

Министерство путей сообщения
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
ИМЕНИ М.И.КАЛИНИНА

На правах рукописи

ЛЕСИК Иван Иванович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЁТА ПРОМЕЖУТОЧНЫХ
ОПОР БАЛОЧНЫХ МОСТОВ НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ

Специальность 05.23.15 – мосты и тоннели
и другие строительные сооружения на же-
лезных и автомобильных дорогах

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

Днепропетровск
1 9 8 0

НТБ
ДНУЖТ

НТБ
ДНУЖТ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Партия и правительство уделяют большое внимание развитию транспортных связей во вновь осваиваемых районах нашей страны, большинство из которых отличаются повышенной сейсмичностью. Строительство транспортных магистралей в сейсмических районах ставит ряд задач, в числе которых находится проблема обеспечения сейсмостойкости искусственных сооружений.

В сейсмических районах на автомобильных и железных дорогах наиболее часто применяются балочные мосты. В настоящее время разработаны общие правила проектирования и строительства сейсмостойких балочных мостов на основе линейных расчетных схем. При этом предполагалось, что нелинейности (нелинейные деформационные свойства материала опор и грунта оснований, сухое трение в опорных частях) создают дополнительный запас сейсмостойкости балочных мостов или, по крайней мере, они незначительны.

Сейсмостойкость балочных мостов во многом зависит от сейсмостойкости их промежуточных опор, в которых при сейсмических воздействиях могут быть существенные нелинейные (физические и геометрические) деформации, а в опорных частях пролетных строений может проявляться сухое трение. Поэтому необходимы не только качественные, но и количественные оценки влияния нелинейностей на сейсмостойкость опор балочных мостов. Решение этой задачи способствует повышению технико-экономических показателей балочных мостов, проектируемых для сейсмических районов нашей страны.

Цель работы. Провести исследования влияния нелинейных упругих деформаций материала опор (бетона) и грунта, а также сухого трения в опорных частях пролетных строений на сейсмостойкость промежуточных опор балочных мостов. Получить расчетные формулы и разработать методику определения расчетных влияний

Институт инженеров
Железнодорожного транспорта
им. М. И. Калинина
БИБЛИОТЕКА
Основной отдел

сейсмических нагрузок на промежуточные опоры балочных мостов с учётом влияния их физических и геометрических нелинейных деформационных свойств и сухого трения в опорных частях. Совершенствовать методику МНП расчёта промежуточных опор балочных мостов на сейсмостойкость с учётом нелинейностей.

Методы исследований. Поставленная перед работой цель достигнута с помощью теоретических и экспериментальных исследований. Проведены испытания в условиях лаборатории и реального сооружения.

При теоретических исследованиях промежуточная опора моста представляется системой с конечным числом степеней свободы. Пролётные строения рассмотрены как сосредоточенные массы. Сухое трение в опорных частях принято кулоново. Для рассмотренных расчётных схем опоры моста составлены нелинейные дифференциальные уравнения сейсмических колебаний. Уравнения решены методом переменного масштаба при детерминированных законах силы возбуждения. Взаимным влиянием форм колебаний нелинейных систем пренебрегается. Решения уравнений использованы при определении влияний нелинейностей на сейсмостойкость опор мостов и получении уточнений формул спектрального метода расчёта.

Эксперименты проведены с целью оценки точности результатов аналитических исследований.

Научная новизна. Получены формулы для определения расчётных значений сейсмических нагрузок на опоры мостов с учётом их нелинейных деформаций. Показано, что при мягкой нелинейной характеристике деформационных свойств опоры расчётные значения сейсмических нагрузок на неё всегда уменьшаются.

Наряду с этим установлено, что сухое трение в опорных частях пролётных строений моста может как уменьшать, так и увеличивать сейсмические нагрузки на опоры. Дано физическое объяснение

этому явлению. Получены формулы для определения расчётных значений сейсмических нагрузок на опоры с учётом сил сухого трения в опорных частях. Исследовано также влияние величины силы сухого трения в опорных частях на выбор расчётных схем балочных мостов при расчётах их на сейсмические воздействия.

