

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА имени М.И.КАЛИНИНА

Библиотека ДИИ

"Для служебного пользования"

№ 404 Экз. № 000085

На правах рукописи

КИСЛЯК Владимир Павлович

УДК 624.3

РАБОТА ВРЕМЕННЫХ ВАЛОЧНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ
МОСТОВ НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ

05.23.15 - Мосты и тоннели и другие строительные
сооружения на железных и автомобильных
дорогах

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск-1987

85.23.15

ДНУЖТ

Работа выполнена в Днепропетровском ордена Трудового
Красного Знамени институте инженеров железнодорожного тран-
спорта имени М.И.Калинина

Научные руководители - доктор технических наук,
профессор ЯКОВЛЕВ Г.Н.,
доктор технических наук,
академик АН УССР БОНДАРЬ Н.Г.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор ИНДЕЙКИН А.В.,
кандидат технических наук,
доцент ЭЙХЕ Г.Н.

Ведущая организация - Войсковая часть 25967

Защита диссертации состоится "25" февраля 1987 г.
в 15⁰⁰ часов на заседании специализированного совета
К 114.07.02 по присуждению ученой степени кандидата техни-
ческих наук в Днепропетровском институте инженеров железно-
дорожного транспорта: 320700, ГСП, Днепропетровск, 10,
ул.Академика Лазаряна, 2.

НТБ
ДНУЖТ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В Политическом докладе ЦК КПСС XXVII съезду КПСС отмечено: "КПСС будет прилагать все усилия к тому, чтобы Вооруженные Силы СССР находились на уровне, исключающем стратегическое превосходство сил империализма, чтобы всесторонне совершенствовалась обороноспособность Советского государства, укреплялось боевое содружество армий братских социалистических стран. Партия будет и впредь неизменно заботиться о том, чтобы боевой потенциал Советских Вооруженных Сил представлял собой прочный сплав воинского мастерства и высокой технической оснащенности, идейной стойкости, организованности и дисциплины личного состава, его верности патриотическому и интернациональному долгу".

В этих условиях основной задачей личного состава войсковой части 25967 является рациональное использование и дальнейшее совершенствование вооружения и военной техники, повышение качества проектных и опытно-конструкторских разработок, постоянная готовность к выполнению задач по своему штатному предназначению.

Внедрение на железнодорожном транспорте новых видов подвижного состава, увеличение расчетных нагрузок и скоростей движения поездов выдвинули в качестве одной из задач проектирования, строительства и восстановления временных железнодорожных мостов задачу обеспечения их боковой жесткости и разработку рекомендаций по её нормированию.

Одной из актуальных проблем, которая продолжает привлекать к себе внимание восстановителей, является второе предельное состояние временных железнодорожных мостов, предохраняющее конструкцию от появления в ней чрезмерных общих деформаций и перемещений, затрудняющих нормальную эксплуатацию моста при пропуске поездной нагрузки.

Если прогибы временных мостов в вертикальной плоскости в настоящее время изучены достаточно хорошо и строго ограничены Техническими условиями, то аналогичная характеристика в горизонтальной плоскости, особенно поперечные перемещения, мало освещена в литературе и не получила надлежащего отражения в нормативных документах.

В настоящее время большинство конструкций временных железнодорожных мостов спроектировано под нагрузку Н6 по Техническим условиям 1943 года. В новых же Технических условиях 1979 года (ТНУ-79) в качестве расчетных приняты более тяжелые нагрузки ВГ, В, что вызвано необходимостью пропуска по временным мостам подвижного

№ 8858

состава с современной военной техникой, а также увеличена скорость движения поездов на железных дорогах тыла страны до 80 км/ч.

Это обстоятельство требует повышенного внимания к оценке горизонтально- жесткости временных железнодорожных мостов и разработке рекомендаций по её нормированию.

Цель и задачи исследований. Главной целью диссертации является разработка практически удобной приближенной методики оценки горизонтальной поперечной жесткости временных балочных железнодорожных мостов.

Основными задачами работы являются вопросы исследования горизонтальной динамики временных мостов на основе изучения современного состояния существующих конструкций, выполненных исследований и требований, предъявляемых новыми нормативными документами к восстановлению железных дорог в военное время.

Решение вопроса нормирования горизонтальной жесткости временных балочных железнодорожных мостов является первой задачей, которая приведет к единым условиям проектирования опор и пролетных строений в горизонтальной плоскости и ликвидирует существующий в настоящее время разнобой в проектах однотипных конструкций.

