

Б70

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
имени М.И.КАЛИНИНА

На правах рукописи

Б Л О Х И Н Сергей Евгеньевич

624.21'625.1 +

625.1.03

ДИНАМИКА И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ
СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Специальность 06.23.15 – мосты и тоннели
и другие строительные сооружения на
железных и автомобильных дорогах

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск – 1980

Работа выполнена на кафедре "Мосты" Днепропетровского
ордена Трудового Красного Знамени института инженеров же-
лезнодорожного транспорта имени М.И.Калинина

Научный руководитель – академик АН УССР,
заслуженный деятель науки УССР
БОНДАРЬ Н.Г.

Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор
КОЗЬМИН Ю.Г.,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
КАЗАКЕВИЧ М.И.

Ведущая организация – Центральный научно-исследователь-
ский институт транспортного строи-
тельства

11 декабря

Защита состоится ~~27 ноября~~ 1980 г. в 15 часов на засе-

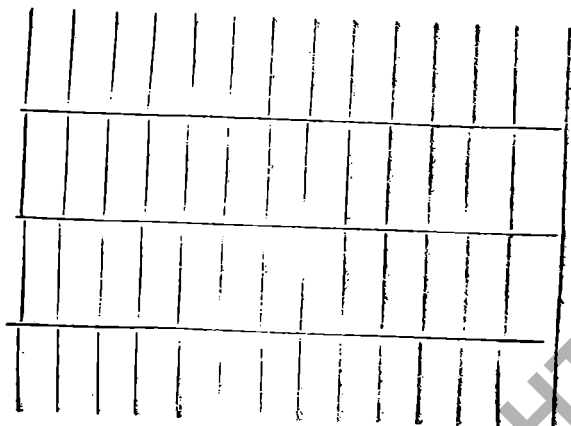
~~дании специализированного совета К 114.07.02 Днепропетров -~~

перов

и, ГСП,

енропет-

та.



НТБ
ДНУЖТ

Актуальность темы. Основным направлением развития железнодорожного транспорта в ближайшие годы является дальнейшее увеличение его провозной и пропускной способности. В условиях высоких темпов роста грузооборота железнодорожных магистралей главным средством освоения плана перевозок является увеличение веса и скорости движения поезда. По мнению специалистов повышение веса грузовых поездов, внедрение большегрузных вагонов является одним из важных и эффективных направлений технической политики на транспорте.

Увеличение грузоподъемности вагонов приводит к повышению нагрузки от оси на рельс. Упомянутое увеличение веса поездов и скоростей их движения в значительной степени зависит от мощности, надежности и долговечности железнодорожных устройств и сооружений, в том числе мостов.

Как известно, мостовые конструкции строятся на длительный срок и "переживают" несколько поколений подвижного состава, так как реконструкция и замена мостовых конструкций являются весьма дорогостоящими мероприятиями. Поэтому при проектировании новых типов подвижного состава или элементов экипажей необходимо стараться свести к минимуму воздействие поезда на мосты — неотъемлемую часть пути, добиваться того, чтобы ход вагонов по мостам был как можно лучшим или по крайней мере безопасным при высоких скоростях движения. Решение таких задач невозможно без изучения особенностей движения подвижного состава по пролетным строениям. Интерес к изучению этой проблемы повышается и в связи с внедрением высокопрочных сталей, алюминиевых сплавов, появлением новых конструктивных решений, касающихся проектирования самих искусственных сооружений.

В последние годы в практике отечественного и зарубежного мостостроения все более широко стали применяться сталежелезобетонные пролетные строения. Однако, несмотря на довольно широкое использование этих конструкций в транспортном строительстве, динамические качества упомянутых мостов, их совместные колебания с подвижным составом до настоящего времени не исследованы.

Целью работы является определение динамических характеристик сталежелезобетонных пролетных строений (частот, декрементов свободных колебаний, динамических коэффициентов), изучение характера взаимодействия упомянутых мостов с подвижным составом, исследование влияния строительного подъема на совместные колебания с движущейся нагрузкой и выяснение возможности уменьшения жесткости пролетных строений, а также исследование некоторых других параметров, оказывающих влияние на процесс взаимодействия системы "мост + поезд".

Методы исследования. Свободные колебания сталежелезобетонных пролетных строений исследованы в соответствии с теорией, предложенной Е.С. Сорокиным. Численные решения были получены при помощи вычислительного комплекса "Супер" с использованием метода конечных элементов.

Взаимодействие сталежелезобетонных пролетных строений с подвижным составом исследовалось с помощью методов математического моделирования. Полученная на основе уравнений Лагранжа второго рода система дифференциальных уравнений, описывающих совместные колебания пролетного строения и подвижного состава, решалась с использованием численного метода Рунге-Кутты-Танакко (алгоритм и программа решений упомянутой системы те же, что и в работе Ю.А. Радзиховского, З.Г. Ройтбурда, Э.М. Тененбаума "Взаимодействие подвижного состава с балочным пролетным строением железнодорожного

моста" Труды ДИИТа, вып. 150, 1973).