Основные результаты аналитических исследований подтверждены экспериментами.

На основании проведенных исследований разработана и предложена методика определения расчётных значений сейсмических нагрузок на промежуточные опоры мостов с учётом нелинейностей.

Практическая ценность работ. Результаты исследований позволяют определить влияние нелинейностей на сейсмостойкость промежуточных опор мостов в зависимости от динамических свойств системы в целом.

Предлагаемая методика определения расчётных значений сейсмических нагрузок на опоры мостов является уточнением расчётных формул линейной методики СНиП, практически не утяжеляет расчёты и позволяет повысить надёжность проектирования сейсмостойких промежуточных опор балочных мостов.

На защ. у. выносятся. Исследования влияния нелинейностей на сейсмостойкость опор балочных мостов и методика определения расчётных значений сейсмических нагрузок на промежуточные опоры балочных мостов с учётом этих влияний.

Апробация работы. По основному содержанию работы опубликовано четырнадцать научных статей. Решения задач колебаний осциллятора с сухим трением, выполненные автором, использованы в монографии: Бондарь Н.Г. Нелинейные колебания, возбуждаемые импульсами. - Киев-Донец: Вища школа, 1978. Вопросы колебаний нелинейных систем с сухим трением докладывались на Всесоюзной конференции по проблемам нелинейных колебаний механических систем

в октябре 1978 года в г.Киеве .

Основные результаты работы были доложены и одобрены на заседаниях кафедры «Мосты» и НИИ динамики мостов ДИИТа, на постоянно действующем научно-техническом семинаре при кафедре строительных конструкций и мостов КАДИ, на семинаре в Институте строительной механики и сейсмостойкости АН Грузинской ССР, в отделе искусственных сооружений Тамтгипротранса .

В полном объеме диссертация доложена на заседании кафедры «Мосты» и НИИ динамики мостов ДИИТа в январе 1980 года .

Введение. Методика определения расчетных значений сейсмических нагрузок на промежуточные опоры балочных мостов с учетом нелинейностей одобрена и принята для использования отделами искусственных сооружений Соезддорпроекта и Тамтгипротранса. Результаты исследований использованы в Днепрогипротрансе при расчете на сейсмостойкость промежуточных опор балочного моста для района строительства с сейсмичностью 8 баллов, используемая в учебном процессе кафедры «Мосты» и в научно-исследовательской работе НИИ динамики мостов ДИИТа .

Структура диссертации. Работа состоит из введения, шести глав содержания исследований, выводов и предложений, списка литературы и приложений. Основной текст диссертации содержит 159 стр., из них машинописного текста с 12 таблицами 106 стр., иллюстрац 1 39 стр. (39 рисунков), использованных литературных источников - 142 наименования на 15 страницах . Приложения приведены на 36 страницах .

НТБ
ДНУЖТ

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Введение .

В виде аннотации изложены новые результаты, полученные в работе, и основные положения, которые выносятся на защиту .

2. Обзор литературы и постановка задачи .

Исследования по сейсмостойкости транспортных искусственных сооружений и, в частности, балочных мостов проводили Бондарь Н.Г., Быковский В.А., Дмитриев Ю.В., Завриев К.С., Зарубин Н.Е., Карпивадзе Г.Н., Коновалов А.Д., Назаров А.Г., Напетваридзе Ш.Г., Николаенко Н.А., Поляков С.В., Рухадзе А.В., Сильницкий Д.М., Словинский В.А., Словинский Ю.В., Уалин А.М., Цисирели Ц.Г., Цюхер В.О., Чудяцов В.П., Шварц М.А., Шестолеров Г.С., Гудачу С., Ивасаки Т., Кавамата Дж., Кодер Дж., Копубо С., Курибаяси Э., Фудзивара Т. и другие .

Наиболее обширные исследования по сейсмостойкости мостов приведены в работах Г.Н. Карпивадзе. В ряде работ других авторов рассматриваются отдельные вопросы, вытекающие из перечня особенностей расчёта мостов на сейсмостойкость .

