x , ψ_y , ψ_z , ψ_p учитывают работу пролетного строения соответственно на изгиб в горизонтальной и вертикальной плоскостях, растяжение-сжатие, кручение (табл. 1). В общем случае, внутренние силы, напряжения, деформации в элементах конструкции железнодорожных мостов нелинейно зависят от скорости движения временной нагрузки, поэтому величина коэффициента $1 + \psi$ различна для каждого диапазона скоростей.

Таблица 1

Значения коэффициента учета скорости

v_x , км/ч	Коэффициент $1 + \psi$			
	$1 + \psi_x$	$1 + \psi_y$	$1 + \psi_z$	$1 + \psi_p$
0	1	1,054	1,125	1,818
60	1,058	1,087	1,114	1,346
100	1,058	1,066	1,102	1,255
200	1,126	1,011	1,136	1,073
300	1,150	1,011	1,080	1,055
400	1,092	1	1	1

В качестве примера, определим коэффициент учета скорости движения поезда по балочному пролетному строению моста. Для этого, рассмотрим конструкцию сборного балочного пролетного строения железнодорожного моста из предварительно напряженного железобетона расчетной длиной 22,9 м (рис. 1).

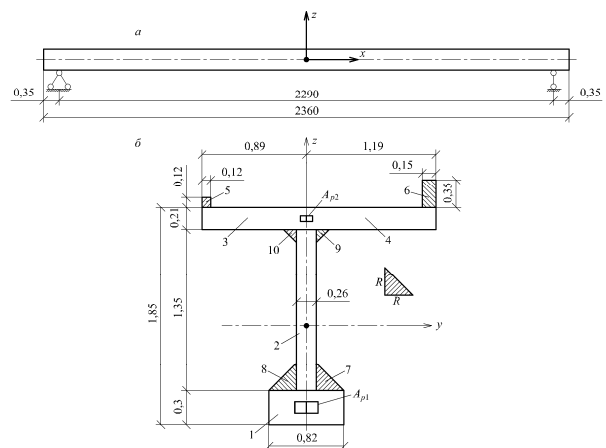


Рис. 1. Конструкция железобетонного пролетного строения 22,9 м:

a – общие размеры; b – сечение блока

Конструкция имеет полную длину 23,6 м и состоит из двух симметричных блоков высотой 1,85 м (проект Ленгипротрансмоста, 1975 г.). Ширина блока на участках вблизи центров

опирания – 82 см; в середине пролетного строения – 26 см. Расстояние между блоками – 1,8 м. Плита балластного корыта имеет толщину 21 см и соединяется с главной балкой радиальными вутами радиусом 30 см. Пролетное строение армировано обычной арматурой классов АІ, АІІ и пучками высокопрочной проволоки класса ВІІ. Количество предварительно напряженной арматуры в середине пролетного строения составляет 21 пучок. При моделировании

железобетонные вуты, расположенные в верхнем и нижнем поясах пролетного строения, заменяются треугольными элементами, внешний и внутренний бортики плиты – прямоугольными (см. рис. 1, б).

Временную нагрузку на пролетное строение примем в виде грузового подвижного состава, сформированного из локомотива ВЛ8 и 60-ти универсальных крытых вагонов серии 11-066 (рис. 2).

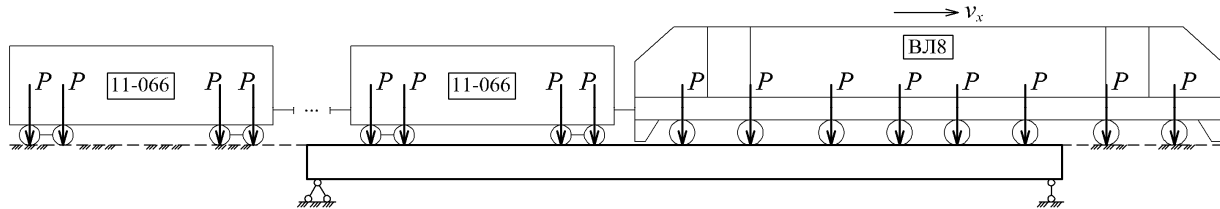


Рис. 2. Схема движения грузового поезда по пролетному строению

На рис. 3 показаны вертикальные колебания середины пролетного строения моста во время движения поезда со скоростью 10...100 км/ч, а также в диапазоне теоретических скоростей 100...400 км/ч. Имеются аналогичные данные для горизонтальных, продольных и крутильных колебаний конструкции (см. табл. 1).

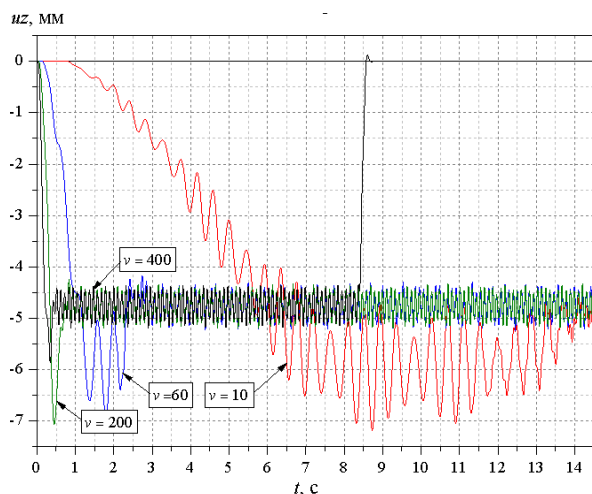


Рис. 3. Вынужденные колебания пролетного строения при движении поезда

К данным табл. 1 применима линейная интерполяция. В целом, совершенствование методов динамического анализа мостовых конструкций может идти по двум направлениям:

- развитие методов по определению параметров напряженно-деформированного состояния мостовых конструкций на основе уравнений динамики твердого тела и метода конечных элементов [16];
- вычисление соответствующих коэффициентов учета скорости движения временной нагрузки для более широкого класса мостовых

конструкций, с последующим введением данной методики в практику проектирования мостов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Костюк, М. Д. Будівництво та реконструкція залізничної мережі України для збільшення пропускної спроможності та запровадження швидкісного руху поїздів [Текст] / М. Д. Костюк, В. В. Козак, В. О. Яковлев та ін. – К.: ІЕЗ ім. С. О. Патона. – 2010. – 216 с.
2. Розпорядження від 31.12.2004р. № 979-р Про схвалення Концепції Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки / електронна адреса в мережі Інтернет: «www.kmu.gov.ua/kmu/control/uk/cardnpd».
3. European Standard. Eurocode 1: Actions on structures. Part 2 [Text]: Traffic Loads on bridges / European Committee for Standardization. – B-1050, Brussels. – 2002. – 162 p.
4. Кулябко, В. В. Исследование вертикальных колебаний и нагруженности длиннобазных грузовых вагонов [Текст] / В. В. Кулябко. Автореф. дисс. на соис. уч. ст. канд. техн. наук. – Д.: – 1978. – 21 с.
5. Лазарян, В. А. Динамика транспортных средств [Текст]: Избр. тр. / В. А. Лазарян. – К.: Наук. думка. – 1985. – 528 с.
6. Ушкалов, В. Ф. Математическое моделирование колебаний рельсовых транспортных средств [Текст] / В. Ф. Ушкалов, Л. М. Резников, В. С. Иккол и др. // Ин-т техн. мех. АН УССР. – К.: Наук. думка. – 1989. – 240 с.
7. Fryba, L. Dynamics of Railway Bridges [Text] / L. Fryba. – Praha: Academia Praha. – 1996. – 330 p.
8. Fryba, L. Vibration of Solids and Structures Under Moving Loads [Text] / L. Fryba. – Prague: Academia Prague. – 1972. – 484 p.

9. O'Connor C. Bridge Loads [Text] / C. O'Connor, P. A. Show. – London: Spon Press, 11 New Fetter Lane, EC4P 4EE. – 2000. – 350 p.
10. Yang, Y. B. Vehicle-Bridge Interaction Dynamics: with Applications to High-Speed Railways [Text] / Y. B. Yang, J. D. Yau, Y. S. Wu // World Scient. Publ. Co. Pte. Ltd. – 5 Toh Tuck Link, Singapore. – 2004. – 564 p.
11. Распопов, О. С. Дослідження динамічної роботи металевої прогонової будови моста під впливом рухомого навантаження [Текст] / О. С. Распопов, С. П. Русу, В. Є. Артьомов // Тези доп. 12-ї Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми механіки залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, 28-30 квіт., 2008). – Д.: ДНУЗТ. – 2008. – С. 134.
12. Распопов, А. С. Моделирование подвижных нагрузок при расчетах динамики дискретных систем «мост-поезд» в программном комплексе «Belinda» [Текст] / А. С. Распопов, С. П. Русу, В. Е. Артемов // Тези доп. Міжнар. наук.-техн. конф. пам'яті акад. НАН України В. І. Москальовського «Актуальні проблеми механіки суцільного середовища і міцності конструкцій» (Дніпропетровськ, 17-19 жовт., 2007). – Д.: ДНУ. – 2007. – С. 282-283.
13. Блохин, В. К. Исследование пространственной работы железнодорожных пролетных строений со стальным мостовым полотном, объединенным со сквозными главными фермами [Текст] / В. К. Блохин. Автореф. дисс. на соис. уч. ст. канд. техн. наук. – М. – 1973. – 23 с.
14. Бондарь, Н. Г. Динамика железнодорожных мостов [Текст] / Н. Г. Бондарь, И. И. Казей, Б. Ф. Лесохин и др. – М.: Транспорт. – 1965. – 412 с.
15. Донченко, В. Г. Пространственный расчет балочных автодорожных мостов [Текст] / В. Г. Донченко. – М.: Автотрансиздат. – 1953. – 324 с.
16. Артьомов, В. Є. Удосконалення розрахунку напружено-деформованого стану мостових конструкцій з урахуванням динамічного впливу вантажних поїздів [Текст] / В. Є. Артьомов // Автореф. дис. на здоб. наук. ст. канд. техн. наук. – Д. – 2011. – 20 с.

Поступила в редколлегию 02.04.2012.
Принята к печати 23.04.2012.

В. Є. АРТЬОМОВ, О. С. РАСПОПОВ (ДІПТ)

ДО ПИТАННЯ УРАХУВАННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ ПОТЯГА ПРИ ПРОЕКТУВАННІ БАЛЮЧНИХ МОСТІВ

Запропоновано методику наближеного урахування швидкості руху поїздів на мостах розрізної балкової системи. Визначено коефіцієнти урахування швидкості руху, які можуть бути застосовані в практичних інженерних розрахунках мостових конструкцій.

Ключові слова: міст, поїзд, залізниця, швидкість руху, коливання

V. ARTOMOV, A. RASPOPOV (Dnepropetrovsk National University of Railway Transport)

QUESTION OF TRAIN SPEED ACCOUNT AT DESIGNING OF BEAM BRIDGES

It is offered a technique of the train speed movement approximation for beam bridge systems. Coefficients of accounting of motion speed which can be used in practical engineering calculations of bridge constructions are determined.

Keywords: bridge, train, railway, speed of movement, vibrations