Частоты, декременты свободных вертикальных и горизонтальных колебаний, динамические коэффициенты, ряд динамических характеристик подвижного состава при его движении по исследуемым мостам, а также некоторые другие параметры, влияющие на процесс взаимодействия сталежелезобетонных пролетных строений с железнодорожной нагрузкой, были получены экспериментально.

Научная новизна. До настоящего времени, несмотря на довольно широкое применение сталежелезобетонных пролетных строений в транспортном строительстве, динамические качества этих мостов, их совместные колебания с подвижным составом не исследовались. В реферируемой работе приведены полученные экспериментальным и теоретическим путями значения частот и формы свободных колебаний в вертикальной и горизонтальной плоскостях рассматриваемых пролетных строений (всех имеющихся согласно типовому проекту № 739/1-12 пролетов). Получены значения декрементов колебаний и динамических коэффициентов. Предложен экспериментально-теоретический способ определения жесткости изучаемых пролетных строений. Экспериментальным путем найдена горизонтальная поперечная жесткость двух ($l = 33$ и 55 м) пролетных строений.

В работе исследовано влияние скорости движения поезда, состояния пружинных комплектов вагонов в момент входа на мост, неровностей верхнего строения пути на пролетном строении, наличия строительного подъема на мосту, вертикальной жесткости пролетных строений на характер взаимодействия системы "мост + поезд". Выявлено влияние предмостовой "ямы" на совместные колебания пролетного строения и подвижного состава. Показано, что сталежелезобетонные пролетные строения не оказывают заметного влияния на колебания движущихся по ним вагонов.

Практическая ценность и внедрение результатов работы.

Результаты исследования свободных колебаний сталежелезобетонных пролетных строений, взаимодействия их с подвижным составом, указывают на то, что рассматриваемые мосты по своим динамическим качествам ближе к мостам железобетонным, чем металлическим. В связи с этим есть необходимость предусмотреть этот факт в действующих нормах проектирования пролетных строений, т.к. СН 200-62 относит рассматриваемые пролетные строения к мостам металлическим.

Показано, что с точки зрения динамической работы пролетных строений, устройство строительного подъема на них не является необходимым. Установлено также, что при проектировании сталежелезобетонных мостов вертикальная жесткость последних может быть существенно уменьшена, что дает возможность применять высокопрочные стали. Выявлено, что по условиям динамической работы рассматриваемых пролетных строений прикрепление железобетонных плит между собой (по длине пролета) не является необходимым. Показано, что предмостовые неровности пути, встречающиеся весьма часто, существенно влияют на характер взаимодействия системы "мост + поезд", в связи с чем необходимо уделять серьезное внимание упомянутому дефекту.

Сооружение сталежелезобетонных пролетных строений без строительного подъема, возможность уменьшения их вертикальной жесткости, отсутствие при монтаже таких мостов технологической операции, связанной с соединением плит между собой, создадут возможность уменьшить стоимость сооружений и сократить срок их строительства. Ликвидация предмостовых неровностей пути будет способствовать уменьшению динамической нагрузки на пролетное строение, увеличению срока службы моста, снижению износа ходовых частей подвижного состава, повышению скорости и безопасности движения поезда.

Апробация. Основные результаты работы доложены на Всесоюзной

конференции по проблемам механики железнодорожного транспорта (Днепропетровск, 1980), на Республиканском семинаре по вопросам мостостроения (Киев, 1980), Юбилейной научно-технической конференции Днепропетровского ордена Трудового Красного Знамени института инженеров железнодорожного транспорта им. М.И. Калинина (Днепропетровск, ДИИТ, 1980) и научно-технических семинарах кафедры "Мосты" (Днепропетровск, ДИИТ, 1979-1980 гг.).

Публикации. По материалам диссертации имеется 7 печатных работ.

Структура работы. В первой главе дан обзор исследований, касающихся проектирования, строительства и расчета сталежелезобетонных пролетных строений. Приведены результаты исследований динамики железнодорожных мостов и взаимодействия их с подвижным составом. Сформулирована цель работы.

Вторая глава посвящена исследованию свободных колебаний сталежелезобетонных мостов. Определены основные динамические характеристики рассматриваемых пролетных строений. Приведены результаты экспериментальных исследований динамической работы таких мостов. Результаты, полученные экспериментально, сопоставлены с данными расчетов.

В третьей главе представлены результаты экспериментально-теоретических исследований взаимодействия системы "мост + поезд". Исследовано влияние скорости движения состава и некоторых других факторов на колебания взаимодействующей системы.