Научная новизна результатов диссертации состоит в следующем:

- рассмотрены свободные горизонтальные колебания временных железнодорожных мостов, нагруженных и незагруженных подвижным составом, представленных расчетными схемами в виде: шарнирной цепи на упругих опорах с упругими звеньями, неразрезной балки на упругих опорах с дополнительными массами в местах упругих опор и балки на сплошном упругом основании;
- выбрана наиболее приемлемая расчетная схема с точки зрения простоты и точности вычислений;
- для упомянутых расчетных схем проведен анализ влияния на частоты свободных горизонтальных колебаний различных характеристик системы (высоты опор, количества пролетов, длины пролетных строений, инерции вращения пролетных строений и рода нагрузки);
- получено решение задачи о вынужденных колебаниях временных мостов при стационарном режиме;
- при исследовании свободных и вынужденных колебаний временный мост впервые рассматривался не как балка на двух опорах, а как многопролетная система;
- получены обобщенные экспериментальные данные о динамической и статической работе эксплуатируемых временных мостов под нагрузкой на Байкало-Амурской, Белорусской и Свердловской железных дорогах, а также опытных военных мостов.

На защиту выносятся следующие результаты исследований:

1. Результаты теоретических и экспериментальных исследований особенностей работы временных балочных железнодорожных мостов на горизонтальные нагрузки.

2. Методика оценки горизонтальной поперечной жесткости временных балочных железнодорожных мостов.

Достоверность результатов исследования обоснована строгостью исходных теоретических предпосылок, применяемых методов и подтверждается сопоставлением полученных решений с результатами экспериментальных исследований временных железнодорожных и опытных военных мостов.

Практическая ценность. В результате выполненного исследования разработана методика определения частот и форм свободных горизонтальных колебаний временных мостов. Получены выражения для определения частот свободных горизонтальных колебаний для различных расчетных схем (шарнирная цепь на упругих опорах, неразрезная балка на упругих опорах и балка на сплошном упругом основании), позволяющие определять частоты горизонтальных колебаний и проводить анализ влияния на частоты различных факторов системы.

Разработана методика определения амплитуд горизонтальных колебаний временных мостов при движении вагонной нагрузки. Предложены критерии для оценки периодов свободных горизонтальных колебаний и амплитуд вынужденных колебаний с точки зрения обеспечения безопасности поездов и на их основе разработана Инструкция по проверке пространственной жесткости временных балочных железнодорожных мостов.

Внедрение результатов. Разработанная Инструкция по проверке пространственной жесткости временных балочных железнодорожных мостов утверждена ведущей организацией - Войсковой частью 25967, для опытного проектирования и используется проектной организацией Ленгипротрансмот для выполнения оценочных расчетов проектируемых временных железнодорожных мостов.

Апробация работы. Основные научные положения и результаты диссертации были доложены, обсуждены и одобрены на заседании семинара кафедры мостов Днепропетровского ордена Трудового Красного Знамени института инженеров железнодорожного транспорта имени М.И.Калинина с 1979 по 1982 г.г., на научно-технической конференции "ДИИТ - ВАМУ" (декабрь 1981 г.), на юбилейной конференции, посвященной 50-летию ДИИТа (март 1980 г.), на технической конференции военной кафедры МИИТа (апрель 1981 г.), в войсковой части 25967 (март 1980 г., январь 1982 г., август 1986 г.), в войсковой

части 77043 (апрель 1932 г.), на совместном заседании кафедры мостов и НИИ динамики мостов ДИИТа (октябрь 1937 г.), в Военной ордена Ленина академии тыла и транспорта (октябрь 1937 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 5 печатных работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы, приложений и изложена на 255 с., включая 165 с. машинописного текста, списка использованной литературы из 156 наименований на 12 с. 100 рисунков и 35 таблиц, 2 приложений на 6 с.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулирована проблема обоснования актуальности темы диссертации и кратко изложены вопросы, являющиеся областью её исследований. Указывается цель проводимых исследований и формулируются основные положения, выносимые на защиту. Излагается краткое содержание диссертации по главам и приводятся сведения об её апробации и внедрении результатов работы.

Первая глава посвящена изучению состояния существующих конструкций и анализу выполненных исследований по вопросу горизонтальной жесткости временных башенных железнодорожных мостов.

Рассмотрены краткие характеристики и конструктивные особенности пролетных строений и опор, применяемых при восстановлении железнодорожных мостов.

При этом отмечается, что одним из основных путей сокращения сроков восстановления мостов является индустриализация работ.

Во временных железнодорожных мостах наибольшее применение нашли сборно-разборные пролетные строения (СПП) с ездой поверху расчетным пролетом 23,0 + 33,6 м.

