

СССР - МПС

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

Аспирант Матысек Ирина Николаевна

ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ  
НАГРУЗКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ АРОЧНЫХ ПРОЛЕТНЫХ  
СТРОЕНИЙ С ЕЗДОЙ ПОСЕРЕДИНЕ

(Специальность №05.22.05 Искусственные  
сооружения на железнодорожном транспорте)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Днепропетровск  
1 9 7 3

НТБ  
ДНУЖТ

СССР - МПС

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

Аспирант Матусек Ирина Николаевна

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ  
НАГРУЗКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ АРЧНЫХ  
ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ С ЕЗДОЙ ПОСЕРЕДИНЕ

( Специальность № 05.22.05 Искусственные  
сооружения на железнодорожном транспорте )

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

Днепропетровск  
1973

НТБ  
ДНУЖТ

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта .

Научный руководитель – доктор технических наук,  
профессор Г.Н. Яковлев

Официальные оппоненты

доктор технических наук, профессор А.Б.Моргаевский  
кандидат технических наук , доцент В.П.Орленко

Ведущее предприятие – Грузинский политехнический институт

Автореферат разослан *7 апреля* 1973 г.

Защита диссертации состоится *" 11 мая "*

1973 года на заседании Совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта ( г.Днепропетровск, ул.Университетская, 2, ДИИТ )

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании ученого Совета или прислать свои отзывы о работе в двух экземплярах .

Ученый секретарь Совета.

НТБ  
ДНУЖТ

В соответствии с Директивами XXIV съезда КПСС по девятому пятилетнему плану в нашей стране успешно претворяется в жизнь грандиозная программа дальнейшего роста железнодорожной сети СССР, программа значительного увеличения пропускной и провозной способности железных дорог.

Конкретные задачи в этой области определены также в июньском 1971 года постановлении ЦК КПСС и Совета Министров Союза ССР "О развитии железнодорожного транспорта в 1971-1975 г.г."

В девятой пятилетке предстоит соорудить и начать строительство ряда внеклассных мостов, построить сотни больших и средних мостов, среди которых несомненно будут и железобетонные арочные мосты .

За пятьдесят лет Советской власти в СССР построено большое количество арочных железобетонных мостов на железных и шоссейных дорогах, к числу которых относятся такие выдающиеся сооружения, как крупнейшие в мире мосты под совмещенную езду пролетами 140 и 228 м , мост через судоходный канал пролетом 116 м под четыре железнодорожных пути с ездой посередине, мост под совмещенную езду через р. Москва пролетом 120 м с ездой посередине , городской мост через Волгу у Рыбинска с судоходными пролетами по 124 м , перекрытыми арками с ездой посередине , железнодорожный двухпутный мост через судоходный канал с трехшарнирными коробчатыми сводами наибольшего в мире пролета 120 м , крупнейший в мировой практике железнодорожный мост из сборного железобетона с пролетами по 150 м с ездой посередине, замечательный по архитектурной композиции мост Чалюскинцев

через р. Куру в Тбилиси, крупнейший городской мост через Висою в Красноярске с пролетами на 150 м из сборного железобетона, Москворецкий мост в Москве с двухъярусными сводами пролетом 90 м, городской мост через р. Клязьму у Владимира, оригинальная двухъярусная эстакада с пролетами по 53 м одного из овальных мостов через Волгу и многие другие. Большое количество арочных железобетонных мостов построено за рубежом

Долголетняя история применения арочных систем в мостах подтверждает их несомненные экономические, технологические, прочностные и наконец эстетические достоинства

В области железобетона для перекрытия судоходных пролетов долильных рек успешно применялись и несомненно будут применяться в будущем арочные пролетные строения с ездой посередине, отличающиеся большой жесткостью, надежностью, экономичностью по расходу металла и высокими архитектурными достоинствами .

Внедрение на железнодорожном транспорте новых большегрузных вагонов и высоких скоростей движения поездов выдвинуло в качестве одной из актуальных задач современного мостостроения задачу исследования динамической работы пролетных строений железнодорожных мостов.