В четвертой главе приведены основные результаты работы, выводы, рекомендации и предложения, приложены акты об использовании результатов и материалов диссертации.

Объем работы. Работа изложена на 178 страницах машинописного текста, содержит 83 рисунка, 7 таблиц и список использованной литературы из 132 наименований.

Основное содержание работы.

В последние годы в практике отечественного и зарубежного мостостроения все более широкое применение находят сталежелезобетонные пролетные строения. Во введении реферируемой работы обоснована актуальность изучения динамических характеристик сталежелезобетонных мостов и их совместных колебаний с подвижным составом.

Первая глава содержит обзор исследований, касающихся проектирования, строительства и расчета сталежелезобетонных пролетных строений. Этим вопросам, а также изучению прочностных характеристик этих мостов, исследованию усадки бетона и температурных напряжений в балках, объединенных с железобетонной плитой, посвящены работы К.П. Большакова, Н.Н.Глинки, Е.Е.Гишмана, Э.М.Гитмана, А.Ю. Гиммельфарба, В.А.Долгова, А.А.Дронова, В.Н.Мастаченко, А.С.Платонова, А.А.Потапкина, Н.Н.Стрелецкого, В.Е.Улицкого, К.К.Якобсона.

В Советском Союзе и за рубежом накоплен также широкий опыт проведения экспериментальных исследований объединенных балок на действие вертикальных нагрузок.

В настоящее время имеется богатый материал, касающийся проектирования, расчета и эксплуатации сталежелезобетонных мостов.

Однако следует отметить, что подавляющее большинство проведенных исследований посвящено, во-первых, изучению статической работы объединенных пролетных строений, а во-вторых, мостов, главным образом, автодорожных. Изучению же динамических характеристик сталежелезобетонных пролетных строений, находящихся все большее применение на железнодорожном транспорте, не было уделено должного внимания.

Изучению динамического воздействия подвижной нагрузки на про-

летные строения, взаимодействия подвижного состава и мостов посвящено большое количество работ отечественных и зарубежных ученых. В реферируемой работе дан краткий обзор некоторых из этих исследований. Отмечены классические работы А.Н. Крылова и С.П. Тимошенко, а также фундаментальные исследования А.Г. Барченкова, С.А. Бернштейна, В.В. Болотина, Н.Г. Бондаря, Г.П. Бурчака, Е.Е. Гишмана, И.И. Гольденבלата, И.И. Казя, К.Е. Китаева, Ю.Г. Козьмина, С.И. Кошаченко, Б.Ф. Лесохина, А.Б. Моргаевского, С.С. Норейко, Я.Г. Пановко, А.П. Филиппова, Г.Н. Яковлева и других ученых, внесших большой вклад в развитие методов динамического расчета сооружений.

В реферируемой работе ставится задача: определить частоты, формы, декременты вертикальных и горизонтальных колебаний, а также динамические коэффициенты сталежелезобетонных пролетных строений; исследовать влияние скорости движения поезда, состояния пружинных комплектов экипажей в момент входа на мост, наличия неровностей верхнего строения пути на колебания системы "мост + поезд", изучить влияние строительного подъема на характер взаимодействия сталежелезобетонных мостов и подвижного состава, а также возможность уменьшения вертикальной жесткости пролетных строений.

Вторая глава посвящена изучению свободных колебаний сталежелезобетонных пролетных строений. Теоретические исследования были проведены в соответствии с теорией, предложенной Е.С. Сорокиным. Численные решения получены с использованием вычислительного комплекса "Супер", применяемого для динамических и прочностных расчетов конструкций с использованием метода конечных элементов. В качестве расчетной схемы при рассмотрении колебаний в вертикальной плоскости принималась шарнирно-опертая по концам балка со ступенчато изменяющейся жесткостью и дискретным расположением масс по длине пролета. Каждая масса обладала двумя степенями свободы, т.е. имела возможность перемещения в вертикальной плоскости и продольного смещения

за счет наличия подвижной опорной части. Анализ полученных решений позволяет сделать вывод, что при 10-12 сосредоточенных массах (т.е. в этом случае система имеет 19-23 степени свободы) полученные решения хорошо согласуются с соответствующими величинами, взятыми из опыта.

При рассмотрении колебаний пролетного строения в горизонтальной плоскости в качестве расчетной схемы принималась также шарнирно-опертая по концам балка с переменной по длине жесткостью и дискретным расположением масс. Приемлемость такой расчетной схемы апробирована путем сопоставления некоторых основных результатов с соответствующими данными, найденными экспериментально. Способы определения частот собственных колебаний, ход решения задачи в этом случае такой же, как и при рассмотрении колебаний пролетного строения в вертикальной плоскости.

