

559

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

На правах рукописи

БИДЖИЕВ Рашид Хамзатович

УДК 624.072.23

Биджиев Р. Х

ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НЕРАЗРЕЗНЫХ КОНСТРУКТИВНО-  
НЕЛИНЕЙНЫХ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК  
НА ПОДВИЖНУЮ НАГРУЗКУ

Специальность 01.02.03 - строительная механика



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

ДНЕПРОПЕТРОВСК - 1984

НТБ  
ДНУЖТ



Актуальность темы. Пятилетним планом развития народного хозяйства СССР предусмотрено увеличение грузооборота автомобильного транспорта, производства автомобилей большой и особо большой грузоподъемности. Намечена обширная программа строительства новых и реконструкции существующих искусственных транспортных сооружений. В связи с этим возрастает роль динамических расчетов балочных конструкций и оценки их несущей способности в процессе эксплуатации.

Цель работы. является разработка методики динамического расчета неразрезных сталежелезобетонных балок с поперечными трещинами в железобетонной плите под действием подрессоренной нагрузки (применительно к автодорожным мостам).

Методы исследования. Для изучения вынужденных колебаний неразрезных сталежелезобетонных балок с трещинами, которые классифицируются как конструктивно-нелинейные балки, применены два метода. Первый метод основан на разложении прогиба по собственным формам балки. В основе второго подхода лежит интегро-интерполяционный метод в сочетании с трехслойной неявной разностной схемой. Проведены экспериментальные исследования моделей сталежелезобетонных балок для оценки влияния процесса трещинообразования на низшие частоты и формы и начальную изгибную жесткость. При исследовании случайных вынужденных колебаний пролетных отроений использован метод статистических испытаний. Выполнены динамические испытания неразрезных конструктивно-нелинейных сталежелезобетонных мостов.

Научную новизну работы составляют:

I. Динамический расчет неразрезных конструктивно-нелинейных

4839a

Днепропетровский  
институт инженеров  
жел. дор. транспорта  
им. М. И. Калинина  
БИБЛИОТЕКА

сталежелезобетонных балок методом разложения по собственным формам.

2. Методика расчета колебаний конструктивно-нелинейных балок под действием подвижной нагрузки на основе пространственно-временной дискретизации исходных дифференциальных уравнений.

3. Экспериментальная и теоретическая оценки влияния трещинообразования на низшие частоты и формы балки и начальную изгибную жесткость.

4. Алгоритмы расчета случайных колебаний конструктивно-нелинейных балок под действием подрессоренных грузов.

5. Количественная оценка динамического эффекта от одиночных грузов и их колонн.

Практическая ценность. Результаты исследований позволяют выполнить динамический расчет неразрезных балок с изменяющейся во времени изгибной жесткостью (вследствие раскрытия и закрытия поперечных трещин в железобетонной плите). Такой расчет необходим при определении несущей способности существующих пролетных строений с конструктивной нелинейностью, а также при проектировании новых мостов с учетом возможности трещинообразования. Предложенные способы расчета могут быть рекомендованы для использования проектными и научно-исследовательскими организациями.

Внедрение результатов работы. Методика расчета вынужденных колебаний конструктивно-нелинейных балок на основе разложения по собственным формам была использована при определении несущей способности моста через р. Дон в г. Семилуки (согласно хозяйственной теме В 7/61).

Методика расчета колебаний конструктивно-нелинейных балок на основе пространственно-временной дискретизации была использована для оценки результатов натурных динамических испытаний

НТБ  
ДНУЖТ

пролетного строения моста через р.Белая в г. Стерлитамаке (согласно хоздоговорной теме № 6/82).

Алгоритм расчета случайных колебаний конструктивно-нелинейных балок под действием подрессоренных грузов был использован институтом ЦНИИпроектстальконструкция при проектировании реального моста с пролетами 36м+48м+36м (Акт внедрения № I/84).

Доклады и публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 7 статьях и сообщениях. Результаты работы доложены и обсуждены:

1. На XXXIV, XXXV, XXXVI, XXXVII, XXXVIII, XXXIX научных конференциях Воронежского инженерно-строительного института в 1979-1984 годах.

2. На Всесоюзной конференции по экспериментальным исследованиям инженерных сооружений в г. Таллине в 1981 г.