Исследования, посвященные совершенствованию методов расчёта опор балочных мостов на сейсмостойкость, в основном направлены на использование широких возможностей вычислительной техники, с помощью которой можно производить расчёты с учётом акселерограмм реальных землетрясений. Аналитическим методам исследований в этом вопросе уделяется сравнительно мало внимания .

При расчётах сооружений на ЭВМ с использованием акселерограмм имеются серьёзные затруднения. Отсутствует полная информация о сейсмических воздействиях, о динамических свойствах сооружений при сильных землетрясениях и требуются большие затраты машинного времени .

В этой связи аналитические исследования вопросов сейсмостой-

кости опор балочных мостов в нелинейной постановке и совершенствование спектрального метода расчёта их с учётом нелинейностей имеют практическое значение .

Оценка влияния нелинейных деформаций бетона (физическая нелинейность) на сейсмостойкость сооружений дана Ш.Г.Напетваридзе .

В работах Г.Н. Карцивадзе нет единой точки зрения о влиянии сухого трения в опорных частях на сейсмостойкость опор балочных мостов. Им в методическом руководстве (Методическое руководство по расчёту мостовых сооружений на сейсмические воздействия. -

Тбилиси : изд-во ЦПИ им. В.И. Ленина, 1970.-51с) при вычислении сейсмических усилий в опоре рекомендуется сейсмическую нагрузку увеличивать на величину, не превышающую силу трения в опорных частях, т.е. не учитывается динамический характер действия силы трения на опору моста. Однако в его монографии (Сейсмостойкость дорожных искусственных сооружений.- М.: Транспорт, 1974.-264с) сказано, что при сейсмических колебаниях моста опорные части "играют лишь роль дополнительных очагов рассеяния энергии".

3. Колебания нелинейного осциллятора при наличии сухого и вязкого трения .

Колебания осциллятора описываются уравнением

$$\ddot{y} + 2n\dot{y} + c \operatorname{sign} \dot{y} + R(y) = F(t), \quad (I)$$

где n и c - коэффициенты вязкого и сухого трений ;
 $R(y) = -R(-y)$

При $F = 0$ получены выражения для определения коэффициентов трения по виброграммам затухающих свободных колебаний для случаев наличия в системе сухого, сухого и вязкого или вязкого трений. Виброграммами могут служить записи колебаний опор при натурных испытаниях моста взрывами. Достоверность полученных результатов проиллюстрирована на конкретных примерах с использованием в качестве виброграмм численного интегрирования уравнений

на ЭВМ.

Рассмотрены стационарные колебания осцилляторов, возбуждаемые гармонической силой и периодическими разносторонними мгновенными импульсами. При замене сил трения энергетически эквивалентным сухим трением получены простые решения, позволяющие анализировать влияние сухого трения на колебания систем. Получены амплитудно-частотные характеристики. Точность полученных решений проиллюстрирована на примерах при сопоставлении их с результатами численного интегрирования уравнений.

Показано, что для исследований вопросов сейсмостойкости нелинейных систем гармонический закон силы возбуждения, по сравнению с периодическим импульсным, является более критическим.

4. Влияние нелинейных упругих изгибных деформационных свойств опор на их сейсмостойкость

Получено дифференциальное уравнение колебаний опоры моста как осциллятора с геометрической и физической нелинейностями в предположении зависимостей нормальных напряжений σ от относительных деформаций ε в бетоне $\sigma_b = E_b \varepsilon_b - b_b \varepsilon_b^3$ и в арматуре $\sigma_a = E_a \varepsilon_a$, где $E_{b(a)}$, b_b - модули упругости и параметр нелинейности деформаций бетона.

Для оценки влияния нелинейностей на сейсмостойкость опоры предложена формула

$$K = \frac{\ddot{y}_{max}}{\ddot{y}_{lmax}}, \quad (I)$$

где $\ddot{y}_{max}$ и $\ddot{y}_{lmax}$ - максимальные ускорения при решении задачи сейсмических колебаний осциллятора в нелинейной и линейной постановках. Поскольку сейсмическая сила пропорциональна ускорению движения, отношение максимальных ускорений движений системы при решении задачи в нелинейной и линейной постановках даёт оценку влияния нелинейностей на расчётное значение сейсмической нагрузки.