Крутильные колебания рассматриваемых конструкций не учитывались в связи с тем, что в период экспериментальных исследований было установлено отсутствие этой формы колебаний (в реальных условиях). Возможность учета колебаний, происходящих только в вертикальной плоскости (как колебаний основного тона), отмечена также в монографии Бондаря Н.Г., Казея И.И., Лесохица Б.Ф., Козьмина Ю.Г. ("Динамика железнодорожных мостов. - М., Транспорт, 1965).

С использованием ЭВМ "Минск-32" были найдены значения частот и формы свободных колебаний в вертикальной и горизонтальной плоскостях, исследуемых пролетных строений (ℓ 18, 27, 33, 45, 55 м).

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы. Спектр частот свободных (как вертикальных, так и горизонтальных) колебаний сталежелезобетонных пролетных строений несколько отличается от аналогичного спектра простой балки постоянного сечения, в котором, как известно, частоты высших форм относятся к час-

тоте основного тона колебаний как квадраты натурального ряда чисел, т.е. 1, 4, 9, 16. Несоответствие его с "балочным" спектром объясняется, очевидно, неравномерностью распределения жесткости по длине рассматриваемых пролетных строений,

Представляет также интерес сопоставление значений низших частот свободных вертикальных колебаний рассматриваемых пролетных строений с соответствующими величинами для металлических и железобетонных мостов. На рис. 1 показаны изменения значений частот свободных вертикальных колебаний в зависимости от длины пролета. Линия 1 соответствует сталежелезобетонным пролетным строениям, линия 2 - металлическим, линия 3 - железобетонным.

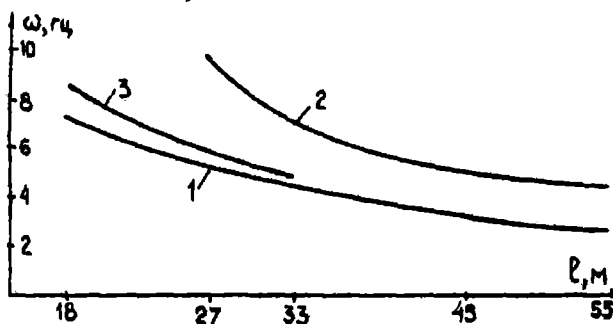


Рис. 1

Как известно, СН 200-62 относит сталежелезобетонные пролетные строения к мостам чисто стальным, хотя, как видно из рис. 1, эти конструкции ближе по своим динамическим качествам к пролетным строениям из железобетона.

Исследовались также свободные колебания в вертикальной плоскости нагруженных пролетных строений. Применяемый математический аппарат и методы решения полностью аналогичны используемому при определении частот и форм свободных колебаний незагруженных пролетных строений. Результаты численных решений показали, что частотный спектр в случае колебаний нагруженного пролетного строения пред-

ставляется в виде отдельных зон, выделяющихся формой колебаний. Так, были получены значения частот, при которых колеблется только один из элементов системы "мост + нагрузка", т.е. в этих случаях полная система может быть заменена при исследованиях одной из парциальных систем.

Приведены некоторые основные результаты экспериментальных исследований статической и динамической работы сталежелезобетонных пролетных строений ($l = 33$ и 55 м). Сопоставление полученных декрементов вертикальных колебаний исследуемых мостов ($\delta = 0,28 + 0,34$) с соответствующими величинами металлических ($\delta = 0,008 + 0,15$) и железобетонных ($\delta = 0,2 + 0,4$) показало, что и по этому критерию, оценивающему динамические качества пролетного строения, рассматриваемые мосты ближе к железобетонным пролетным строениям.

Изложены результаты экспериментального определения горизонтальной жесткости пролетных строений. Эти данные, а также значения низших частот свободных вертикальных и горизонтальных колебаний, статических прогибов (вертикальных и горизонтальных), сопоставленные с соответствующими величинами, найденными расчетом, позволили апробировать выбранную расчетную схему при исследовании свободных колебаний сталежелезобетонных пролетных строений.

Предложен, экспериментально-теоретический способ определения жесткости изучаемых пролетных строений.

На основании данных экспериментов (испытания и обследования) и расчетов сделан вывод, что с точки зрения динамической работы пролетных строений соединение плит между собой не является необходимым.

Полученные значения динамических характеристик сталежелезобетонных пролетных строений использованы в третьей главе при исследовании взаимодействия системы "мост + поезд".