3. На XXX научно-исследовательской конференции ИАДИ в 1982 г.

4. На Всесоюзной конференции по проблемам оптимизации и надежности в строительной механике в г.Вильнюсе в 1983 г.

5. В институте ЦНИИпроектстальконструкция в 1984 г.

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и содержит 148 страниц машинописного текста, 80 рисунков, 24 таблицы. Список использованной литературы состоит из III наименований.

#### КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Одной из первых работ, посвященных расчету сталежелезобетонных балочных систем, является монография Е.Е.Губмана. Большой вклад в теорию статического расчета сталежелезобетонных конструкций внесли Н.Н.Стрелецкий и К.Х.Толмачев. Известны также

НИИ  
ДНУЖТ

работы В.А.Быстрова, Э.М.Гитмана, В.А.Долгова, А.А.Кобенко, А.А.Поречина, А.А.Потапкина и других. Вопросам регулирования усилий и оптимального проектирования сталежелезобетонных балок посвящены исследования К.Х.Толмачева, Э.М.Гитмана, Л.Г.Горынина, В.Т.Ильшенко. Вместе с тем, исследования по динамическому расчету неразрезных сталежелезобетонных балок практически отсутствуют.

Впервые задача о динамическом действии подвижной нагрузки на балку была сформулирована в середине прошлого века Ф.Виллисом и Д.Г.Стоксом. Позднее этой проблеме были посвящены работы А.Н.Крылова, С.П.Тимошенко, В.А.Киселева и других. Существенно новые результаты изложены также в работах А.В.Александрова, В.В.Болотина, Н.Г.Бондаря, Г.П.Бурчака, И.И.Казея, К.Е.Китаева, Д.Г.Козьмина, С.И.Конашенко, С.С.Кохманюка, Г.Б.Муравского, В.П.Тарасенко, А.П.Филиппова, Л.Фрыбы, Г.С.Шестоперова, и других авторов.

Экспериментальными исследованиями совместных колебаний балочных мостов и реальных нагрузок занимались И.М.Рабинович, Н.С.Стрелецкий, Е.Е.Гибшман, С.А.Ильясевич, И.И.Казей, Д.Г.Козьмин и другие.

Динамический расчет висячих и вантовых мостов излагается в работах В.А.Смирнова, В.С.Сафронова. Гашение колебаний пролетных строений мостов посвящены исследования А.Л.Загоры, М.И.Казакевича и К.Х.Толмачева.

Динамический расчет пролетных строений в вероятностной постановке развивается сотрудниками кафедры строительной механики ВИСИ: А.Г.Барченковым, В.С.Сафроновым, А.Н.Котуковым, А.Ф.Хмыровым, А.Н.Авериним.

В перечисленных работах местностные характеристики балочных

НТБ  
ДНУЖТ

систем принимались неизменными во времени. Однако, в существующих неразрезных сталежелезобетонных мостах над опорами появляются определенные зоны трещинообразования, длина которых зависит от массы и местонахождения подвижной нагрузки. Неупругие деформации таких балок под действием статической нагрузки впервые были учтены Н.Н.Стрелецким. Им было отмечено существенное отличие деформирования сталежелезобетонных балок с трещинами от аналогичных железобетонных.

Расчету деформаций железобетонных конструкций с трещинами посвящены работы В.И.Мурашева, А.А.Гвоздева, С.А.Дмитриева, Н.М.Мулина, Я.М.Немировского и других. Теория деформирования плит и элементов оболочек с трещинами предложена Н.И.Карпенко. Расчеты деформаций изгибаемых железобетонных балочных элементов с трещинами даны в работах В.П.Гуци, А.С.Залесова, А.М.Масленникова, В.В.Фигаровского и других авторов.

В настоящей работе для учета неупругих деформаций конструктивно-нелинейных сталежелезобетонных балок при их динамическом расчете на подвижную нагрузку применяется "теория тонкой плиты". Такой подход использовался Е.Е.Гибшманом и Н.Н.Стрелецким при расчете сталежелезобетонных мостов на статическую нагрузку.

В первой главе дается постановка задачи и излагается методика динамического расчета неразрезных конструктивно-нелинейных сталежелезобетонных балок методом разложения по собственным формам.