Свайные фундаменты опор из дерева запроектированы для применения на суходоле и при глубине воды от 1,5 до 12,0 м и проверены на пропуск консольных кранов. Расчет фундаментов опор на вертикальных сваях выполнен с учетом работы свай на горизонтальные нагрузки. фундаменты опор на наклонных сваях рассчитаны как высокие свайные ростверки. при этом принято шарнирное закрепление свай с ростверка и грунте

Надстройки опор из дерева запроектированы блочными сборными, высотой от 2,0 до 16,0 м с шагом 2,0 м. Устанавливаются надстройки опор на свайные фундаменты пространственным, центральным и двумя боковыми блоками.

Однако, деревянные надстройки в опорах большой высоты (более

16,0 м) и под пролетные строения длиной более 33,6 м получаются громоздкими, сложными и трудоемкими. В этих условиях находят применение металлические надстройки опор из инвентарных конструкций высотой до 40 м (из имущества УЖБ-ДМП), 30 м (УЖБ-М) и 23 м (ЦКБ Мостотреста с дополнениями ГУВВР).

Вопросам статической работы мостовых конструкций в настоящее время посвящено много работ. Сюда следует отнести работы Г.С.Шпиро, А.А.Царьова, И.А.Тена, М.К.Никитина, Д.В.Федоровского, Г.К.Гольста. Существенное влияние на результаты расчета оказывает принятый вид закрепления свай в ростверке и грунте. В Инструкции ЦКБМ-79 глубина расположения жесткой заделки сваи в грунте определяется в зависимости от материала сваи и вида верхнего слоя грунта, считая от его расчетной поверхности.

Вопросу изучения динамических характеристик высоких свайных ростверков посвящены работы О.Я.Шахтер, А.И.Шошина, Г.К.Гольста. Г.К.Гольст рассматривает собственные поперечные колебания мостовых опор типа высоких свайных ростверков с вертикальными и наклонными сваями. При этом учитываются системы с одной и двумя степенями свободы при наличии вертикальных сжимающих сил и упругой заделки свай в грунте.

Обширные теоретические и экспериментальные исследования по созданию норм для проектирования железнодорожных мостов были выполнены в ЦНИИСе под руководством И.И.Казея и Б.Ф.Лесохина.

В сборниках трудов ДИИТа рассматриваются вопросы теоретических и экспериментальных исследований в области динамики железнодорожных мостов различных систем. Здесь следует отметить работы Н.Г.Бондаря, Г.Н.Яковлева, В.П.Орленко, В.П.Гарасенко, Э.Г.Ройтбурда, К.И.Солдатов, Я.Г.Галушко и др. В результате научного сотрудничества ДИИТа и НИИ мостов при ДИИТе была издана монография по взаимодействию железнодорожных мостов с подвижным составом под редакцией Н.Г.Бондаря.

Большой объем работ по вопросам разработки нормативных документов, проектированию, строительству, теоретическим и экспериментальным исследованиям конструкций временных железнодорожных мостов выполнен Всесоюзным научно-исследовательским институтом транспортного строительства, научно-исследовательским институтом мостов МПС, Военной академией тыла и транспорта, Ленинградским высшим военным училищем железнодорожных войск и военных сообщений Ленгипротрансмостом, войсковой частью 25967 и 77043.

Анализ совместных колебаний опор и пролетных строений встречается значительно реже. Здесь можно назвать работы А.Ф.Смирнова,

Г.К.Гольста, К.К.Якобсона, В.С.Усолицева, В.Колоушка, В.Г.Галушко.

Среди теоретических работ, посвященных исследованию упругости опор, следует отметить работы А.Г.Барченкова, Д.Г.Мозымина, С.А.Дзродева, В.Г.Чудновского, К.И.Солдатова, В.Г.Галушко.

Результаты экспериментальных исследований о влиянии промежуточных гибких опор на работу сооружения приводятся в работах Г.И.Карцивадзе и К.И.Солдатова. Проведенные экспериментальные исследования показывают, что игнорировать влияние упругих перемещений опор на работу сооружения в целом нельзя.

Между тем, вопрос исследования динамической работы временных железнодорожных мостов изучен недостаточно. Здесь можно отметить только работы Г.К.Гольста, исследовавшего горизонтальные колебания временных мостов, К.К.Якобсона и В.С.Усолицева, рассматривавших при исследовании горизонтальных поперечных колебаний виадуков условную однопролетную систему, а также В.Г.Галушко, исследовавшего горизонтальные поперечные колебания виадуков, как многопролетных систем.