Подвижная нагрузка рассматривалась как поезд, состоящий из "N" вакопакетов, связь между которыми допускает их свободное взаимное вер-

тикальное перемещение. При этом предполагалось, что все элементы системы "мост + поезд" совершают колебания только в вертикальной плоскости симметрии. Не накладывая ограничений на осность расчетных схем единиц подвижного состава были введены некоторые идеализации для экипажей, обычно используемые при решении задач динамики поезда. Считалось, что кузова, рамы тележек и колесные пары - абсолютно твердые тела, а экипажи совместно с грузом - симметричные конструкции. Радиусы кругов катания всех колес, катящихся без проскальзывания, одинаковы, а поверхности катания колес - без неровностей. Предполагалось также, что кузов опирается на тележки с помощью пружинных комплектов и демпферов; подвешивание кузова одинарное, центральное. Жесткость комплектов рессор и коэффициент вязкого сопротивления демпферов для данного экипажа считались одинаковыми. Предполагалось также, что продольные плоскости симметрии пути на мосту и экипажей совпадают.

Исходя из введенных идеализаций конфигурация элементов системы "мост + поезд" определялась при помощи трех групп обобщенных координат

Z_i - вертикальное перемещение центра масс i -того экипажа состава;

φ_i - угол поворота кузова i -того экипажа относительно главной центральной оси, перпендикулярной плоскости симметрии системы;

q_j - обобщенная координата пролетного строения, описывающая перемещение сечения пролета j -той форме колебаний.

После перехода к безразмерным параметрам и координатам уравнения моделирующие вертикальные колебания системы "мост + поезд", могут быть записаны в следующем виде

$$\begin{aligned}
 & \ddot{u}_{zi} + \frac{\omega_{ni} \xi_i}{2\alpha \pi_i} \sum_{u=1}^{n_i} \dot{y}_{ui}^* + \frac{\omega_{ni}^2 \pi_i^2}{\alpha^2 \pi_i} \sum_{u=1}^{n_i} y_{ui}^* = \\
 & \qquad \qquad \qquad = \pi_i^2 \frac{\omega_{ni}^2}{\alpha^2} \\
 & \ddot{u}_{zi} + \frac{\omega_{ni}^2 \xi_i}{2\alpha \pi_i \omega_{ni}} \left[\sum_{u=1}^{n_i/2} \dot{y}_{ui}^* - \sum_{u=\frac{n_i+2}{2}}^{n_i} \dot{y}_{ui}^* \right] + \\
 & \qquad \qquad \qquad + \frac{\pi_i^2 \omega_{ni}^2}{\alpha^2 \pi_i} \left[\sum_{u=1}^{n_i/2} y_{ui}^* - \sum_{u=\frac{n_i+2}{2}}^{n_i} y_{ui}^* \right] = 0; \quad (1) \\
 & \ddot{u}_j + \sum_{i=1}^N \sum_{u=1}^{n_i} \frac{\psi_{ui}}{\tau_j^*} \sum_{k=1}^{\infty} (\ddot{u}_k \chi_{kui} \chi_{jui} + \frac{2\pi}{\alpha e_j} (\dot{u}_j + \\
 & \qquad \qquad \qquad + \frac{\pi^2 \omega^2}{\alpha^2} u_j = \sum_{i=1}^N \sum_{u=1}^{n_i} (A_{jui} - B_{jui}) \chi_{jui}
 \end{aligned}$$

Система (I), полученная на основе уравнений Лагранжа второго рода, решалась с использованием численного метода Рунге-Кутты-Танакко. Предложенная методика решения задачи взаимодействия системы "мост + поезд", обозначения, алгоритм и программа решений этой системы (I) те же, что и в работе Д.А. Радзиховского, З.Г.Ройтбурда, Э.М. Тененбаума "Взаимодействие подвижного состава с балочным пролетным строением железнодорожного моста" (Труды ДИИТа, вып. 150, 1973).

Первые два уравнения системы соответствуют обобщенным координатам, описывающим колебания подпрыгивания и галопирования того экипажа. Таких пар уравнений столько, сколько экипажей в данный момент находится на пролетном строении. Количество уравнений третьего типа, описывающих колебания пролетного строения по j -той форме, соответствует числу учитываемых форм колебаний моста.

С целью упрощения предлагаемой математической модели были проведены исследования, касающиеся влияния сил инерции неподрессо-

ренных масс подвижной нагрузки на процесс взаимодействия системы "мост + поезд". Упомянутые силы инерции непосредственно входят в третье уравнение системы (1), которое описывает движение пролетного строения по " j -той" форме колебаний. В этом уравнении второе слагаемое обусловлено переносным ускорением неподрессоренных масс, а слагаемое, заключенное в круглые скобки, соответственно кориолисовым и центробежным, а также ускорением, вызванным неровностями на верхнем строении пути и строительным подъемом на мосту. Результаты полученных численных решений показали, что при реальных соотношениях масс неподрессоренной части состава и пролетного строения при движении поезда со скоростями до 300 км/ч влиянием сил инерции тележек вагонов можно пренебречь. Это существенно упростит предлагаемую математическую модель. Реализация предложенной математической модели осуществлялась на ЭВМ "Минск-32".