Подстановкой решений уравнения колебаний опиралого а при гармонической силе возбуждения в формулу (2) найдево

$\kappa_s = 1 - \frac{3}{8} \lambda_s A_{max}$, где $\lambda_s = \lambda(b_s)$ A_{max} - амплитуда колебаний. Используя линейное приближение $A_{max} \approx S_s \delta$, где

S_s - расчётная сейсмическая нагрузка, определяемая по линейной теории; δ - единичное перемещение, получено $\kappa_s = 1 - \xi_s S_s^2$

где $\xi_s = \xi(b_s)$. Следовательно, расчётная сейсмическая нагрузка с учётом нелинейных деформационных свойств опоры определяется по формуле

$$S_s = \kappa_s S_s = S_s - \xi_s S_s^3, \quad \xi_s = \frac{9 b_s J_s^* \ell^2}{32 (E_s J_s + E_a J_a)^3}, \quad (3)$$

где J_{b_s} , J_s^* - экваториальные моменты инерции первого и второго порядков; ℓ - высота опоры. Полученные результаты далее приближенно обобщены для систем с конечным числом степеней свободы.

При оценке влияний нелинейных деформаций грунта приняты вязкое трение в нём и мягкая упругая нелинейная зависимость изгибающего момента от угла поворота опоры в заделке. Получена зависимость, подобная уравнению (3).

5. Влияние сухого трения в опорных частях на сейсмостойкость опор мостов.

С целью сопоставления расчётных сейсмических нагрузок, передаваемых на верх опоры, при наличии и отсутствии сухого трения рассмотрены колебания основания опоры в обоих случаях с одинаковыми амплитудами по гармоническим законам. Это означает, что сейсмическое воздействие на опору рассматривается в виде источника неограниченной мощности и что дополнительная энергия на работу сил сухого трения не уменьшит амплитуду колебаний основания опоры.

Для полного представления о влиянии сухого трения в опорных частях на колебания приведенной массы m , расположенной вверху опоры, рассмотрены все возможные варианты закрепления сосредоточенной массы m_1 пролётного строения :

1. При неподвижном пролётном строении .

Уравнение колебаний массы m приводится к виду (I). В этом случае сухое трение является демпфером при всех частотах колебаний системы .

2. При свободно уложенном пролётном строении.

3. При наличии у пролётного строения упругой связи с колеблющимся основанием опоры .

В последних двух вариантах получены одинаковые результаты влияния сухого трения на колебания масс m . В третьем варианте рассматривается один пролёт разрезного балочного моста. Опора с неподвижной опорной частью представлена упругим стержнем с приведенной вверху массой m_1 , в которой учтена и масса пролётного строения. Колебания системы описываются уравнениями

$$\begin{aligned} m \ddot{y} + h \dot{y} + F_T \operatorname{sign}(\dot{y} - \dot{y}_1) + \frac{3EI}{l^3} y &= -m \ddot{Y}, \\ m_1 \ddot{y}_1 + h_1 \dot{y}_1 - F_T \operatorname{sign}(\dot{y} - \dot{y}_1) + \frac{3EI_1}{l_1^3} y_1 &= -m_1 \ddot{Y}_1, \end{aligned} \quad (4)$$

где F_T — сила сухого кулонового трения в опорных частях ;

y и y_1 — соответственно перемещения масс m и m_1 ,

При гармонических законах движений оснований опор с произвольной частотой ω ($Y = F \cos \omega t$, $Y_1 = F_1 \cos(\omega t + \Delta)$), где

$F \neq F_1$, Δ — сдвиг по фазе в зависимости от скорости распространения волны) получены решения стационарных колебаний масс m при $F_T = 0$ и $F_T \neq 0$. Используя эти решения в (2), найдено выражение, показывающее влияние силы трения F_T на