Однако, если работа на горизонтальные динамические нагрузки от подвижного состава арочных железобетонных мостов с ездой поверху за последние годы исследована в ряде работ, то динамическая работа пролетных строений с ездой посередине до настоящего времени не исследовалась. Между тем наличие шарнира в середине подвесной проезжей части дает основание

ожидать появления в этом месте значительных амплитуд горизонтальных колебаний, что может неблагоприятно отразиться на устойчивости верхнего строения пути и безопасности движения тяжеловесных поездов с высокими скоростями .

Реферируемая диссертационная работа посвящена исследованию некоторых вопросов свободных и вынужденных горизонтальных колебаний железобетонных арочных мостов с вадой посередине под железную дорогу .

Работа состоит из введения , шести глав и заключения .

Во введении сделан краткий обзор исследований статической и динамической работы арочных мостов, выполненных в нашей стране и за рубежом .

Вопросами работы арок и арочных мостов занимались Г.П.Передерий , Г.К.Евграфов, К.С.Завряев, В.К.Качурин, Л.П.Поляков, К.К.Якобсон, К.Г.Протасов, П.С.Морозов, А.И.Виноградов, Н.Г.Бондарь, А.А.Петропавловский, А.Б.Моргаевский, Г.Л.Павленко, Е.В.Дорошенко, Д.В.Кротов, Д.П.Балогорцев, С.М.Мулин, Г.Н.Карцивадзе, Б.М.Вейнблат, С.И.Конашенко, В.В.Болотин, Н.И.Поливанов, Г.Н.Яковлев, Д.Н.Лебединец, Э.Г.Ройтбурд , Штрасснер , Л.Эстлунд , Валлет , В.Франчози и другие .

Значительный вклад в дело совершенствования методов возведения железобетонных арочных мостов сделана у нас в стране благодаря плодотворной инженерной деятельности известных мостостроителей : И.Д.Баренбойма, Н.А.Богдзеля , М.Н.Власова, Г.И.Зингоренко , А.И.Иванченко, И.Д.Москалева, Н.М.Молоканова и других .

Работа на горизонтальные нагрузки железнодорожных арочных мостов рассматривалась в трудах Г.К.Гольста,

В.П.Тарасенко, В.С.Усольцева .Работа на горизонтальные нагрузки железнодорожных арочных мостов с ездой поверху исследована в ряде работ ДИИТа , выполненных за последние годы .

Во введении сформулировано основное направление диссертационной работы, дано обоснование постановки задачи исследования .

В первой главе рассмотрены свободные горизонтальные колебания арочных пролетных строений с ездой посередине .

Учитывая конструктивную сложность рассматриваемой системы и практически неизбежную приближенность определения основных динамических характеристик ее модуля упругости бетона, объемной массы, влияния армирования и т.п. , за основу принята уловная система с четырьмя дискретными массами, состоящая из криволинейной безраскосной фермы с заделанными концами и двух одноконсольных балок проезжей части, имеющих в середине пролета шарнирно-подвижное сопряжение и свободно опертых на опоры моста и арки . Узловые массы системы расположены в середине проезжей части, в замке арок и в местах пересечения арок с проезжей частью .

Для качественной и количественной оценки исследуемых явлений в работе рассмотрены реальные арочные железнодорожные однопутные пролетные строения с ездой посередине пролетами 106 и 150 м . Пролетное строение пролетом 106 м выполнено из монолитного железобетона с бесшарнирными арками переменного сечения ; пролетное строение пролетом 150 м - из сборного железобетона с бесшарнирными арками постоянного сечения .

Таким образом, рассмотренные в исследовании пролетные строения являются типичными для современных арочных железнодорожных мостов с ездой посередине .

Определение частот свободных горизонтальных колебаний принятой системы с четырьмя массами выполнено двумя способами : непосредственным решением ( на ЭЦМ ) векового уравнения и , для сравнения , методом спектральной функции .

Вычисление единичных перемещений , необходимых для определения коэффициентов векового уравнения, производилось методом детерминанта перемещений с использованием ЭЦМ .

По найденным частотам были установлены соответствующие формы свободных колебаний системы, использованные в дальнейшем при исследовании вынужденных колебаний .