Сечения, находящиеся внутри зоны трещинообразования, полагаются состоящими из одного материала с двумя модулями упругости:  $E$  (при закрытых трещинах) и  $\bar{E}$  (при раскрытых трещинах). Изгибная жесткость балки  $\bar{B}$  внутри этой зоны выражается через

НТБ  
ДНУЖТ

начальную изгибную же

Рис. 1

$$\bar{B} = \bar{E}J = EJ\varphi,$$

где  $\varphi$  - коэффициент, учитывающий степень уменьшения начальной изгибной жесткости балки.

В качестве подвижной нагрузки принята плоская модель трехосного автомобиля, состоящая из совокупности четырех инертных тел, соединенных между собой упругими диссипативными связями с кусочно-линейными жесткостными характеристиками. Учтены эффекты пробивания рессор задней оси и отрыв лин. от проезжей части.

Колебания конструктивно-нелинейной балки под действием подвижной нагрузки описываются дифференциальным уравнением в частных производных с переменным коэффициентом  $EJ(x,t)$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} m(x) + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[ \left( 1 + \kappa_0 \frac{\partial}{\partial t} \right) EJ(x,t) \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2} \right] = \\ = \sum_{q=1}^3 R_q(u_q, \dot{u}_q) \delta(x-x_q), \end{aligned} \quad (I)$$

где  $y(x,t)$  - прогиб балки;  $m(x)$  - погонная масса балки;  $R_q(u_q, \dot{u}_q)$  - давление  $q$ -ой оси подвижной нагрузки;  $\delta(x-x_q)$  - дельта-функция, фиксирующая положение этой оси;  $\kappa_0$  - коэффициент демпфирования балки;  $x_q$  - текущая координата грузов.

Демпфирование в связях подвижной нагрузки и материале балки учитывается по гипотезам Фойгта и Кулона.

Переменный во времени коэффициент  $EJ(x,t)$ , представляющий собой изгибную жесткость балки, выражается через начальную изгибную жесткость балки  $EJ(x)$  и изгибные жесткости железобетонных плит слева  $EJ_j^l$  и справа  $EJ_j^r$  от  $j$ -ой промежуточной опоры.

НТБ  
ДНУЖТ

Ступенчатое изменение последних фиксируется при помощи функций Хевисайда.

Прогиб  $Y(x, t)$  конструктивно-нелинейной балки представим в виде разложения по собственным формам линейно-деформируемой балки

$$Y(x, t) = \sum_{i=1}^N f_i(t) Y_i(x), \quad (2)$$

где  $f_i(t)$  - неизвестные функции времени;  $Y_i(x)$  - собственные формы линейно-деформируемой балки;  $N$  - число удерживаемых собственных форм.

Подставляя (2) в исходное уравнение движения балки, проводя преобразования Бубнова-Галеркина и учитывая фильтрующие свойства обобщенных функций, получим связанную систему обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \ddot{f}_v(t) + \frac{1}{A_v} \kappa_0 \omega_v^2 \dot{f}_v(t) + \frac{1}{A_v} \omega_v^2 f_v(t) - \frac{1}{A_v} \sum_{i=1}^N [f_i(t) + \kappa_0 \dot{f}_i(t)] \times \\ \times \left[ \sum_{j=1}^{\mu(t)} E J_{1j}^n \varphi_{1j} \int_{x_{1j}(t)}^{\xi_j} y_{i1}''(x) y_v''(x) dx + \sum_{j=1}^{\mu(t)} E J_{2j}^n \varphi_{2j} \int_{\xi_j}^{x_{2j}(t)} y_{i2}''(x) y_v''(x) dx \right] = \\ = \frac{1}{A_v} \sum_{q=1}^2 R_q(u_q, \dot{u}_q) Y_v(x_q) \quad (v = 1, 2, \dots, N) \end{aligned} \quad (3)$$

где  $A_v$  - нормирующий множитель  $v$ -ой собственной формы линейно-деформируемой балки;  $\omega_v$  - собственная частота балки;  $\mu(t)$  - число участков с раскрытыми трещинами в данный момент времени;

$\varphi_{1j}$  и  $\varphi_{2j}$  - коэффициенты, учитывающие степень уменьшения изгибной жесткости плит соответственно слева и справа от  $j$ -ой промежуточной опоры;  $\xi_j$  - расстояние от начала координат до  $j$ -ой

НИИ  
ДНУЖТ

опоры;  $x_{1j}(t)$  и  $x_{2j}(t)$  - координаты, фиксирующие слева и справа зону раскрытия трещин над  $j$ -ой опорой.

