

01.02.06

Б906



Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

БУК ВИКТОР АДОЛЬФОВИЧ

УДК 621.874.001.5

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК
КРАНОВ МОСТОВОГО ТИПА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СЛУЧАЙНЫХ
КОЛЕБАНИЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ

Специальность 01.02.06 - "Динамика и прочность машин,
приборов и аппаратуры"

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

Челябинск - 1986

Работа выполнена на кафедре "Теоретическая механика" Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола.

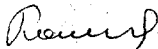
- НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ - кандидат технических наук, доцент
Захвнин А.М.
- ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ: - доктор технических наук, профессор
Казаков С.А.,
кандидат технических наук, доцент
Мельчаков А.П.
- ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ - ПО "Сибтяжмаш" г. Красноярск

Защита состоится " 12 " марта 1986г. на заседании специализированного совета Д.353.13.01 при Челябинском политехническом институте имени Ленинского комсомола по адресу: 454044, Челябинск, проспект им. В.И.Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " 10 " марта 1986г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СОВЕТА,
ДОЦЕНТ, КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ
НАУК



МОНОНОВ К.М.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ. В утвержденных XXVI съездом КПСС "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981-85 годы и на период до 1990 года" среди наиболее важных задач намечено расширение производства грузоподъемных машин и повышение их качества, надежности и производительности, а так же снижение материалоемкости.

Введение в технологические процессы металлургической промышленности, тяжелого машиностроения и других отраслей кранов большой грузоподъемности и увеличенных рабочих скоростей позволяет повышать производительность труда и дает большой экономический эффект при их эксплуатации. Однако у таких мостовых кранов увеличались динамические нагрузки на металлоконструкцию, механизмы и вибрация рабочего места оператора, что может привести к опасным последствиям, связанным с угрозой для здоровья и жизни людей. Повышение степени ответственности несущих элементов в момент когда происходит подъем и транспортировка грузов в работающих цехах, стремление к снижению веса за счет максимального использования резервов несущей способности конструкции, требует решения целого комплекса проблем, среди которых важное место занимает проблема разработки более достоверных методик определения динамических нагрузок конструкций существующих кранов и на стадии проектирования. Создание на основе этих методик универсальных вычислительных программ, позволяет автоматизировать процесс расчета конструкций на ЭВМ, что приводит к снижению затрат и средств при их проектировании и доводке.

Данная работа является составной частью хозяйственных работ 77/9, 79/31, 80/108, 83/73, выполняемых по плану научных исследований по естественным и общественным наукам академии наук СССР на 1981-85 годы (код: 1.10.4.3) "Вопросы виброзащиты приборов и оборудования", по координационному плану ГИИТ по проблеме "Виброзащита и вибрационная техника" для Урала, Сибири и Дальнего Востока - 1984г., по плану НИР Милчермета СССР на 1980-1981г. (шифр: 32-8-2-32-80), по плану НИР ВНИИМехчермета на 1982-1983г. (шифр: 12.1-77-8).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. 1. Создание универсальной методики теоретического и экспериментального определения динамических нагрузок мосто-

ных краев при движении по подкрановым рельсам со случайными неровностями в профиле с учетом изгибной податливости моста.

2. Определение статистических характеристик входных воздействий подкранового пути на мостовой кран при его движении.

3. Разработка методики определения рациональных параметров средств виброзащиты оператора мостового крана.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. 1. Предложена методика теоретического определения динамических нагрузок кранов мостового типа при случайном воздействии в режиме движения на стадии проектирования, используя уточненную модель моста крана на основе его схематизации в виде упругой на изгиб балки.

2. Впервые получены статистические характеристики (корреляционные функции и спектральные плотности) входного воздействия от подкранового пути на мостовой кран при его движении. Проведена классификация полученных статистических характеристик в зависимости от грузоподъемности мостовых кранов.

3. Предложен статистический подход к оценке качества укладки подкранового пути в профиле.

4. Впервые получены расчетные зависимости для определения вероятностных характеристик нагруженности моста крана, как звена с распределенными параметрами при учете упруго-вязких свойств подрельсового основания.

5. Дана методика теоретического определения рациональных параметров средств виброзащиты оператора мостового крана на стадии проектирования.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. Разработанные методики и создание на их основе программы для ЭВМ позволяют:

- получить статистические оценки отклонений подкранового пути в профиле и установить области изменения этих оценок;
- проводить расчет частот и форм собственных колебаний мостовых кранов;
- проводить расчет статистических оценок скоростей, ускорений, перерезывающих сил, изгибающих моментов и напряжений в различных сечениях моста крана и тем самым выявить резервы прочности конструкции;
- получить зависимости статистических показателей нагружения несущего моста крана на этапе проектирования и выбрать наиболее

рациональное распределение массовых и жесткостных характеристик моста по его длине;

- аргументированно подойти к выбору средств виброзащиты оператора;

- экспериментально исследовать уровни и частотный состав вибрации на различных эксплуатационных режимах работы крана и определять ее причины и источники.

РЕАЛИЗАЦИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ. Методика и программы теоретического и экспериментального определения динамических нагрузок металлоконструкций мостовых кранов и виброн нагруженности рабочего места оператора при случайных возмущениях внедрены в опытно-конструкторскую и научно-исследовательскую работу производственного объединения "Сибтяжмаш" г. Красноярск и используются при проектировании новых и модернизации существующих мостовых кранов. Различные варианты методик и программы к ним внедрены в расчетную практику Всесоюзного научно-исследовательского института техники безопасности черной металлургии.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на:

- научно-технических конференциях Челябинского политехнического института, Челябинск, 1977 - 1985 г.г.;

- Втором Всесоюзном съезде по теории машин и механизмов, Одесса, 1982 г.;

- 1У Всесоюзном симпозиуме "Влияние вибрации на организм человека и проблемы виброзащиты", Москва, 1983 г.;

- П Республиканской научно-практической конференции "Проблемы снижения шума и предотвращения его отрицательного воздействия на здоровье людей", Минск, 1983 г.;

- Всесоюзной конференции по вибрационной технике. Тбилиси, 1984 г..

ПУБЛИКАЦИИ. По материалам работы опубликовано шесть статей и пять научно-технических отчетов ЧПИ, зарегистрированных во ВНИИД.

НА ЗАЩИТУ ВНОСЯТСЯ:

- методика теоретического определения динамических нагрузок мостовых кранов при случайном воздействии в режиме движения;

- статистические оценки воздействия подкрановых путей на движущийся кран и их классификация по грузоподъемности;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований нагруженности моста крана, как едена с распределенными параметрами при учете упруго-вязких свойств подрельсового основания;
- методика теоретического определения рациональных параметров средств виброзащиты оператора мостового крана на стадии проектирования.

ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения и приложения. Содержит 145 страниц текста, 61 иллюстрация, 10 таблиц. Список использованной литературы содержит 110 наименований.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе рассматривается динамический режим установившегося движения крана по цеху. Такой режим является наиболее характерным для мостовых кранов, составляет 50-60% от всего времени работы крана и дает существенный вклад в накопление усталостных повреждений металлоконструкции.

Ост 24.090.72-83 "Нормы расчета стальных конструкции мостовых и козловых кранов" включает в себя расчетный случай, требующий учета вертикальных динамических нагрузок от передвижения крана. В настоящее время эти динамические нагрузки определяются при помощи коэффициента динамичности. Однако используемые коэффициенты динамичности не отражают качественного характера динамических нагрузок, их распределения по частотам, что имеет важное значение для расчета конструкций на надежность и усталостную прочность.

Методические основы изучения динамики грузоподъемных машин были разработаны И.И.Абрамовичем, В.И.Брауде, А.В.Вершинским, М.М.Гохбергом, С.А.Казаком, Н.А.Лобовым. Широко известны научные труды по исследованию динамических нагрузок кранов, выполненные советскими учеными В.П.Балашовым, Л.Я.Будиковым, А.И.Дукельским, П.Э.Петуховым, И.М.Одином, В.Н.Семеновым, В.М.Соболевым, Д.Н.Спициной, В.Н.Суторихиной и другими, а также зарубежными учеными Г.Гановером, М.Шеффлером, Г.Маиером, Ф.Куртом, Г.Маркварттом и другими.

Наиболее исследованными являются режимы подъема и опускания

Груза, режим движения крана по цеху является малоизученным.

На основании обзора указанных исследований установлено, что для объективной оценки нагруженности металлоконструкций мостовых кранов необходимо учитывать динамический характер нагрузок. В настоящее время в основном используют две динамические модели конструкции: дискретно-массовую и с распределенными параметрами на основе балочной модели. Дискретно-массовые модели при всей их простоте достаточно хорошо описывают колебания конструкций в области низших собственных частот. Более широкими возможностями обладают модели с распределенными параметрами, позволяющие описывать поведение конструкции в широком частотном диапазоне при реально существующих внешних воздействиях.

Перспективными для расчета динамических нагрузок являются методы, базирующиеся на достижениях статистической динамики и теории вероятностей. Однако, несмотря на большое число работ по исследованию динамики механизмов и металлоконструкций мостовых кранов, в настоящее время отсутствуют надежные методы расчетного и экспериментального определения динамических нагрузок несущих мостов кранов при случайных внешних возмущениях, доведенные до практических приложений.

Сравнение различных методов исследования динамики мостового крана при его движении показало, что более полно и точно можно определить динамические нагрузки в различных сечениях моста крана, если в математическую модель, описывающую колебания крана в качестве возмущающих факторов вводятся вероятностные характеристики случайных неровностей подкранового пути.