Анализ вышесказанных исследований показал, что система "опора-пролетное строение" рассматривается лишь в некоторых работах и нуждается в дополнительном изучении применительно к временным железнодорожным мостам, в которых горизонтальные поперечные перемещения верха опор до сих пор времени не нормируются.

В условиях повышения нагрузок и скоростей движения поездов, трудосмотренных новыми нормативными документами, необходимость нормирования горизонтальной жесткости временных салочных железнодорожных мостов является очевидной.

Во второй главе рассматриваются свободные горизонтальные поперечные колебания временных железнодорожных мостов, представляемых различными расчетными схемами в виде: шарнирной цепи с упругими звеньями на упругих опорах, неразрезной балкой на упругих опорах и балкой на сплошном упругом основании, что дает возможность оценить каждую из них и выбрать наиболее приемлемую.

Выполненный в работе анализ существующих методов определения частот и форм свободных поперечных колебаний временного моста, представленного в виде шарнирной системы с дискретными массами, показал, что наиболее приемлемым является метод перемещений и метод начальных параметров. С использованием метода начальных параметров получены выражения для определения частот свободных горизонтальных поперечных колебаний временных мостов, представленных неразрезной балкой на упругих опорах и балкой на сплошном упругом основании. При этом относительная жесткость опор определялась рас-

четно-экспериментальных путей. В процессе исследований установлено, что инерция вращения пролетных строений не оказывает существенного влияния на частоты, поэтому в дальнейших расчетах не учитывается.

С целью сравнения частот по рассмотренным схемам и для анализа влияния различных характеристик системы на частоты в работе произведено определение частот для нескольких временных мостов с различным количеством пролетов и их длин, при различной высоте промежуточных опор.

Проведенные исследования позволили провести сравнение расчетных схем.

Расчетная схема, представленная шарнирной цепью на упругих опорах, позволяет оценивать динамические характеристики свободных колебаний временных мостов при различной высоте опор и длине пролетных строений, при этом рассматриваемая система необязательно должна быть регулярной. Область применения этой расчетной схемы может определяться относительной жесткостью опор C_{135} , что практически приемлемо для временных мостов с высотой опор 4,0 м и более. Однако, использование данной схемы при исследовании вынужденных колебаний, вызванных подвижной нагрузкой, затруднительно в виду её сложности.

Расчетная схема, представленная неразрезной балкой на упругих опорах, дает возможность построения более простой математической модели для исследования вынужденных колебаний. При этом предполагается, что за счет жесткости рельсо-шпальной решетки и трения в опорных частях, а также жесткости опор, которые оказываются одного порядка с жесткостью пролетных строений, а в некоторых случаях и ниже, расчетные схемы, представленные неразрезной балкой на упругих опорах и балкой на сплошном упругом основании, могут приближаться в своей работе к работе реальной конструкции.

Неразрезная балка на упругих опорах является промежуточной схемой для оценки динамических характеристик свободных колебаний при переходе от шарнирной цепи к балке на сплошном упругом основании. Определение динамических характеристик свободных колебаний временных железнодорожных мостов по схеме, представленной балкой на упругих опорах, все же имеет некоторые неудобства вследствие необходимости решения трансцендентного уравнения.

Расчетная схема, представленная балкой на сплошном упругом основании, при определении высших частот является менее точной по сравнению с шарнирной схемой. Однако, значительная погрешность и достаточная точность вычисления первых частот определяет её практическую ценность. При этом следует учитывать неизбежную приближен-

ность целого ряда исходных параметров.

Принятая расчетная схема позволяет достаточно просто определять динамические характеристики свободных колебаний и, с учетом определенных допущений, в дальнейшем используется для исследования вынужденных колебаний.

В третьей главе рассматриваются свободные горизонтальные колебания нагруженных временных железнодорожных мостов. При исследовании свободных колебаний учитывается упругая связь между подрессоренными и неподрессоренными частями подвижного состава. Здесь, как и в предыдущей главе, рассматриваются три расчетных схемы: шарнирная система, неразрезная балка на упругих опорах и балка на сплошном упругом основании.

При определении частот рассматривается два случая:

1. Массы и жесткости вагонов сосредотачиваются на опорах и в серединах пролетов.

2. Массы и жесткости вагонов сосредотачиваются только в серединах пролетов.

Анализ показал, что применение второго случая несколько упрощает расчетную схему. Частоты и формы колебаний определялись на ЭЦМ "Няри-2".