В работе рассмотрено также определение первой частоты свободных колебаний энергетическим методом , имея в виду получение простой формулы, удобной для инженерных расчетов .

В результате анализа единичных перемещений частот и форм свободных колебаний системы с четырьмя массами было установлено, что амплитуды колебаний точек пересечения проезжей части с арками будут малы и в связи с этим при исследовании некоторых задач вынужденных колебаний пролетных строений можно ограничиться рассмотрением более простой системы с двумя дискретными массами, расположенными в замке арок и середине проезжей части .

В этих условиях две частоты свободных колебаний

определяются формулами :

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \sqrt{\frac{1}{L_1}} ; \\ \theta_2 &= \sqrt{\frac{1}{L_2}} ; \end{aligned} \quad (I)$$

где  $L_1$  и  $L_2$  - корни векового уравнения , определяемые по приведенным в работе формулам .

Глава вторая посвящена изложению экспериментальных работ, проведенных на натуральных объектах, и анализу полученных экспериментальных данных .

Испытания пролетного строения пролетом 106 м были проведены НИИ динамики мостов ДИИТа с участием автора в 1970 году .

Испытания проводились с целью определения :

- а) амплитуд горизонтальных вынужденных колебаний пролетного строения для точек, расположенных в середине проезжей части, в замке арок и в пересечениях арок с проезжей частью
- б) частот свободных горизонтальных колебаний ;
- в) логарифмических декрементов пространственных колебаний

Динамические испытания проводились под проходящими поездами .

Для измерения требуемых величин применялись горизонтальные маятники с индуктивными датчиками перемещений, разработанные и изготовленные в ДИИТе . Запись производилась при помощи самопишущего быстродействующего пятиканального

прибора НЗ20-5 .

Частоты свободных пространственных колебаний определялись по «хвостам» диаграмм . Определение логарифмических декрементов колебаний производилось по записям свободных колебаний .

Амплитуды вынужденных горизонтальных колебаний определялись по диаграммам, записанным при прохождении нагрузки .

Полученные экспериментальные данные обрабатывались методами математической статистики .

Экспериментальные данные для арочного пролетного строения пролетом  $l = 150$  м взяты из материалов совместных испытаний ЦНИИСа и ДИИТа ; проведенных в 1961 году .

В этих испытаниях были получены частоты свободных колебаний, амплитуды вынужденных горизонтальных колебаний и логарифмические декременты колебаний .

Полученные экспериментальные значения амплитуд горизонтальных колебаний, приведены в таблице I .

Третья глава посвящена исследованию вынужденных горизонтальных колебаний рассматриваемых систем при стационарном режиме ( пролетное строение полностью загружено вагонной нагрузкой ) .

Цель исследования - определение максимальных амплитуд горизонтальных колебаний, возникающих при проходе подвижного состава . Как известно, величины горизонтальных сил, действующих на пролетное строение при проходе подвиж-

ной нагрузки, еще недостаточно изучены .

Основным возмущающим фактором, вызывающим горизонтальные колебания пролетного строения, можно считать влияние подвижного состава .

В основу исследования вынужденных колебаний при стационарном режиме положены следующие предпосылки

1) пролетное строение рассматривается как система с четырьмя дискретными массами ;

2) горизонтальные возмущающие силы от ударов колес подвижного состава рассматриваются как приведенные периодические силы, зависящие от амплитуды и частоты влияния единиц подвижного состава .

В условиях принятых предположений колебания системы описываются четырьмя дифференциальными уравнениями второго порядка с постоянными коэффициентами, которые при определенных условиях разделяются на две группы, описывающие симметричные и кососимметричные колебания .

Симметричные колебания, возникающие при действии симметричной нагрузки, описываются тремя дифференциальными уравнениями, а кососимметричные - одним уравнением .

Решение трех уравнений, описывающих симметричные колебания, произведено приведением их к главным координатам при помощи коэффициентов приведения  $\alpha_i$  и  $\beta_i$

Как показано Н.Г.Бондарем, разделение полных уравнений с учетом сопротивлений возможно лишь в частных случаях .