В трудах В.В.Болотина, В.И.Брауде, Н.И.Гриненко; А.М.Зубкова, С.А.Казана, А.С.Липатова, Н.А.Николаенко, В.В.Проскурякова, В.А.Светличкого, А.А.Силаева, А.А.Хачатурова и других авторов изложены вопросы статистической динамики механических систем, в том числе мостовых кранов.

Анализ доступных источников позволил сформулировать следующие задачи исследования:

1. Разработать эффективную методику теоретического определения динамических нагрузок мостовых кранов при случайном воздействии, с учетом изгибной податливости моста крана.
2. Определить статистические характеристики возмущающих воздействий от неровностей подкранового пути в профиле на движущий-

ся мостовой кран для различных цехов металлургических заводов.

3. Разработать методику экспериментальных исследований уровней и частотного состава вибраций, позволяющую проверять достоверность результатов теоретических расчетов и выявлять основные источники и причины повышенной вибрации.

4. На основании полученных статистических характеристик вибрационных нагрузок рабочего места оператора, разработать методику расчета рациональных параметров средств его виброзащиты.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

При помощи геодезической съемки подкрановых путей различных цехов металлургических заводов городов Челябинска, Жданова, Череповца был получен статистический материал, необходимый для получения количественных характеристик неровностей подкранового пути.

Обработка экспериментальных данных показала, что закон распределения ординат отклонений подкрановых путей в профиле для различных цехов является Гауссовским с математическим ожиданием в пределах 4 - 80 мм и среднеквадратичным отклонением в пределах 7 - 20 мм.

С позиций корреляционно-спектрального анализа изложен алгоритм вычисления корреляционной функции $R(\tau)$ и спектральной плотности $S_g(\omega)$ воздействия подкранового пути и их аналитической аппроксимации (рис. 1).

Спектральная плотность воздействия $S_g(\omega)$ в задачах статистической динамики записывается дробно-рациональной функцией вида

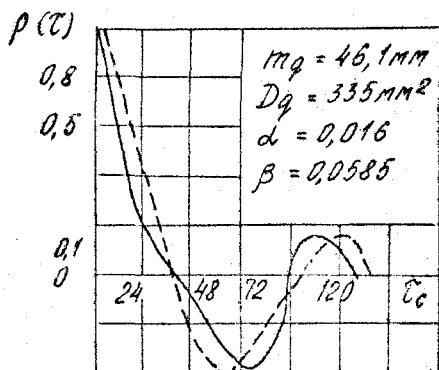
$$S_g(\omega) = \frac{1}{2\pi} \left| \frac{\sum_{j=0}^n a_j (i\omega)^j}{\sum_{j=0}^n b_j (i\omega)^j} \right|^2 = \frac{1}{2\pi} \left| \frac{P_1(i\omega)}{Q_1(i\omega)} \right|^2 \quad (1)$$

Соответствующее ей выражение корреляционной функции имеет вид

$$R(\tau) = \sum_{j=1}^S C_j e^{-\lambda_j \tau} + \sum_{j=1}^P (A_j \cos(\beta_j \tau) + B_j \sin(\beta_j \tau)) e^{-\alpha_j \tau} \quad (2)$$

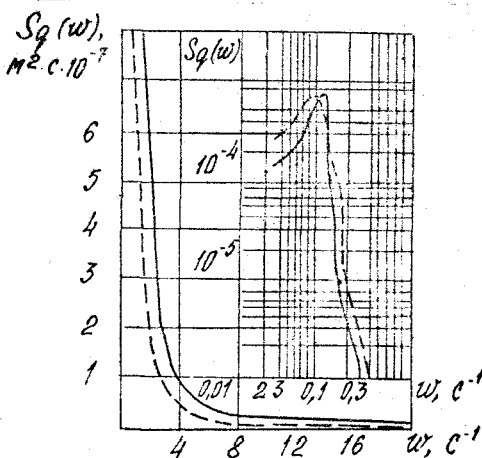
При n , изменяющемся от 1 до 4, были оценены корреляционные функции воздействия от подкрановых путей различных цехов.

Корреляционная функция и спектральная плотность воздействия подкранового пути кислородно-конверторного цеха (пролет непрерывного литья заготовок, 1982 год)



Корреляционная функция

— расчетная кривая; --- аппроксимирующая кривая



Спектральная плотность

--- кривая, полученная преобразованием корреляционной функции;

— кривая, полученная по точкам при помощи БПФ

Рис. 1

В результате следует, что корреляционные функции и спектральные плотности неровностей подкрановых путей с достаточной точностью можно аппроксимировать выражениями

$$R(\tau) = R(0) \cdot e^{-d|\tau|} \left(\cos \beta \tau + \frac{d}{\beta} \sin \beta |\tau| \right), \quad (4)$$

$$S_{\rho}(\omega) = \frac{4\alpha_1 V^3 (\alpha_1^2 + \beta_1^2)}{\omega^4 + 2(\alpha_1^2 - \beta_1^2) V^2 \omega^2 + [(\alpha_1^2 + \beta_1^2) V^2]^2}. \quad (5)$$

Здесь α_1, β_1 — значения параметров при $V = 1$ м/с; V — скорость движения мостового крана; ω — круговая частота.