Исследовалось движение подвижного состава, сформированного из восьмисменных загруженных до полной грузоподъемности вагонов. Ниже приведены наиболее интересные результаты численных решений, полученные при движении поезда со скоростями $V = 50 - 130$ км/ч по однопролетным сталежелезобетонным мостам ($l = 18, 27, 33, 45, 55$ м). В качестве основных критериев, оценивающих динамические качества системы "мост + поезд", были приняты динамический коэффициент (по прогибам середины пролета) для пролетного строения и деформации (перемещения) пружинных комплектов тележек и отклонения центра масс кузова вагонов - для подвижного состава.

Предполагая, что пружинные комплекты рессорного подвешивания вагонов находятся в состоянии статического равновесия в момент входа поезда на мост и считая путь на пролетном строении идеально гладким, было установлено, что сама по себе скорость движения состава не вызывает значительных колебаний системы "мост + поезд".

Полученные значения динамических коэффициентов и деформаций пружинных комплектов весьма незначительны и вполне удовлетворяют соответствующим нормам.

Используемое выше предположение, что пружинные комплекты рессорного подвешивания всех экипажей состава в момент входа на пролетное строение находятся в положении статического равновесия, весьма идеализированно. В реальных условиях это практически не осуществимо, так как вагоны входят на пролетное строение в "возбужденном" состоянии. Известно также, что на подходах к мосту весьма часто имеют место предмостовые неровности пути в вертикальной плоскости - предмостовые "ямы".

В связи с этим можно предположить, что в момент входа экипажей состава на пролетное строение их подрессоренные массы (в связи с одинаковым возмущением, полученным каждым вагоном) будут находиться в идентичном положении.

Величина начального отклонения центра масс кузова экипажей от положения статического равновесия принималась равной $1,5 \Delta$ ст, что соответствует растяжению пружинных комплектов относительно положения статического равновесия на половину (при этом путь на мосту считался идеально гладким). Следует отметить, что это значение деформаций пружинных комплектов существенно завышено. По имеющимся экспериментальным данным, зарегистрированные максимальные деформации пружинных комплектов при прохождении вагоном предмостовой "ямы" ($\ell = 33$ м, см. ниже) равны $1,3 \Delta$ ст. и уже это возмущение оказалось весьма опасным не только по критериям, оценивающим безопасность и плавность хода, но и устойчивость движения экипажей опытного сцепа.

Как и следовало ожидать, для всего диапазона рассмотренных пролетов максимальное значение динамического коэффициента увеличи-

6882a

вается с уменьшением длины моста. Можно отметить также, что при скорости движения равной 110 км/ч, воздействие состава на пролетные строения оказывается наибольшим (по сравнению с движением при других скоростях) и это не зависит от длины пролета. К тому же, абсолютные перемещения центра масс подрессоренной части при скорости движения состава 110 км/ч носят явно выраженный колебательный характер, соответствующий по форме колебаниям подпрыгивания, причем ярко выражена синфазность колебаний всех экипажей, находящихся на пролетном строении. Очевидно, возмущения, получаемые вагоном при движении с этой ($V = 110$ км/ч) скоростью, вызывают такой характер колебаний практически всех единиц подвижного состава. В связи с тем, что указанный эффект проявлялся при движении поезда по всем исследуемым мостам, независимо от пролета, можно предположить, что мосты рассматриваемой конструкции практически не оказывают ощутимого влияния на колебания подвижного состава. В связи с относительно высокой жесткостью и сравнительно малой длиной сталежелезобетонных пролетных строений, а также небольшим промежутком времени нахождения вагона на мосту последний, очевидно, не успевает заметно повлиять на колебания экипажей поезда.

Начальные условия экипажей поезда могут существенно повлиять на колебания пролетного строения. Полученные максимальные значения динамических коэффициентов в случае движения состава при значительных деформациях пружинных комплектов ($M_{\Delta}(0) = 1,5 \Delta$ ст) во время входа на мост заметно превышают соответствующие величины, зарегистрированные при нулевых начальных условиях. Однако сами значения динамических коэффициентов в упомянутом случае находятся в пределах, допускаемых СН 200-62. На рис.2 приведены графики, показывающие изменение максимальных значений динамических коэффициентов в зависимости от пролета. Линии 1 и 2 соответствуют значениям $1 + \mu$, нормируемым СН 200-62, соответственно для металлических и железо-

бетонных мостов, а линия 3 – полученным для сталежелезобетонных пролетных строений, зарегистрированным при начальных условиях экипажей поезда, равных $M_{ji}(0) = 1,5 \Delta$ ст.