Поэтому , в настоящей работе для разделения полных уравнений используя приближенный способ вычисления

коэффициентов сопротивления приведенных уравнений, исходя из известного соотношения

$$2 \varepsilon_i = \frac{\gamma_i \cdot \theta_i}{f} \quad (2)$$

где:  $\gamma_i$  - декремент колебаний, соответствующий  $i$ -той частоте собственных колебаний системы

При определении максимальных приведенных горизонтальных сил от воздействия подвижного состава использован вероятностный подход, сущность которого сводится к следующему. На участках пролета, соответствующих рассматриваемой форме колебаний размещается максимально возможное количество тележек вагонов, создающих при вилянии поперечные инерционные силы. Затем, на основе исследования вероятностей одновременного появления различного количества горизонтальных ударов от инерционных сил, устанавливается наиболее невыгодный случай, для которого и определяется приведенная возмущающая сила

$$Q_{max}(t) = M_0 \cdot a_{max} \cdot \rho_m \cdot \omega^2 (\gamma_m)_{max} \cdot \delta \cdot \sin \omega t \quad (3)$$

где  $M_0$  - приведенная масса вагона, приходящаяся на одну тележку  $a_{max}$  - наибольшая амплитуда виляния;  
 $\omega$  - частота виляния  $\rho_m$  и  $(\gamma_m)_{max}$  - коэффициенты, учитывающие вероятность невыгоднейшего сочетания тележек на загруженном участке.

После решения приведенных уравнений переход к первоначальным уравнениям произведен по формулам Крамера.

Кроме того, для контроля вычислений неразделенные уравнения были решены на ЭЦВМ «Наири»

Как показали расчеты, наибольшие амплитуды имеют точки провальной части, расположенные в середине пролета. Амплитуды колебаний точек пересечения арок с проезжей частью весьма малы, что позволило в дальнейших исследованиях рассмотреть упрощенную систему с двумя массами.

Вычисленные теоретические значения амплитуд в общем соответствуют экспериментальным (табл. I), что подтверждает приемлемость предложенной методики определения максимальных амплитуд горизонтальных колебаний пролетных строений с ездой посередине.

В четвертой главе рассмотрены вынужденные горизонтальные колебания при нестационарном режиме, т.е. движение одиночного локомотива по пролетному строению.

При этом приняты следующие предпосылки:

- а) пролетное строение рассматривается как система с двумя массами согласно изложенному ранее;
- б) масса груза  $M_k$  и пульсирующая сила  $P_k$  считаются движущейся равномерно вдоль проезжей части со скоростью  $V$

Так как величина пульсирующей силы зависит от амплитуды и частоты виляния экипажей, то предварительно был проведен подробный анализ имеющихся теоретических и экспериментальных исследований, касающихся этих вопросов.

После соответствующих преобразований, а также перехода к относительному времени  $\tau$ , уравнения колебаний рассматриваемой системы, получают вид

$$\left. \begin{aligned} a_{11}(\tau) \ddot{y}_1 + b_{11} \dot{y}_1 + b_{12} \dot{y}_4 + c_{11} y_1 + c_{14} y_4 &= F_1(\tau), \\ a_{44}(\tau) \ddot{y}_4 + b_{41} \dot{y}_1 + b_{44}(\tau) \dot{y}_4 + c_{41}(\tau) y_1 + c_{44}(\tau) y_4 &= F_4(\tau) \end{aligned} \right\} (4)$$

где  $y_1$  и  $y_4$  - соответствующие перемещения точек с массами  $m_1$  и  $m_4$ , расположенными в середине проезжей части и в замке арок;  $a_{ik}$ ,  $b_{ik}$  и  $c_{ik}$  - переменные коэффициенты.