Колебания нагруженных временных мостов, представленных неразрезной балкой на упругих опорах, описываются дифференциальными уравнениями вида

$$EJ y_1'' + m_2 \ddot{y}_2 + (m_1 + m_0) \ddot{y}_1 = 0 \quad (1)$$

$$- J_0 \ddot{\varphi} - m_2 \ddot{y}_2 h - K_{\varphi} \varphi + q h \varphi = 0 \quad (2)$$

где y_1, y_2 - горизонтальные перемещения пролетного строения и центра тяжести подрессоренных частей подвижного состава;

m_2, m_0 - подрессоренная и неподрессоренная погонные массы подвижного состава;

m_1 - суммарная погонная масса пролетного строения и распределенной приведенной массы опоры;

φ - угол поворота подвижного состава;

K_{φ} - величина момента, вызывающая единичное угловое перемещение рессор подвижного состава;

q - подрессоренный погонный вес вагона;

h - высота расположения центра тяжести подрессоренной массы относительно осей колесных пар;

J_0 - погонный момент инерции подрессоренной массы относительно продольной оси, проходящей через тяжести этой массы.

Используя метод Фурье для разделения переменных и методику получения трансцендентного уравнения, после преобразований приходим к биквадратному уравнению относительно частоты совместных пространственных колебаний нагруженных временных железнодорожных мостов. Его решение имеет следующий вид:

$$\Theta_i^2 = \frac{1}{2f} \left[(\Theta_{oi}^2 + \Theta_b^2) \pm \sqrt{(\Theta_{oi}^2 + \Theta_b^2)^2 - 4f \Theta_{oi}^2 \Theta_b^2} \right], (i=1, 2, \dots, n), \quad (3)$$
 где Θ_{oi} — парциальная частота системы, равная частоте колебаний неразрезной балки на упругих опорах для i -ой формы, когда жесткость рессор подвижного состава равна бесконечности; Θ_b — частота боковых колебаний лагона на жестком основании.

Парциальные частоты соответственно определяются выражениями

$$\Theta_{oi} = \lambda_i^4 \frac{EJ}{(m_i' + m_o + m_e) l_i^4}; \quad \Theta_b = \frac{K_e - c}{J}, \quad (4)$$

где J — погонный момент инерции подрессоренной массы относительно продольной оси, проходящей на уровне колесных пар.

При рассмотрении нагруженных временных мостов как балок на сплошном упругом основании их колебания описываются также дифференциальными уравнениями (1,2) с добавлением к уравнению (1) члена $C_0 y$, который учитывает реакцию упругого основания. Частоты совместных пространственных колебаний системы будут определяться уравнением (3), а выражение для парциальной частоты будет иметь вид

$$\Theta_{oi} = \sqrt{\frac{\pi^4 l_i^4}{\eta^4} + 2c'} \cdot \sqrt{\frac{EJ}{m \eta^4}}, \quad (5)$$

где l_i — полная длина временного моста; $m = m_i' + m_o + m_e$

Выражение (3) учитывает две группы частот пространственных колебаний системы: синфазные и антифазные.

В работе дана оценка влияния на частоты горизонтальных колебаний временных мостов высоты опор, длин пролетных строений и количества пролетов, нагруженных шестиосными и четырехосными вагонами, проведено сравнение периодов свободных колебаний.

Проведенные исследования показали, что при определении частот свободных горизонтальных колебаний нагруженных временных мостов можно с достаточной для практических целей точностью пользоваться расчетной схемой в виде балки на сплошном упругом основании, в результате чего уменьшается объем вычислительной работы. При рассмотрении многопролетных временных мостов можно ограничиться рассмотрением пятипролетной схемы.

Четвертая глава посвящена исследованию вынужденных горизонтальных колебаний временных железнодорожных мостов. При этом расчетная схема временного моста представлена в виде неразрезной бал-

ки на упругих промжуточных опорах с дополнительными массами в местах упругих опор и движущимися по ней с постоянной скоростью пульсирующими грузами.

Поставленная задача решается на основе использования метода обобщенных координат. Дифференциальные уравнения вынужденных горизонтальных колебаний балки выражаются следующим уравнением

$$E \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \mu \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + m_1 \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \sum_{h=1}^n P_h(x, t) \delta(x - \xi_h) + \sum_{s=1}^l P_s(x, t) \delta(x - \xi_s), \quad (6)$$

где E , m_1 , μ - изгибная жесткость, погонная масса и коэффициент сопротивления материала балки; $y(x, t)$ - перемещение оси балки; δ - дельта-функция; P_h - сила давления h -ой тележки на балку; x_h - расстояние от начала балки до h -ой тележки; m - число ударных тележек; ξ_h, ξ_s - безразмерные координаты, равные $\xi_h = \frac{x_h}{l}$; $\xi_s = \frac{x_s}{l}$; l - длина балки.