Неровный путь задавался дискретным набором ординат и аппроксимировался кубическими сплайнами. Предварительно были определены частоты и формы линейно-деформируемой балки.

Решение системы уравнений (3) было выполнено численно методом Рунге-Кутты. В качестве примера исследовались вынужденные колебания сталежелезобетонной балки с пролетами по схеме 42м+63м+42м. Результаты расчета коготруктивно-нелинейной балки сопоставлялись с данными расчета линейно-деформируемой балки. Необходимое число удерживаемых собственных форм равнялось 5.

Во второй главе предложены результаты экспериментальных исследований моделей балок на статическое и динамическое действие нагрузки.

Для испытаний балок был изготовлен специальный испытательный стенд, состоящий из массивного металлического основания, комплекта опорных устройств и грузоприемного приспособления. Низшие формы вызывались при помощи неуравновешенного электродвигателя, прикрепленного к испытываемой балке и вращающегося с заданной скоростью. Были изготовлены три сталебетонные и одна сталежелезобетонная балки. Сечение балок состояло из двух стальных прокатных профилей (двутавры № 10), объединенных по верхним полкам плитой. Плита была изготовлена из бетона различных марок. Толщина ее составляла 3 см ширина - 50 см. Длина балок равнялась 6,3 м. Относительные параметры испытываемых балок выбирались близкими к соответствующим параметрам реальных пролетных строений. В качестве расчетной схемы моделей была выбрана балка с консолью.

НТБ  
ДНУЖТ

Для определения относительных деформаций в стали и бетоне и перемещений соответствующих сечений балок применялись тензорезисторы и стрелочные индикаторы. Динамические характеристики исследовались при помощи светолучевого осциллографа Н-117 и комплекта вибродатчиков типа КОО1.

Исследовано влияние податливости основания испытательного стенда на собственные частоты балок. Массивное основание и установленная на нем испытываемая балка представлены как единая комбинированная система. Дифференциальные уравнения системы решены методом разложения по собственным формам.

В результате статических испытаний экспериментально получены коэффициенты  $\tilde{\varphi}$ , учитывающие степень уменьшения начальной изгибной жесткости балок (вследствие трещинообразования в бетоне), в зависимости от

$$\gamma = \frac{B}{B_c}$$

где  $B$  - начальная изгибная жесткость всего сечения;  $B_c$  - изгибная жесткость стальной части. Эти коэффициенты использованы в III главе при динамическом расчете конструктивно-нелинейных балок методом прямого интегрирования.

При динамических испытаниях было экспериментально исследовано влияние процесса трещинообразования на две нижние частоты и формы балок. Для оценки экспериментальных данных выполнен расчет свободных колебаний балок с трещинами в бетонной плите на основе конечно-разностных представлений исходных дифференциальных уравнений.

На одной из сталебетонных балок с трещинами в бетонной плите было проведено испытание на длительное циклическое воздействие ( $P = 2460,5$  тыс. циклов). В процессе испытаний были обна-

НИИ  
ДНУЖТ

рушены новые трещины, появившиеся от усталостного разрушения бетона, а также выявлены отдельные участки с расстройством объединения между стальными балками и бетонной плитой. Аналогичные явления были отмечены при длительном наблюдении (2,5 года) за интенсивно эксплуатируемым неразрезным сталежелезобетонным пролетным строением.

В третьей главе изложен динамический расчет неразрезных конструктивно-нелинейных балок интегро-интерполяционным методом (ИИМ) в комбинации с трехслойной неявной разностной схемой.

Уравнение движения балки в дискретной форме получено в виде

$$M\ddot{\vec{y}} + (1 + \kappa_0 \frac{\partial}{\partial t}) D\tilde{G}\varphi(t)D\vec{y} + \tilde{C}\vec{y} = \vec{R}, \quad (4)$$

где  $\tilde{G}$  - диагональная матрица жесткости, отвечающая начальным жесткостным характеристикам дискретных элементов балки;

$\varphi(t)$  - диагональная корректировочная матрица.