Структура переменных коэффициентов уравнений (4) показывает, что переменная часть их определяется выражением вида  $\kappa = 1 + \gamma_m \cdot \sin^2 f \cdot r$ . Анализ этого выражения показал, что наибольшее значение его отличается от единицы всего на 6%. Поэтому, учитывая неизбежную приближенность исходных параметров, было принято значение  $\kappa = 1$  и уравнения (4) решены как уравнения с постоянными коэффициентами. Решение уравнений выполнено на ЭЦВМ «Наира»

Максимальные амплитуды были вычислены при движении по пролетному строению одиночных локомотивов: ЧС2, ВЛ23 и ТЭ3 (секция). При этом согласно вышеупомянутым исследованиям принята следующая зависимость частоты влияния приведенной пульсирующей силы от скорости движения подвижного состава

$$\begin{array}{ll} \text{для ВЛ23 и ТЭ3} & - \quad \omega = 0,4 \mathcal{V}; \\ \text{для ЧС2} & - \quad \omega = 0,2 \mathcal{V}, \end{array}$$

где  $\omega$  - круговая частота в 1/сек;  
 $\mathcal{V}$  - скорость движения в м/сек

Амплитуды горизонтальных колебаний пролетных строений вычислены при двух значениях амплитуд влияния

$a_1 = 8$  мм - величина вычисленная на основании опытов ДИИТа с вероятностью 0,997 и  $a_2 = 14$  мм - максимальное значение амплитуды влияния, полученное Логвином при учете горизонтальных неровностей в пути.

На основании решения дифференциальных уравнений построены графики колебаний замка арок и середины проезжей части соответствующие двум первым критическим скоростям движения локомотива . Из графиков видно, что колебания арок и проезжей части с максимальными амплитудами по первой форме происходят в одну сторону, по второй - в разные, что соответствует формам колебаний пролетных строений найденным при определении частот свободных колебаний .

Максимальные амплитуды горизонтальных колебаний при движении одиночных локомотивов (нестационарный режим) оказались несколько больше чем амплитуды, вычисленные при стационарном режиме ( таблица 2 ) .

Пятая глава посвящена определению предельных допускаемых амплитуд горизонтальных колебаний арочных пролетных строений с вздой посередине из условия обеспечения устойчивости боковых колебаний вагонов при движении их по мосту .

В качестве критериев устойчивости принята степень обезгруживания колес вагонов от боковой качки .

При этом учитываются только поперечные горизонтальные колебания пролетного строения, пренебрегая крутильными . Влияние удерживающих связей соседних вагонов не учитывается . Скорость движения нагрузки предполагается постоянной .

В этих условиях боковые колебания подрессоренной массы  $M$  вагона определяются уравнением

$$\gamma_0 \ddot{\varphi} + \kappa \frac{s^2}{2} \dot{\varphi} + \Delta \frac{s^2}{2} \varphi = M \cdot h \ddot{y}_2 \quad (5)$$

где  $\varphi$  - угол поворота кузова вагона относительно продольной оси, расположенной в уровне осей колесных пар

- $J_0$  - момент инерции массы кузова относительно этой оси ;  
 $S$  - поперечная база рессорного подвешивания;  
 $\Delta$  - жесткость рессорного комплекта на одну сторону вагона ;  
 $M$  - подрессоренная масса вагона ;  
 $h$  - расстояние от уровня осей колесных пар до центра подрессоренной массы ;  
 $y_2$  - поперечное перемещение центра подрессоренной массы, равное

$$y_2 = y - h\varphi, \quad (6)$$

где  $y$  - поперечное перемещение проезжей части в месте нахождения центра вагона .

Имея в виду резонансные колебания пролетного строения по первой форме, можно перемещение  $y$  выразить в функции наибольшей амплитуды колебаний центра проезжей части

$y_1$  и скорости движения поезда  $v$

$$y = 0,5 y_1 \left( 1 - \cos \frac{2\pi \cdot v}{L} \cdot t \right) \quad (7)$$

где  $L$  - полная длина проезжей части между опорами

Решение дифференциального уравнения (6) дает возможность определить наибольшее значение амплитуды колебаний середины проезжей части  $y_1$ , при котором угол поворота боковой качки вагона не превышает некоторого предельного значения  $\varphi_{пр}$ , определяемого принятыми условиями обезгруживания колес вагона .

В ходе решения установлено, что максимальные значения угла  $\varphi$  определяются следующими резонансными условиями

$$\theta_0 = \theta - \frac{2fV}{L}; \quad u$$

$$\theta_0 = \theta + \frac{2fV}{L}; \quad (8)$$

где  $\theta_0$  - частота колебаний боковой качки ;  
 $\theta$  - частота вынужденных колебаний пролетного строения, принятая на основании анализа осциллограмм равной частоте свободных колебаний пролетного строения .