силу возбуждения F . При исследовании его на экстремум получено $k_T = 1 \pm \frac{4F_T}{\lambda F}$, где (+) или (-) при частотах возбуждения в зависимости от динамических свойств системы. Для определения F использовано линейное приближение $S_n = F\beta$ где S_n - расчётная сейсмическая нагрузка, определяемая по СНиП; β - коэффициент динамичности системы. Для определения расчётной сейсмической нагрузки на массу m с учётом силы сухого трения получена формула

$$S_T = S_n k_T = S_n \pm \frac{4F_T \beta}{T} \quad (5)$$

При колебаниях моста, вызванных возбуждением с произвольной частотой, сухое трение в опорных частях является демпфером для системы в целом. Но работа силы F_T может проявляться в двух случаях при соблюдении третьего закона Ньютона, а именно: в первом случае F_T является толкающей силой для верха опоры и одновременно тормозящей для пролётного строения; во втором случае может быть противоположное явление.

Из условия равенства перемещений массы m , когда систему одновременно можно рассматривать как с одной $(m + m_1)$, так и с двумя $(m$ и $m_1)$ степенями свободы, изучено влияние величины силы трения на выбор расчётной схемы опоры моста.

Полученные результаты приближенно обобщены для опоры, представляющей системой с конечным числом степеней свободы.

6. Лабораторные экспериментальные исследования.

Для определения нелинейных деформационных свойств бетона испытано по три образца призм $10 \times 10 \times 40$ см, бетонных и железобетонных балок $10 \times 10 \times 90$ см, изготовленных из бетона одного состава при прочих одинаковых условиях. Контроль качества бетона образцов прибором УКБ-ИМ показал, что результаты испытаний образцов могут быть сопоставимыми.

Испытания балок как консолей на изгиб проводились статической нагрузкой на специально изготовленной установке. Методика испытаний отображала деформации консоли (поочерёдно в обе стороны) при колебаниях её (опоры моста) по первой форме. Результаты испытаний балок обработаны по способу наименьших квадратов и получены значения E_b , δ_b . Приближенно экстраполируя эти значения на реальную бетонную опору 3,6х3,6 м высотой до 35м с опиранием на неё через неподвижные опорные части пролётного строения весом 325 тс (железобетонное пролётное строение 27,6 м), показано, что при 9-балльном землетрясении нелинейные деформационные оvoidства опоры уменьшают расчётное значение сейсмической нагрузки примерно на 10 % (по формуле 3) .

Проведены испытания влияния сухого трения на колебания балки. Железобетонная балка испытывалась в вертикальном положении при колебаниях основания в одном направлении горизонтальной плоскости по периодическому закону. Балка в основании крепилась болтами и уголками на специально изготовленной платформе (жесткая заделка). На вершину балки крепилась металлическая пластина с горизонтальной плоскостью трения. На пластине устанавливался металлический груз (сухое трение - сталь по стали). Проведена серия испытаний колебаний системы при разных условиях закрепления груза от перемещений, при разных величинах груза, при разных частотах и ускорениях движений платформы, при наличии и отсутствии смазки между трущимися поверхностями. Колебания платформы возбуждались электродинамическим стендом ВЭДС-100Б. Ускорения движений системы регистрировались аппаратурой ВИС-5МА с записями осциллографом НО41У4.2 .

Динамическими испытаниями подтверждены результаты аналитических исследований влияния сухого трения в опорных частях на колебания опор моста . Сходимость результатов для случаев чао-

тот колебаний балки с максимальным влиянием силы сухого трения оказалась хорошей. При эксперименте в одном случае сила сухого трения увеличила максимальные ускорения колебаний верха балки на 58 % .

7. Натурные экспериментальные исследования колебаний моста от взрывов .

Проведены испытания колебаний однопролётного автодорожного моста с пролётом 63м. Использованы проводимые в строительных целях взрывные работы. При этом записаны ускорения по трём направлениям пространства в трёх точках : верха опоры и низа пролётного строения, расположенных на одной вертикали у тангенциальной опорной части, а также нижнего пояса балки пролётного строения в середине пролёта .

Исследовано обезгруживание опорных частей пролётных строений балочных мостов при сейсмических воздействиях, влияющее на изменение величины силы сухого трения в опорных частях в процессе колебаний опор. Это необходимо для подтверждения принятой гипотезы о постоянстве силы трения в опорных частях (кулонова сила).