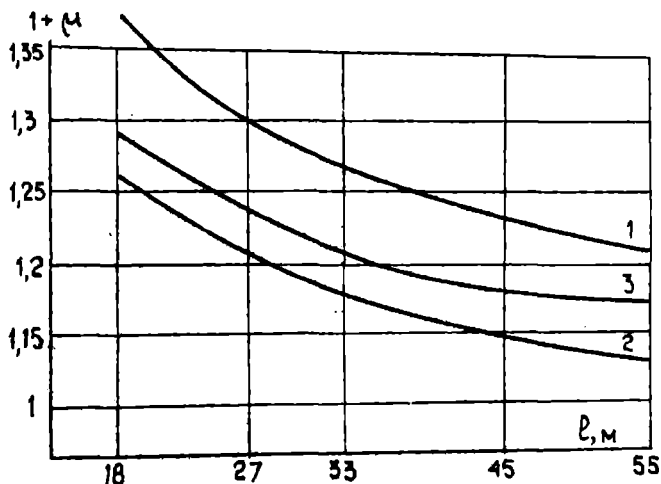


Рис. 2

Несмотря на то, что значение деформаций пружинных комплектов существенно завышено, кривая 3 все же лежит ниже линии 1. Притом величины соответствующие $1 + \mu$ для сталежелезобетонных пролетных строений, ближе к значениям, соответствующим железобетонным мостам.

Рассмотрено влияние состояния верхнего строения пути на мосту на характер взаимодействия системы "мост + поезд".

Длина регулярной неровности принималась краткой полной длине экипажа (предполагалось, что это должно привести к возбуждению синфазных колебаний вагонов, что может оказать дополнительное динамическое воздействие на пролетное строение). Начальные условия под-

вижного состава в момент входа на мост предполагались нулевыми. Результаты решений в этом случае показали, что влияние регулярных неровностей пути становится более заметно при движении поезда по пролетным строениям больших пролетов ($l = 45$ и 55 м). Это объясняется тем, что на этих пролетах укладывается большее количество длин неровностей ($l_n = 3,65$ м). Характер колебаний экипажей, особенно при скоростях, близких к $v = 90$ км/ч, напоминает по форме колебания галопирования с совпадением фаз колебаний всех вагонов, находящихся на мосту. Синфазность колебаний экипажей приводит к увеличению динамического воздействия на мост.

Было рассмотрено также влияние строительного подъема на взаимодействие системы "мост + поезд". Путь считался идеально гладким, а начальные условия подвижного состава принимались равными $M_{ji}(0) = 1,5 \Delta$ ст. В результате полученных решений, аналогичных тем, что описаны выше, было установлено, что отсутствие строительного подъема практически не оказывает заметного влияния на характер взаимодействия пролетного строения с подвижным составом. Упомянутые регистрируемые динамические характеристики системы "мост + поезд" по-прежнему остаются в пределах, допустимых нормами.

Исследовалась возможность уменьшения вертикальной жесткости пролетных строений. Используя те же предположения, что и при изучении влияния строительного подъема, были получены решения для случаев уменьшения жесткости на 10, 20 и 40 %. Опасным считалось движение подвижного состава, при котором растяжение пружинных комплектов вагонов от положения статического равновесия, превышало 35 мм.

Анализ полученных решений позволил сделать вывод, что даже при вертикальной жесткости пролетных строений, уменьшенной на 40 %, относительно высоких скоростях движения и существенных возмущениях

пружинных комплектов экипажей в момент входа на мост динамические характеристики исследуемой системы "мост + поезд" находятся в пределах, допускаемых нормами.

С целью апробации принятой математической модели, а также получения некоторых величин, отыскание которых аналитически весьма затруднено, были проведены экспериментальные исследования взаимодействия подвижного состава с исследуемыми сталежелезобетонными пролетными строениями. Эксперименты были проведены на двух однопролетных мостах ($l = 33$ и 55 м). Мосты и подходы к ним находились на прямолинейных в плане и профиле участках пути. В качестве испытательной нагрузки использовался опытный сцеп, сформированный из двух находящихся по его концам электровозов типа ЧС-2, вагона лаборатории и четырех загруженных до полной грузоподъемности четырехосных полувагонов. Заезды осуществлялись со скоростями $40 - 117$ км/ч с интервалом в 10 км/ч.

Один из находящихся в сцепе полувагонов (эталон) был оборудован датчиками для регистрации вертикальных сил V , передающихся от обрессоренной части экипажа на каждое колесо, горизонтальных усилий H , действующих на каждую из осей, вертикальных деформаций трех пружинных комплектов Z , вертикальных ускорений кузова \ddot{Z}_k (в районе пятника) и вертикальных ускорений буксы \ddot{Z}_b . Непрерывные записи с помощью магнитографа и осциллографов позволили изучить в последующем движение вагона-эталоны перед мостом, на пролетном строении и после него.