Используя зависимости (9), получены критерии исключающие резонансные условия для боковой качки вагонов при движении их по пролетному строению

$$0,50 \text{ сек} > T \quad \text{или} \quad T > 1,5 \text{ сек} \quad (9)$$

Если условия (9) выполнены , то устойчивость движения вагонов обеспечивается при любых скоростях .

Однако, исследование боковых колебаний вагонов при движении их по рассматриваемым конкретным пролетным строениям показало, что резонансные условия возможны в некоторых случаях при реальных скоростях . Поэтому , для решения вопроса об устойчивости движения вагонов в этом случае были исследованы боковые колебания при резонансных условиях .

Для этого значение предельной допускаемой амплитуды в резонансных условиях определялись из условия , чтобы обезгруживание колес не превышало 40 % ( по рекомендации ЦНИИ МПС и НИБ Главвагона ) .

В этих условиях формулы предельных амплитуд горизонтальных колебаний центра проезжей части  $y_1 = f_{рез}$  имеют вид :

$$\left. \begin{aligned} f_{\text{прег}} &\leq \frac{1,6 \varepsilon_0 \theta_0 \varphi_{\text{пр}}}{\bar{\gamma}_0 \cdot (1+2\lambda)^2 (1-e^{-\varepsilon_0 t})}, \\ f_{\text{прег}} &\leq \frac{1,6 \varepsilon_0 \theta_0 \rho_{\text{пр}}}{\bar{\gamma}_0 (1-2\lambda)^2 (1-e^{-\varepsilon_0 t})} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где :  $\varepsilon_0$  - коэффициент сопротивления при боковой качке вагонов ;

$\bar{\gamma}_0$  - коэффициент, зависящий от динамических характеристик вагона

$\lambda$  - параметр, определяемый выражением :

$$\lambda = \frac{2 \cdot l \cdot v}{L \cdot \theta} ; \quad (11)$$

Полученные формулы (10) позволяют определить предельные допускаемые амплитуды вынужденных горизонтальных колебаний арокных пролетных строений с ездой посередине, когда условия критерия (9) не выполнены .

На основании анализа формул (11) предложено обобщенное выражение для определения предельных амплитуд :

$$f_{\text{прег}} \leq 35 - 0,15 L, \quad (12)$$

где:  $L$  - длина проезжей части между опорами в м ;

$f_{\text{прег}}$  - предельная амплитуда в мм

В шестой главе рассмотрена задача взаимодействия движущегося локомотива с пролетным строением . В исследованиях вынужденных колебаний, изложенных в третьей и четвертой главах, горизонтальная нагрузка от подвижного состава рассматривалась как внешнее воздействие, не зависящее от колебаний пролетного строения . Между тем, колебания

пролетного строения, вызывая боковые колебания подвижного состава, будут оказывать обратное влияние на величину воздействия подвижного состава на пролетное строение. Это приводит к постановке более сложной задачи — исследованию совместных колебаний пролетного строения с движущимся подвижным составом.

Некоторые вопросы влияния колебаний пролетного строения на устойчивость ( в смысле отсутствия обезгруживания колес ) движения вагонов были рассмотрены в главе пятой. В шестой главе исследуются совместные колебания пролетного строения с одиночным движущимся локомотивом. В качестве возмущающего воздействия здесь также принимается влияние локомотива.

При этом в качестве критериев приняты некоторые предельные значения амплитуд горизонтальных колебаний пролетных строений и величины углов боковой качки подвижного состава.

При исследовании приняты следующие предпосылки :

1. Пролетное строение рассматривается как система с двумя дискретными массами в замке и центре проезжей части. В целом система «пролетное строение + локомотив» рассматривается как система с тремя степенями свободы.

2. В результате влияния тележки локомотива получают горизонтальные перемещения, подчиняющиеся синусоидальному закону. При этом возникают инерционные силы, вызывающие боковую качку локомотива и горизонтальные колебания пролетного строения.

