

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Глушкова Сергея Павловича  
на диссертационную работу **Раводина Ильи Владимировича**  
на тему «Развитие методики расчета колебаний неразрезных упруго опертых  
конструктивно-нелинейных балочных систем при движущейся нагрузке»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.1.9 Строительная механика

Рецензируемая диссертационная работа состоит из введения, пяти глав основного текста, заключения, библиографического списка, включающего 142 источника. Работа изложена на 194 страницах, содержит 145 рисунков, 15 таблиц, 4 акта внедрения.

### **1. Актуальность темы диссертации**

Упруго опертые конструктивно-нелинейные балочные системы часто используются при моделировании работы различных конструкций в строительстве и машиностроении. Для расчета таких систем на динамические воздействия как правило применяются численные методы.

Известные методы моделирования колебаний балочных систем, такие как метод Галеркина или метод конечных разностей имеют ограниченную область применения для расчета систем с включающимися жесткими опорами из-за вычислительных проблем. При движущейся нагрузке происходит многократная смена граничных условий, которая приводит к проблеме получения устойчивого решения. Кроме того, в настоящее время в нормативных документах отсутствуют практические рекомендации по выбору рациональных параметров и их соотношений для упруго опертых балочных систем. Таким образом, тема рассматриваемой диссертационной работы является актуальной.

### **2. Достоверность и новизна выводов и результатов исследований**

Новизна результатов исследований соискателя логически вытекает из основной идеи его работы и состоит в следующем:

1. Разработан вычислительный алгоритм решения дифференциальных уравнений движения балки с изменяющимися граничными условиями с использованием кусочно-линейных базисных функций.

2. Разработана универсальная экспериментальная установка, позволяющая моделировать конструктивно-нелинейные колебания балочных систем при движущейся нагрузке.

3. Выполнена адаптация оптического измерителя для определения динамических перемещений характерных сечений конструктивно-нелинейной балочной системы.

4. Разработаны рекомендации по построению адекватной конечно-элементной модели балочной системы при движущейся инертной нагрузке в программном комплексе LS-Dyna.

5. Выполнены параметрические исследования, позволившие установить области рациональных соотношений параметров упруго опертой балочной системы опорами при движущейся нагрузке.

Достоверность результатов подтверждается корректностью математической постановки в пределах принятых допущений, а также удовлетворительным совпадением результатов численного моделирования колебаний динамических систем с результатами экспериментов и известными решениями других авторов.

### **3. Значимость выполненной диссертационной работы для теории и практики**

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в разработанном автором вычислительном алгоритме расчета колебаний конструктивно-нелинейных балочных систем с использованием кусочно-линейных базисных функций. Предложенный способ позволяет получить решение при большей жесткости упругих связей, моделирующих работу ограничительных опор.

Вычислительный алгоритм реализован в системе компьютерной математики Matlab для проведения параметрических исследований с целью подбора рациональных параметров при проектировании. Автором подготовлены рекомендации, позволяющие установить рациональные соотношения значений жесткостей балки и упругих связей, длин пролетов, величин зазоров ограничительных опор.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы:

- в проектных организациях, занимающихся расчетом пролетных строений мостов, конструированием конвейерного оборудования;
- в разработке и совершенствовании нормативных документов;
- в учебном процессе при подготовке специалистов соответствующего профиля, что подтверждено соответствующими актами.

### **4. Оценка содержания диссертационной работы, её завершенности**

Представленная диссертационная работа имеет традиционную для научной специальности 2.1.9 структуру.

**Во введении** диссертационной работы обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, приведена научная новизна и практическая значимость.

**В первой главе** выполнен анализ научных работ по теме диссертации. Описаны особенности расчета конструктивно-нелинейных балочных систем. Представлен обзор классических вариантов постановки задачи о действии подвижной нагрузки на пролетные строения. Описаны известные способы конечно-элементного моделирования подвижной нагрузки в динамических задачах. Обосновано применение лабораторной установки для верификации результатов расчетов балочных систем на движущуюся нагрузку.

**Во второй главе** представлена выбранная расчетная схема упруго опертой конструктивно-нелинейной балочной системы с ограничительными опорами по концам. Для данной расчетной схемы записана математическая модель. Показано, что использование глобальных функций в качестве базиса приводит к вычислительной неустойчивости при смене граничных условий по концам балки. На основе математической модели, записанной для обобщенных функций и включающей граничные условия в уравнения, построен вычислительный алгоритм с использованием кусочно-линейных базисных функций. Данный алгоритм позволяет получать устойчивое решение задачи при большем диапазоне соотношений параметров балочной системы.