Исследовались колебания моста в зависимости от расстояния до места взрывов, проводимых с одинаковой эффективностью их действий. Проведены записи колебаний моста от двух взрывов на расстоянии до 15 м и двух взрывов - не ближе 70 м . В первом случае наблюдались интенсивные колебания пролётного строения и имели место обезгруживания опорных частей . Здесь существенное воздействие на пролётное строение оказывала воздушная волна. Во втором случае обезгруживания опорных частей практически отсутствовали, а ускорения верха опоры в вертикальном направлении соответствовали случаям землетрясений силой более 8 баллов (по данным Г.Н.Карпичевдзе).

Записи свободных колебаний моста позволяли определить

декремент затухания колебаний устоя ($\delta = 0,4$) поперек оси моста.

8. Выводы и предложения .

Основные результаты и выводы диссертационной работы следующие :

1. В работе проведены аналитические и экспериментальные исследования влияния нелинейных упругих деформаций материала опор и грунта, сухого кулоновского трения в опорных частях на сейсмостойкость промежуточных опор балочных мостов. Совершенствован спектральный метод расчёта промежуточных опор балочных мостов на сейсмические воздействия с учётом нелинейностей .

2. Аналитические исследования выполнены с помощью метода переменного масштаба. Решены задачи свободных и стационарных колебаний нелинейного осциллятора с сухим и вязким трением. Предложены формулы для определения коэффициентов трения по виброграммам свободных колебаний осциллятора. Сопоставлены решения задач стационарных колебаний осциллятора и показано, что гармонический закон возбуждения в сравнении с импульсным для нелинейных систем является более неблагоприятным. Этот закон применяется при аналитических исследованиях влияния нелинейностей на сейсмостойкость опор балочных мостов.

3. Предложена формула для оценки влияния нелинейностей на сейсмостойкость опор мостов.

4. Получены формулы для определения расчётных значений сейсмических нагрузок с учётом нелинейных деформаций опор и грунта . Показано, что физическая нелинейность всегда уменьшает расчётные значения сейсмических нагрузок на опоры. Для жестких опор влиянием физической и геометрической нелинейностей можно пренебречь.

5. Обнаружены и исследованы случаи, когда сила сухого трения в опорных частях увеличивает или уменьшает расчётные значения

сейсмических нагрузок на опору моста. Получены формулы для определения расчётных значений сейсмических нагрузок на опоры с учётом динамического воздействия на них сил сухого трения в опорных частях. Для обеспечения сейсмостойкости промежуточных опор балочных мостов (особенно жестких) необходимо их рассчитывать на сейсмические нагрузки, увеличенные динамическим действием сил трения. С целью уменьшения сейсмических нагрузок на опоры рекомендуется при силе землетрясения в 8 и более баллов для ребристых железобетонных, сталежелезобетонных и стальных пролётных строений (т.е. для пролётных строений с большим весом) применять опорные части с малым коэффициентом трения (катковые, валковые, секторные).

6. Показано, что при сейсмических воздействиях на балочные мосты условия проявления сухого трения в подвижных опорных частях вдоль и поперек оси моста не одинаковы. При выборе расчётных схем моста в обоих направлениях можно исходить из того, что силы трения в опорных частях преодолеваются при условии $C_f < 0,8 K_c$, где C_f - коэффициент сухого трения; K_c - коэффициент сейсмичности.

7. Проведены лабораторные испытания, подтвердившие основные результаты аналитических исследований. Испытаниями на модели показано, что сухое трение может значительно увеличивать ускорения колебаний опор.

8. Проведены натурные испытания колебаний однопролётного автодорожного балочного моста от взрывов. Показано, что при сейсмических воздействиях на балочные мосты силу сухого трения в опорных частях можно принимать постоянной (т.е. без учёта обезгруживания опорных частей в процессе колебаний моста).