НИИ  
ДНУЖТ

3. Считается, что кузов локомотива при боковой качке вращается вокруг оси, расположенной в плоскости центров колесных пар .

4. Скорость движения нагрузки предполагалась постоянной .

Колебания системы «пролетное строение + локомотив» описывается тремя дифференциальными уравнениями второго порядка с переменными коэффициентами

$$(1 + \gamma_1 \cdot \sin^2 \beta t) \cdot \ddot{y}_1 + \gamma_3 d_{12} \ddot{y}_2 + \gamma_5 \cdot h \cdot \dot{\varphi} \sin \beta t + 2\varepsilon_1 \cdot \dot{y}_1 + \theta_1^2 y_1 = \gamma_1 \cdot a \cdot \omega^2 \sin \beta t \sin \omega t ; \quad (I3)$$

$$(1 + \gamma_1 \cdot \sin^2 \beta t) \cdot \gamma_4 d_{21} \ddot{y}_1 + \ddot{y}_2 + \gamma_6 \cdot h \cdot d_{21} \dot{\varphi} \sin \beta t + 2\varepsilon_2 \cdot \dot{y}_2 + \theta_2^2 y_2 = \gamma_2 \cdot d_{21} a \omega^2 \sin \beta t \cdot \sin \omega t ; \quad (I4)$$

$$\ddot{\varphi} + \gamma_7 \cdot h \cdot \ddot{y}_1 \sin \beta t + 2\varepsilon_3 \dot{\varphi} + \theta_3^2 \varphi = \gamma_7 \cdot h \cdot a \omega^2 \sin \omega t ; \quad (I5)$$

Для аналитического решения использован метод приведения уравнений к главным координатам при соответствующих допущениях .

Для приближенного решения разделенных уравнений с переменными коэффициентами применен метод переменного масштаба, предложенный Н.Г.Бондарем .

В данной работе задача взаимодействия рассмотрена при движении локомотива серии ВЛ23 по пролетным строениям

$l = 106$  м и  $l = 150$  м со скоростями от 20 до

140 км/час ( интервал изменения скоростей - 20 км/час ) .

В виду большого количества рассматриваемых вариантов, уравнения колебаний (I4-I6) были решены на ЭЦВМ "Напри".

При анализе переменных коэффициентов использован прием, описанный в главе IV .

В результате решения были получены амплитуды горизонтальных колебаний, соответствующих точек пролетных строений  $y_1$  и  $y_2$  и углы поворота экипажа  $\varphi$  для всех рассматриваемых скоростей .

Максимальные значения амплитуд и углов поворота приведены соответственно в таблицах I и 2 .

По данным расчета построены графики .

Как видно из таблицы 2 случаев полного обезгруживания для рассмотренных пролетных строений не наблюдается .

Анализ построенных графиков показал, что вычисленные амплитуды горизонтальных колебаний и углы боковой качки имеют наибольшие значения при скоростях движения экипажа в пределах от 20 до 60 км/час . При вышних скоростях опасность появления резонанса отсутствует

На основании анализа результатов выполненных исследований сделаны следующие выводы :

I. Динамические свойства железобетонных арочных пролетных строений железнодорожных мостов с ездой посередине при пространственных колебаниях могут быть для инженерных расчетов достаточно точно представлены системой с четырьмя дискретными массами, расположенными в замке арок , в середине проезжей части и в точках пересечения арок с проезжей частью .

Таблица 1

Пролет в м	Максимальные амплитуды горизонтальных колебаний середины проезжей части в мм			
	Амплитуды влияния			
	$a_1 = 8 \text{ мм}$	$a_2 = 14 \text{ мм}$	$a_1 = 8 \text{ мм}$	$a_2 = 14 \text{ мм}$
	Стационарный режим (четырёхосные полувагоны)		Нестационарный режим (ВЛ-23)	
106	4,73	8,26	5,54	9,74
150	4,70	8,20	6,03	10,80
	Задача взаимодействия		Экспериментальные значения	
106	6,10	10,72	3,4	
150	4,60	8,41	7,0	

Таблица 2

Обозначения	Ед. изм.	Пролет в м	Значения $\psi$ и % обезгруживания при амплитудах влияния	
			$a_1 = 8 \text{ мм}$	$a_2 = 14 \text{ мм}$
$\psi$	ред $10^3$	106	24,1	42,1
		150	31,3	54,8
Процент обезгруживания	%	106	37,0	65,3
		150	41,7	65,6

2. Частоты свободных колебаний такой системы определяются классическими методами с использованием методики, приведенной в работе .