Представляя  $\vec{y}$ ,  $\dot{\vec{y}}$  и  $\ddot{\vec{y}}$  центральными конечными разностями и подставляя их в (4), получаем систему алгебраических уравнений относительно  $\vec{y}(t_k + \tau)$ .

Уравнение движения модели автомобиля было представлено аналогично в виде трехслойной неявной разностной схемы.

Численные исследования проводились для расчетных схем реальных автодорожных мостов. Результаты этих расчетов сопоставлялись с данными, полученными при использовании разложений по собственным формам. Отмечено хорошее совпадение.

Далее были рассмотрены совместные колебания конструктивно-нелинейных балок и движущихся по ним колонн подрессоренных грузов. Каждый автомобиль был представлен в виде одномахового груз-

за с упругими диссипативными связями. Исходные дифференциальные уравнения решались также методом прямого интегрирования. Исследовались два режима движения грузов. Первому режиму соответствовало движение колонны бесконечной длины. При втором режиме рассматривалось движение колонны, длина которой равнялась наибольшему пролету балки.

Для оценки достоверности предложенных методик были выполнены натурные динамические испытания двух неразрезных сталежелезобетонных пролетных строений с поперечными трещинами в железобетонной плите.

Первый мост представлял собой сталежелезобетонную неразрезную балку с пролетами 4х63м. Подвижной нагрузкой служил груженный автомобиль КраЗ - 256Б. Автомобиль пропускался по оси проезжей части с постоянной скоростью. Всего было выполнено 42 заезда, в результате которых фиксировались максимальные динамические перемещения соответствующих точек сечения.

Расчетной схемой второго сталежелезобетонного моста являлась семипролетная неразрезная балка с пролетами 36,75м + 5 х 63м + 36,75м. В качестве подвижной нагрузки был принят автомобиль БелАЗ-540А, который пропускался в одном направлении 48 раз. При этом фиксировались максимальные напряжения и перемещения в сечении.

После статистической обработки данных динамических испытаний и сопоставления их с результатами расчета оказалось, что экспериментальные данные находятся между расчетными, полученными по линейно-деформируемой и нелинейно-деформируемой схемам. При этом они близки к результатам второй расчетной схемы.

Четвертая глава посвящена расчету случайных колебаний конструктивно-нелинейных балок под действием одиночных подрассорен-

НИИ  
ДНУЖТ

ных грузов и их колонн, движущихся по неровному пути.

Расчет случайных колебаний выполнен методом статистических испытаний на примере трехпролетной балки 36м + 48м + 36м.

После выполнения указанного численного эксперимента были получены случайные ряды максимальных усилий и перемещений для характерных сечений балки. Построены гистограммы распределения указанных величин, которые аппроксимировались кривыми Пирсона типа I. Согласованность распределений проверялась критериями согласия Пирсона, Колмогорова и Романовского.

На основе вероятностного анализа распределений получены динамические коэффициенты по изгибающим моментам и прогибам. Данные численного эксперимента сопоставлены с динамическими коэффициентами по нормам СН200-62 и проекту СНиП II-43. Динамические коэффициенты, соответствующие воздействию одиночных грузов, оравнивались с динамическими коэффициентами по прогибам и усилиям от движущейся колонны грузов.

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

I. Разработана методика динамического расчета неразрезных конструктивно-нелинейных сталежелезобетонных балок на подвижную нагрузку на основе метода разложения по собственным формам. Установлено, что процесс трещинообразования существенно влияет на перемещения (до 14%) и внутренние усилия (до 20%). Наиболее интенсивное раскрытие трещин следует ожидать в крайних пролетах неразрезных балок. Вынужденные колебания конструктивно-нелинейных балок под действием одиночных грузов происходят со сдвигом по фазе по сравнению с линейно-деформируемыми балками.

НТБ  
ДНУЖТ

2. На специально изготовленном испытательном стенде выполнены экспериментальные исследования моделей сталежелезобетонных балок на статическое и динамическое действия нагрузки. Теоретически исследовано влияние податливости основания испытательного стенда на погрешность измерений собственных частот балок. Экспериментально установлено, что появление трещин в бетоне значительно уменьшает начальную изгибную жесткость. Степень ее изменения зависит от отношения общей изгибной жесткости балок к жесткости стальной части.