9. Разработана методика определения расчётных значений сейсмических нагрузок на промежуточные опоры балочных мостов с учётом нелинейностей (приложение I). Приведен пример расчёта промежуточной опоры разрезного балочного моста (приложение II)

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО в следующих работах

1. Бондарь Н.Г., Лесюк И.И. Свободные нелинейные колебания при наличии сухого и вязкого трения. - Труды ДИИТа, вып. 157, 1975, с.31-36 .

2. Бондарь Н.Г., Лесюк И.И. Стационарные колебания нелинейного осциллятора при наличии вязкого и сухого трения .- Труды ДИИТа, вып. 157, 1975, с.39-44 .

3. Бондарь Н.Г., Лесюк И.И. Оценка влияния упругих несовершенств на сейсмостойкость мостовых опор и сооружений башенного типа.- Труды ДИИТа, вып. 186/21 , 1977, с. 38-46 .

4. Бондарь Н.Г., Лесюк И.И., Попович Н.М. Эффект субвозбуждения при воздействии периодических импульсов на нелинейный осциллятор.- В кн.: Проблемы нелинейных колебаний механических систем Тезисы докладов (Киев, 18-20 октября 1978 г.).Киев, Наукова думка, 1978. с.17-18 .

5. Лесюк И.И. Стационарные безостановочные колебания нелинейного осциллятора при сухом и вязком трении и гармоническом возбуждении.- Днепропетровск, 1974.- 7с.- Рукопись представлена ДИИТом. Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 18 июля 1974 г., № III-74 .

6. Лесюк И.И. Стационарные симметричные колебания нелинейного осциллятора при сухом и вязком трении и периодическом импульсном возбуждении.- Днепропетровск, 1974.-8с.- Рукопись представлена ДИИТом. Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 18 июля 1974 г., № II2-74.

7. Лесюк И.И. Стационарные колебания нелинейного осциллятора при вязком трении произвольной величины .- Труды ДИИТа, вып.157, 1975 г., с.36-39 .

8. Лесюк И.И. Изгиб железобетонной балки с учётом нелинейной упругости бетона.- Труды ДИИТа, вып. 189/6, 1977, с.60-62 .

9. Лесик И.И. Лабораторные испытания влияния сухого трения в опорных частях на сейсмостойкость мостовых опор.- Труды ДИИТа, вып. 200-22, 1978, с. 119-123 .

10. Лесик И.И. Изучение деформативных свойств бетона для опор железнодорожных мостов. - Труды ДИИТа, вып. 206/4, 1979, с.56-58 .

11. Лесик И.И. Оценка влияния нелинейных деформативных свойств грунта на сейсмостойкость промежуточных опор мостов. Днепропетровск, 1979.- 6с.- Рукопись представлена ДИИТом. Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 24 дек. 1979, № 925-79 .

12. Лесик И.И. Сейсмостойкость опор балочных мостов с учётом сухого трения в опорных частях и внутреннего вязкого трения.- Днепропетровск, 1979.-9с.- Рукопись представлена ДИИТом. Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 24 дек. 1979, № 926-79 .

13. Лесик И.И. К вопросу влияния сухого трения в опорных частях на сейсмостойкость опор балочных мостов.- Труды ДИИТа, вып. 202/23, 1979, с.47-50 .

14. Попович Н.М., Лесик И.И. Экспериментальные исследования колебаний однопролётного автодорожного балочного моста при сейсмических воздействиях.- Труды ДИИТа, вып. 202/23, 1979, с.102-105 .

Лесик

НТБ
ДНУЖТ

ЛЕСИК Иван Иванович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТА ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ОПОР БАЛОЧНЫХ
МОСТОВ НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ**

**(05.23.15 – мосты и тоннели и другие строительные
сооружения на железных и автомобильных дорогах)**

Подписано к печати 27.05.1980 г., БГ 62340.

**Формат бумаги 60...84/16. Бумага для многократных аппаратов. Ротапринт.
Усл.печ.л. 0,81. Уч.-изд.л. 0,81. Тираж 100 экз. Заказ № 1161.**

Бесплатно.

**Участок оперативной полиграфии
редакционно-издательского отдела ДИИТа.**

320629, 1СП, Днепропетровск, 10, ул. Университетская, 2.