Чтобы установить условия, позволяющие гарантировать безопасность движения поезда с точки зрения отсутствия значительного обезгруживания колес одной стороны вагона в работе рассмотрено движение вагона с постоянной скоростью по колеблющемуся временному мосту. При этом влияние удерживающих связей соседних вагонов не учитывалось. Уравнение боковых колебаний подрессоренной массы m вагона имеет вид

$$J_0 \ddot{\varphi} + K \frac{l^2}{2} \dot{\varphi} + A \frac{l^2}{2} \varphi - Mgh\varphi = Mh\ddot{y}_2, \quad (7)$$

где J_0 - момент инерции подрессоренной массы вагона относительно центральной оси; φ - угол поворота подрессоренной массы вокруг продольной оси; h - расстояние от оси поворота вагона до центра тяжести подрессоренной массы; K - коэффициент сопротивления ресcор, считая на одну сторону вагона; A - жесткость ресcор одной стороны вагона; S - расстояние между центрами ресcорного подвешивания в поперечном направлении; y_2 - поперечное перемещение центра тяжести подрессоренной массы.

Значения максимальных углов поворота определяются аналитическими выражениями, полученными решением дифференциального уравнения боковых колебаний вагона (7) при резонансных условиях.

Принятые резонансные условия дают возможность установить критерии, при которых исключается резонанс по колебаниям боковой качки:

$$\begin{aligned} \text{первый резонанс } \Theta_k + \frac{n\sqrt{V_{\max}}}{L} < \Theta_n < \Theta_k + \frac{n\sqrt{V_{\min}}}{L}; \\ \text{второй резонанс } \Theta_k - \frac{n\sqrt{V_{\min}}}{L} < \Theta_n < \Theta_k - \frac{n\sqrt{V_{\max}}}{L}; \end{aligned} \quad (8)$$

где Θ_n - частота свободных колебаний нагруженного временного моста;
 Θ_k - частота бковых колебаний вагона; V_{min}, V_{max} - наименьшие
и наибольшие скорости движения поездов по временным мостам.

Учитывая, что конструкция временного моста должна иметь некоторую минимальную жесткость, ограничимся только критерием оценки частот снизу

$$\Theta_n > \Theta_k + \frac{\pi L V_{max}}{L}, \quad (9)$$

и, переходя к периоду свободных колебаний системы "мост-поезд", получим зависимость

$$T_n < \frac{2L}{\Theta_k + \pi V_{max}}, \quad (10)$$

где L - расчетная длина временного моста.

Используя зависимость (10), в работе определены значения наибольших допустимых периодов свободных горизонтальных колебаний нагруженных мостов для обследованных объектов. Если нагрузка не определена, то следует исходить из условия

$$T < 0,5c \quad (11)$$

Если условия (9,10) не выполняются, необходимо исследовать работу сооружений в резонансных режимах.

В работе приводятся результаты вычисления допустимых амплитуд для обследованных временных мостов при различных типах вагонов и коэффициентах обзагруживания, а также рассматривается методика определения амплитуд вынужденных колебаний экспериментально-теоретическим путем.

В пятой главе рассматриваются краткие характеристики, приводится методика и результаты экспериментальных исследований временных железнодорожных мостов. Были исследованы пять временных мостов с различными пролетными строениями и опорами. Натурные испытания проводились в период 1977-1986 г.г. отраслевой научно-исследовательской лабораторией динамики мостов с участием автора.

Программой испытаний ставились задачи определения частот, форм и декрементов свободных горизонтальных колебаний временных мостов с нагрузкой от подвижного состава и без нагрузки, частот, форм пространственных колебаний системы "временный мост-поезд" при движении нагрузки, статических и динамических горизонтальных перемещений пролетных строений и опор. Для определения частот и амплитуд поперечных горизонтальных колебаний опор и пролетных строений применялись сейсмометры ВВЛ-3м и индуктивные прогибомеры. При статических испытаниях опор использовались прогибомеры Максимова и геодезические приборы.

В качестве испытательной нагрузки использовались одиночные локомотивы и специально сформированные испытательные поезда из четырехосных полувагонов с одним или двумя локомотивами. При испытаниях моста № 5 в составе находился вагон-лаборатория.

Динамические характеристики свободных колебаний определялись по "хвостам" осциллограмм, записанных после схода нагрузки с моста. Полученные экспериментальные данные для определения амплитуд горизонтальных колебаний обрабатывались методами математической статистики с использованием АЦМ "Наирн-2".