3. Наиболее сильное влияние трещинообразование в бетоне оказывает на первую частоту и форму (до 15%) свободных колебаний. Изменение второй частоты и формы не превышает 7%.

4. Распределение относительных деформаций в бетоне между трещинами неравномерное. На некоторых участках деформации близки к деформациям трещинообразования. Длительное циклическое воздействие на сталежелезобетонную балку с трещинами приводит к появлению новых трещин от усталостного разрушения бетона. В сталежелезобетонных мостах, интенсивно эксплуатируемых подвижной нагрузкой, с течением времени развивается усталостные трещины. Их распространению способствует повышенное динамическое воздействие подвижной нагрузки из-за неудовлетворительного состояния проезжей части.

5. Разработана методика расчета вынужденных колебаний конструктивно-нелинейных сталежелезобетонных балок под действием подрассоренной нагрузки на основе метода пространственно-временной дискретизации, т.е. с помощью ИМ и трехлопной нелинейной схемы. Показано, что расчеты, выполненные этим методом, хорошо совпадают с данными метода разложения по собственным формам. Установлено, что максимальные усилия и перемещения при

ИП  
ДНУЖТ

колебаниях балок под действием регулярной колонны подрессоренных грузов меньше, чем при нерегулярных возмущениях.

6. Предложен алгоритм расчета случайных колебаний конструктивно-нелинейных балок под действием одиночных подрессоренных грузов и их колонн. Показано, что гистограммы максимальных динамических усилий и перемещений аппроксимируются кривыми распределения Пирсона. Установлено, что относительный динамический эффект от одиночных подрессоренных грузов выше чем от колонн. Расчетные динамические коэффициенты в ряде случаев существенно отличаются от имеющихся в СН200-62 и проекте СНиП II-43.

Все вычислительные работы выполнены на ЭВМ "ЕС-1022" по оставленным автором программам на языке Фортран-IV.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах :

1. Барченков А.Г., Биджиев Р.Х., Сафронов В.С. О динамическом воздействии тяжелых автомобилей и автопоездов на многопролетные мосты. - Транспортное строительство, 1980, № 8, с. 46-47.

2. Биджиев Р.Х., Сафронов В.С. К расчету колебаний от подвижной нагрузки неразрезных сталежелезобетонных мостов. В кн. Расчет прочности, устойчивости и колебаний элементов инженерных сооружений. Воронеж, ВГУ, 1981, с. 53-63.

3. Биджиев Р.Х., Сафронов В.С. Экспериментальные исследования на модели сталебетонных конструкций. Материалы Всесоюзной конференции: "Экспериментальные исследования инженерных сооружений". Таллин, октябрь 1981. Киев, НИИСК, 1981, с. 77.

НТБ  
ДНУЖТ

4. Аверин А.Н., Барченков А.Г., Биджиев Р.Х., Котуков А.Н. Анализ данных массовых динамических испытаний автодорожных балочных мостов. Материалы Всесоюзной конференции: "Проблемы оптимизации и надежности в строительной механике", Вильнюс, июль 1983. М.Стройиздат, 1983, с. 5-6.

5. Биджиев Р.Х. Установака для динамических модельных испытаний балочных конструкций. В кн. Исследования по статике и динамике стержневых и тонкостенных систем. Воронеж, ВГУ, 1983, с. 68-75.

6. Хмыров А.Ф., Биджиев Р.Х., Аверин А.Н. Применение неявной разностной схемы для расчета колебаний неразрезных балок под действием подвижной нагрузки. В кн. Исследования по статике и динамике стержневых и тонкостенных систем. Воронеж, ВГУ, 1983, с. 148-156.

7. Барченков А.Г., Биджиев Р.Х., Котуков А.Н. Анализ данных динамических испытаний автодорожных балочных мостов. В кн. Исследования по статике и динамике стержневых и тонкостенных систем. Воронеж, ВГУ, 1983, с. 43-55.

4839a

*Биджиев*

Подписано к печати 21.05.1984 г. ЛЕ № 01593

Формат 60 x 84 1/16. Объем 1.0 печ.л.

Тираж 100 экз. Зак. № 187. Бесплатно.

Ротапринт Воронежского ордена Трудового Красного Знамени инженерно-строительного института. 394006 Воронеж, ул. XX-летия Октября, 84.