Полученные экспериментальным путем кривые изменения прогибов середины пролетных строений при квазистатическом нагружении последних опытным составом были сопоставлены с соответствующими величинами, найденными аналитически. Расхождение результатов не превысило 4% .

Сопоставление найденных экспериментально максимальных значений кривых динамических коэффициентов, построенных в зависимости от скорости движения состава, с соответствующими величинами расчетов также показало хорошее согласование (отклонения не более 7 %).

Наличие в одном случае ($\ell = 33$ м) на подходах к мосту существенных неровностей пути дало возможность исследовать влияние предмостовой "ямы" на колебания взаимодействующей системы "мост + поезд".

На примере изменения величин V , H , Z и коэффициента запаса устойчивости против схода колесной пары с рельсов показано, что наличие предмостовых неровностей пути вызывает значительные возмущения вагонов, возникающие при прохождении экипажами поезда предмостовой "ямы".

З а к л ю ч е н и е

Найдены параметры, характеризующие свободные колебания (загруженных и незагруженных) сталежелезобетонных пролетных строений.

Указано, что сталежелезобетонные пролетные строения по своим динамическим качествам ближе к мостам железобетонным, чем металлическим. Предполагается учесть это обстоятельство в действующих нормах проектирования пролетных строений.

Хорошее согласование результатов экспериментов и расчетов свидетельствует о корректности выбора предложенных в работе математических моделей при изучении динамических характеристик исследуемых мостов.

Экспериментальным способом определена горизонтальная жесткость сталежелезобетонных пролетных строений ($\ell = 33$ и 55 м),

Установлено, что скорость движения состава незначительно влияет на колебания системы "мост + поезд". Ненулевые начальные условия экипажей поезда могут оказать существенное влияние на взаимодействие исследуемой системы.

Рассмотрено влияние строительного подъема на процесс взаимодействия системы "мост + поезд". Показано, что с точки зрения динамической работы пролетных строений устройство строительного подъема на них не является необходимым.

Из условий динамической работы сталежелезобетонных пролетных строений вертикальная жесткость их может быть существенно уменьшена, что даст возможность применения высокопрочных сталей.

Установлено, что предмостовые неровности пути могут весьма существенно влиять на характер взаимодействия системы "мост + поезд".

С точки зрения динамической работы пролетных строений прикрепление железобетонных плит между собой не является необходимым.

Отмечено, что сталежелезобетонные пролетные строения не оказывают существенного влияния на колебания подвижного состава.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах :

1. Радзиховский Ю.А., Ройтбурд З.Г., Тененбаум Э.М., Блохин С.Е. К вопросу о влиянии сил инерции неподдрессированных масс подвижной нагрузки на взаимодействие системы "мост + поезд". - Труды ДИИТа, вып. 186/21, Днепропетровск, 1977.

2. Блохин С.Е., Журбенко М.К., Попович Н.М., Доценко В.П. Экспериментальное исследование сталежелезобетонного пролетного строения. - Труды ДИИТа, вып. 202/23, Днепропетровск, 1979.

3. Бондарь Н.Г., Блохин С.Е. Некоторые результаты исследования взаимодействия подвижного состава со сталежелезобетонными пролет-

ными строениями. – Труды ДИИТа, вып.210/27, Днепропетровск, 1980.

4. Бондарь Н.Г., Блохин С.Е. К вопросу о колебаниях подвижного состава на мосту. Сб. Проблемы механики железнодорожного транспорта. – Киев: Наукова думка, 1980.

5. Блохин С.Е. О колебаниях вагонов на мостах. – Труды ДИИТа, вып.207/24, Днепропетровск, 1980.

6. Блохин С.Е. О плавности хода и безопасности движения вагонов по мостам. – Труды ДИИТа, вып.210/27, Днепропетровск, 1980.

7. Блохин С.Е. Собственные колебания сталежелезобетонных пролетных строений. – Труды ДИИТа, вып.207/24, Днепропетровск, 1980.

БЛОХИН Сергей Евгеньевич

ДИНАМИКА И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ПОДВИЖНЫМ
СОСТАВОМ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ
СТРОЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Специальность 05.23.15 – мосты и тоннели
и другие строительные сооружения на
железных и автомобильных дорогах

БТ 01095. Подписано к печати 21.10.1980.

Формат бумаги 60х84/16. Бумага для множительных аппаратов.

Ротапринт. Усл.печ.л. 1,28. Уч.-изд.л. 1. Тираж 100 экз.

Заказ № 1372. Бесплатно.

Участок оперативной полиграфии ДИИТа.

320629, ГСП, Днепропетровск, 10, ул.академика В.А.Лазаряна, 2.