В результате обработки данных эксперимента получены максимальные амплитуды горизонтальных колебаний верха опор и пролетных строений, частоты свободных и вынужденных колебаний, декременты колебаний. Установлено, что основным фактором, влияющим на частоты свободных горизонтальных колебаний системы, является жесткость промежуточных опор. Сравнение частот свободных горизонтальных колебаний, полученных теоретическим и экспериментальным путем приведены в табл. I.

Таблица I.
Сравнение частот свободных колебаний

Частоты Гц	Незатруженные мосты			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Теория	2,78	2,70	3,68	3,22
Эксперимент	2,85	2,81	3,82	3,40

Приведенные данные показывают удовлетворительную сходимость частот.

Результаты спектрального анализа частот вынужденных колебаний испытанных мостов №№ 1-4 показывают, что диапазон частот основного тона имеет разные значения и зависит от вида нагрузки и скорости её прохождения.

На мосту № 5 величины опытных значений динамических коэффициентов ($I + \mu$) определялись по динамическим прогибам пролетного строения, записанным на осциллограммах.

При анализе графиков нормированных спектральных плотностей было установлено, что колебания пролетных строений вызываются, в основном, ударным воздействием вагонов в стыках рельс, влиянием вагонов.

Для временного моста № 1 максимальные амплитуды перемещений верха опор зарегистрированы равными 5,7 мм, а для пролетных строений - 5,96 мм. На мосту № 2 эти расхождения оказались больше и

не превышает 7,93 мм.

Для теоретического определения амплитуд горизонтальных колебаний предварительно определялась частота возмущающей силы из выражения

$$\omega = \varphi V, \quad (12)$$

где φ - угол поворота подвижного состава; V - скорость движения нагрузки по мосту.

Для определения коэффициента φ в диапазоне скорости $V = 35 \div 50$ км/ч предложено выражение

$$\varphi = 1,12 - 0,02 V, \quad (13)$$

где V - скорость движения нагрузки в км/ч.

При скоростях выше 50 км/ч значение коэффициента φ необходимо принимать не менее 0,4. Для получения максимальных ожидаемых амплитуд следует определять их величины при резонансных частотах. Результаты теоретических и экспериментальных данных приведены в табл.2.

Таблица 2.

Сравнение амплитуд вынужденных колебаний

Нагрузка	Четырехосные вагоны							
Всем мосты	№ 1		№ 2		№ 3		№ 4	
V , м/сек	10,0	8,5	12,3	9,22	12,2	7,5	22,2	18,2
φ теор., мм	3,36	2,32	4,31	6,11	8,32	5,62	4,64	3,54
φ эксп., мм	3,50	2,28	4,75	5,01	9,13	6,43	4,71	3,82

Приведенные в табл.2 данные показывают удовлетворительное совпадение амплитуд вынужденных колебаний исследованных мостов.

Для уточнения горизонтальной жесткости временных мостов были проведены статические испытания опор на мостах № 3,4 в результате чего получены достоверные данные о характере работы опор на горизонтальные нагрузки.

Сравнение теоретических и экспериментальных данных показало, что зависимость деформации опоры от нагрузки носит нелинейный характер. Это особенно наблюдается в начальный период загружения опоры в пределах нагрузки от 0,5 до 2,5 тс, когда идет выборка неплотностей сопряжения элементов конструкции.

Настоящая глава посвящена разработке практически удобной приближенной методики оценки горизонтальной жесткости временных балочных железнодорожных мостов. Рассмотрены три способа и критерия горизонтальной жесткости по следующим критериям:

1. Нормирование по оценке действительных амплитуд горизонтальных колебаний моста под подвижной нагрузкой из условия

$$\{f_n\} \leq [f_n], \quad (I4)$$

где $\{f_n\}$ - действительная величина амплитуды вынужденных горизонтальных колебаний моста;

$[f_n]$ - допустимая величина этой амплитуды, определяемая из условия безопасности движения поездов на мосту.

С учетом имеющихся решений задач взаимодействия пролетных строений капитальных мостов с подвижной нагрузкой, выполненных Н.Г.Бондарем, Г.Н.Яковлевым и В.П.Тарасенко, критерий нормирования по первому способу получит вид

$$\{f_n\} \leq [f_n] = 2,0 \text{ см.} \quad (I5)$$

2. Нормирование по горизонтальным прогибам от приведенной горизонтальной нагрузки имеет вид

$$\{f_n\} = \frac{4q}{\pi^2 \left(\frac{L}{n}\right)^4 G} \leq [f_n], \quad (I6)$$

где q - приведенная горизонтальная нагрузка;

n - рассматриваемая форма колебаний системы;

L - расчетная длина моста;

G - приведенная жесткость системы как балки на сплошном упругом основании, равная

$$G = EJ + \left(\frac{L}{n\pi}\right)^4 c \quad (I7)$$

здесь EJ, c - жесткость пролетного строения и опоры временного моста.