3. Определение первых двух частот свободных колебаний может быть выполнено путем рассмотрения системы с двумя дискретными массами, расположенными в замке арок и в середине проезжей части по формулам (I) .

4. Исследования вынужденных колебаний при стационарном режиме показали, что наибольшие горизонтальные перемещения проезжей части в середине пролета имеют место при резонансе по первым двум частотам . Перемещения по высшим формам малы и практического интереса не представляют .

5. Критические скорости, соответствующие первым двум формам колебаний, расположены в интервале от 20 до 90 км/час .

6. При исследовании нестационарных колебаний, а также при решении задачи взаимодействия, пролетное строение может рассматриваться , как система с двумя дискретными массами .

7. Величины максимальных амплитуд горизонтальных колебаний пролетных строений существенно зависят от амплитуд влияния подвижного состава . Исследования показали, что амплитуды, вычисленные при стационарном и нестационарном режимах, а также при рассмотрении задачи взаимодействия составляют величины одного порядка и, в общем, соответствуют зафиксированным экспериментальным значениям .

8. При определении предельных допускаемых амплитуд горизонтальных колебаний пролетных строений в качестве одного из критериев может быть принята степень обезгруживания колес подвижного состава, вызываемая боковой качкой .

9. Резонанс по боковой качке можно считать исключенным, если период свободных горизонтальных колебаний удовлетворяет условиям (9) .

10. Если условия (9) не удовлетворяются, то определение предельных допустимых амплитуд может быть выполнено по формуле (13) .

В случае, если вычисленные амплитуды кажутся больше предельных, найденных по формуле (12), то может быть произведен уточненный расчет по формулам (10) .

11. Исследования показали, что амплитуды горизонтальных колебаний, а следовательно и степень обезгруживания колес от боковой качки увеличиваются почти вдвое при наличии горизонтальных неровностей пути . В связи с этим, состоянию пути на арочных мостах с ездой посередине следует уделять особое внимание .

Как видно из произведенных вычислений, при хороших состояниях пути ( горизонтальные неровности отсутствуют ) для рассмотренных пролетных строений степень обезгруживания колес не превышает 40 % .

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих статьях

1. И. Н. Ющанко (Матвеев) . Свободные пространственные колебания железнодорожного пролетного строения с ездой посередине . Труды ДПИТа , вып. 127, 1972 .
2. Г. Н. Яковлев, И. Н. Матвеев . Вынужденные горизонтальные колебания арочного пролетного строения с ездой посередине под железную дорогу . Труды ДПИТа, вып. 144, Днепропетровск, 1972

3. Г.Н.Яковлев, И.Н.Матысек .Об одном способе приведения системы дифференциальных уравнений колебаний инженерных сооружений к главным координатам .Труды ДИИТа, вып.144 , Днепропетровск, 1972 .
4. И.Н.Матысек, В.И.Борщов, Н.Ф.Яланский .Экспериментальное исследование горизонтальных колебаний железобетонного арочного моста с ездой посередине .Труды ДИИТа, вып.144, Днепропетровск, 1971 .
5. Г.Н.Яковлев ,И.Н.Ющенко (Матысек) .О горизонтальных колебаниях арочных железнодорожных мостов.Транспортное строительство № 5 , М., 1972 .

Кроме того, основные разделы работы докладывались на кафедре мостов Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта в период 1969-1972 г г., а также на юбилейной конференции в ДИИТе, посвященной 100-летию со дня рождения В.И.Ленина в 1970 г. и на Юбилейной конференции, посвященной 50-летию образования Советского Союза в 1972 г.

В полном объеме диссертация доложена на заседании кафедры «Мосты» и НИЛ динамики мостов ДИИТа в ноябре 1972 г.

Сканировала Юнаковская В. В.