**В третьей главе** представлены результаты экспериментального моделирования колебаний упруго опертой балочной системы с ограничительными опорами. Автором описана разработанная и изготовленная установка, обоснована программа испытаний. Приведен анализ погрешностей средств измерения. Представлены полученные оптическим способом графики вынужденных колебаний характерных сечений балки с упругими и ограничительными опорами при различных параметрах несущей системы и подвижной нагрузки.

**В четвертой главе** рассмотрены известные способы моделирования воздействия движущейся нагрузки на балочные системы в современных конечно-элементных комплексах. Описана конечно-элементная модель конструктивно-нелинейной балочной системы с подвижной тележкой, разработанная в программном комплексе LS-Dyna. Приведены результаты моделирования колебаний балочной системы, использованной при проведении испытаний.

**В пятой главе** проведен сравнительный анализ результатов расчетов с результатами инструментальных измерений. Построены графики перемещений сечений балки в пролете и на опорах. С помощью разработанной программы в Matlab проведены численные исследования для оценки влияния параметров системы на колебательный процесс. Методика моделирования движущейся нагрузки в КЭ комплексе LS-Dyna использована для расчета прикладных задач.

**В приложении** приведены акты внедрения результатов диссертационной работы. Результаты диссертационной работы были внедрены в нескольких сферах:

- при оценке напряженно-деформированного состояния несущих конструкций балок конвейерной галереи склада гранулированного жома с учетом динамического давления от сбрасывающей тележки компанией ООО «Вестерос» в рамках выполнения проекта сахарного завода в Жамбылской области Республики Казахстан.

- для уточнения напряженно-деформированного состояния сталежелезобетонного пролетного строения через реку Кальмиус по проспекту Ильича, г. Донецк компанией ООО "ТИИС".

- в учебный процесс при подготовке магистров ВГТУ по профилю «Теория и проектирование зданий и сооружений».

В целом работа обладает заявленной научной новизной и практической значимостью. Диссертация отличается хорошим уровнем теоретико-экспериментального содержания. Представлено достаточное количество информационных данных в виде фотографий и рисунков, а также качественное оформление результатов в виде графиков и таблиц.

Считаю, что основная цель, поставленная в диссертации, достигнута. Рецензируемую работу на соискание ученой степени кандидата технических наук можно считать завершенной.

## **5. Подтверждение опубликования основных результатов диссертационной работы**

Основные результаты работы в достаточном количестве представлены для обсуждения научной общественностью в опубликованных соискателем по теме диссертации научных трудах в различных изданиях.

Результаты диссертационной работы опубликованы в 12 печатных трудах, в том числе 4 статьи подготовлены и опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК и приравняемых к ним. Зарегистрированы 2 программы для ЭВМ.

Опубликованные статьи и изложенные на конференциях материалы достаточно полно раскрывают суть и результаты научных исследований.

## **6. Степень завершенности диссертации в целом и качество оформления.**

### **Оценка языка и стиля диссертации**

Диссертационная работа Раводина Ильи Владимировича имеет завершенный характер. Качество оформления соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям. Диссертация изложена технически и стилистически грамотно, достаточно четко даны формулировки и определения, приведены необходимые ссылки на используемые источники. Сделанные замечания не снижают уровень положительной оценки, значимости и новизны диссертационной работы.

## **7. Вопросы и замечания по работе**

1. Каким образом обеспечивается достоверность результатов эксперимента и как определяется величина погрешности? Следует выполнить оценку необходимого количества повторных опытов, чтобы считать результаты статистической обработки измерений достоверными.

2. Исходя из каких требований были приняты геометрические характеристики экспериментальной модели? Следует дополнить автореферат индикаторами моделирования, если они есть.

3. При расчете сталежелезобетонного пролетного строения через реку Кальмиус в программе LS-Dyna решается нелинейная задача, в которой рассмотрен проезд колонны автомобилей с постоянной скоростью в одном направлении. Для достоверной оценки НДС несущих элементов необходимо рассмотреть несколько расчетных ситуаций.

4. Рекомендуемые соотношения параметров конструктивно-нелинейных упруго опертых балочных систем применимы для ограниченного круга задач. При изменении параметров подвижной нагрузки или условий закрепления необходимо проводить повторные расчеты, так как результаты могут сильно отличаться.

## **8. Заключение**

Диссертационная работа Раводина Ильи Владимировича на тему «Развитие методики расчета колебаний неразрезных упруго опертых конструктивно-нелинейных балочных систем при движущейся нагрузке» по своей актуальности, новизне, научно-практической значимости соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Считаю, что автор, Раводин Илья Владимирович, достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9 Строительная механика.



**Официальный оппонент:**

доктор технических наук по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и оборудования», профессор, профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения»,



Глушков Сергей Павлович

«15» ноября 2024 г.

Адрес: 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, д. 191

Email: repl.glushkov@yandex.ru

Телефон: +7 913 925 1562

Подпись Глушкова С.П.  
ОД УАО