3. Нормирование по периоду свободных колебаний имеет вид

$$T_n \leq [T_n] = 0,705 \sqrt{\frac{m_0}{q}}, \quad (I8)$$

где m_0 - приведенная погонная масса системы;

В теоретических расчетах период свободных горизонтальных колебаний может быть определен по формуле

$$T_n = \alpha_r \frac{2L^2}{\pi^2 n^2} \sqrt{\frac{m_0}{G}}, \quad (I9)$$

где α_r - корректирующий множитель.

На основании выполненных исследований разработана Инструкция по проверке пространственной жесткости временных балочных железно-дорожных мостов, содержание которой приводится в работе.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы, даны рекомендации по их практическому использованию, определены направления дальнейших исследований.

Основные результаты диссертационной работы состоят в следующем.

8588 en

1. Выполнен анализ конструктивных особенностей пролетных строений и опор временных мостов, исследований, посвященных нормированию их горизонтальной жесткости.

2. На основании экспериментально-теоретических исследований получены выражения для определения частот свободных горизонтальных колебаний незагруженных и загруженных временных мостов, представленных различными расчетными схемами: шарнирной цепью на упругих опорах, неразрезной балкой на упругих опорах и балкой на сплошном упругом основании. Установлена область применения каждой расчетной схемы и выбрана наиболее приемлемая для решения поставленной задачи.

3. Разработан график-номограмма для определения частот свободных горизонтальных поперечных колебаний временных мостов.

4. На основании натурных экспериментальных и теоретических исследований предложена методика определения горизонтальных амплитуд вынужденных колебаний временных мостов и разработаны рекомендации по их нормированию.

5. Показано, что расстройство сопряжений элементов опор из дерева в процессе эксплуатации временного моста оказывает существенное влияние на жесткость опор и моста в целом.

6. Предложены критерии для оценки периодов свободных горизонтальных колебаний и амплитуд вынужденных колебаний и на их основе разработана Инструкция по проверке пространственной жесткости временных балочных железнодорожных мостов.

7. Разработанные методики, формулы для определения частот и амплитуд горизонтальных колебаний могут быть использованы при проектировании, обследовании и эксплуатации временных балочных железнодорожных мостов.

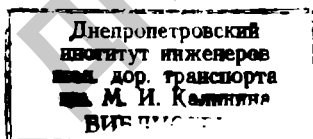
8. Рекомендации разработанной Инструкции могут быть полезными при дальнейшем исследовании вопросов взаимодействия временных железнодорожных мостов с подвижным составом в горизонтальной плоскости.

Содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Кисляк В.П., Солдатов К.И. К вопросу о горизонтальной жесткости опор временных железнодорожных мостов. Тр. ДИИТ - Днепропетровск, -1979. -Вып.202/23 - с.110-117.

2. Кисляк В.П., Солдатов К.И. Исследование динамической работы временных железнодорожных мостов. Тр. ДИИТ-Днепропетровск, -1979. -Вып.202/23. -с.117-122.

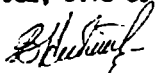
3. Яковлев Г.Н., Кисляк В.П. О нормировании горизонтальной жесткости временных балочных железнодорожных мостов. Тр. ДИИТ. -Днепропетровск-1980. -Вып.207/24 - с.91-103.



4. Яковлев Г.Н., Кисляк В.П. Экспериментально-теоретическое определение амплитуд вынужденных колебаний временных железнодорожных мостов. /Вопросы динамики мостов и теории колебаний: Межвузовский сборник научных трудов/ - Днепропетровск, ДИИТ, 1982, с.73-77.

5. Яковлев Г.Н., Кисляк В.П. Некоторые вопросы взаимодействия временных железнодорожных мостов с подвижным составом. /Вопросы динамики мостов и теории колебаний: Межвузовский сборник научных трудов, -Днепропетровск.: ДИИТ, 1982, с.78-89.

Составитель:



Кисляк Владимир Павлович

Работа временных балочных железнодорожных мостов на
горизонтальные нагрузки

УФ.23.15 - мосты и тоннели и другие отроительные сооружения
на железных и автомобильных дорогах

Подписано к печати 21.II.87.

Формат 60x84 1/16. Бумага для множительных аппаратов. Усл.печ.л.1,0,
Уч-изд.л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 22. Бесплатно.

Учесток оперативной полиграфии ДИИТа

320700, г.СП. Днепропетровск, ГО, ул.Акад.В.А.Лазаряна, 2