На рис. 1 приведены корреляционные функции и спектральные плотности воздействия подкранового пути кислородно-конверторного цеха, полученные прямой обработкой реализации на ЭВМ и по аппроксимирующим выражениями (4), (5). Можно отметить удовлетворительное качественное и количественное совпадение кривых.

В результате анализа коэффициентов $\alpha_1, \beta_1, R(0)$ в выражении спектральной плотности воздействия, были получены статистические оценки коэффициентов и доверительные интервалы для них в зависимости от грузоподъемности кранов (табл. 1 $Q = 400-500$ т).

Таблица 1

Статистические оценки коэффициентов $\alpha_1, \beta_1, R(0)$ функции воздействия от подкрановых путей кислородно-конверторных цехов

Среднее значение	$\bar{\alpha}_1 = 0,015$	$\bar{\beta}_1 = 0,054$	$\bar{R}(0) = 222,5$
Максимальное вероятное значение	$\max \alpha_1 = 0,0394$	$\max \beta_1 = 0,087$	$\max R(0) = 461,89$
Максимальное (минимальное) значение, полученное обработкой результатов измерений	$\alpha_1, \max = 0,061$ $\alpha_1, \min = 0,012$	$\beta_1, \max = 0,102$ $\beta_1, \min = 0,102$	$\max R(0) = 536$ $R(0), \min = 215,7$

Полученные значения математического ожидания и среднеквадратичного отклонения, могут быть использованы для оценки состояния пути в профиле. Ухудшение состояния пути в профиле отражается в увеличении значения среднеквадратичного отклонения. Также график спектральной плотности неровностей подкранового пути можно рассматривать как критерий качества пути, позволяющий характеризовать динамику мостового крана.

На основе общепринятых допущений составлены динамические модели, одна из которых описывает движение крана по абсолютно жесткому пути, другая - по упруго-вязкому, учитывающему податливость подрельсового основания. В силу достаточного удлинения рассматриваемых мостовых кранов, схематизация их несущего моста выполнена в виде упругого на изгиб стержня переменного сечения, как звена с произвольно распределенными параметрами. Первая модель - более простая.

Для расчетной схемы (рис.2), описывающей вертикальные перемещения масс крана при движении по жесткому пути, принимаются следующие обобщенные координаты: Y_0 - вертикальное перемещение центра масс крана как твердого тела; s_i - обобщенные координаты упругих вертикальных перемещений сечений моста при изгибе по i -му тону ($i = 1, 2, 3$); φ_n - угол поворота моста крана вокруг центра масс в вертикальной плоскости поперечной подкрановому пути; Y_r - вертикальное перемещение упруго подвешенного груза. Считается, что все колеса получают одинаковые возмущения со сдвигом во времени.

Подкрановый путь в расчетной схеме описывающий движение мостового крана по случайным непрерывным неровностям упруго-вязкого подкранового пути, моделировался бесконечно-длинным рельсом, лежащим на упругом инерционном основании. В качестве основания принимается подрельсовая пролетная коробчатая балка прямоугольного сечения.

Для описания упруго-вязкого подкранового пути используется модель В.З.Власова. Эта модель определяется двумя параметрами, характеризующими работу при сжатии и сдвиге:

$$k = \frac{E_0 \delta}{1 - \nu_0^2} \int_0^H [\psi'(z)]^2 dz; \quad t = \frac{E_0 \delta}{4(1 + \nu_0)} \int_0^H \psi^2(z) dz, \quad (6)$$

где E_0 и ν_0 - приведенный модуль упругости и коэффициент Пуассона материала основания; δ - ширина балки; $\psi(z) = \frac{H-z}{H}$ - функция распределения вертикальных перемещений W_i по глубине основания; H - глубина на которой перемещения W_i затухают.

Согласно методике Власова вертикальные перемещения точек основания $W = W_i(x, z) \cdot \psi(z)$, где $W_i(x, z)$ - уравнение изогнутой оси балки, а горизонтальные перемещения принимаются равными нулю.

Приведенный модуль упругости E_0 определяется на основании экспериментальных данных по вибрации подкрановых путей.

Системы дифференциальных уравнений колебаний мостового крана

Динамическая модель движения крана на абсолютно жестком пути

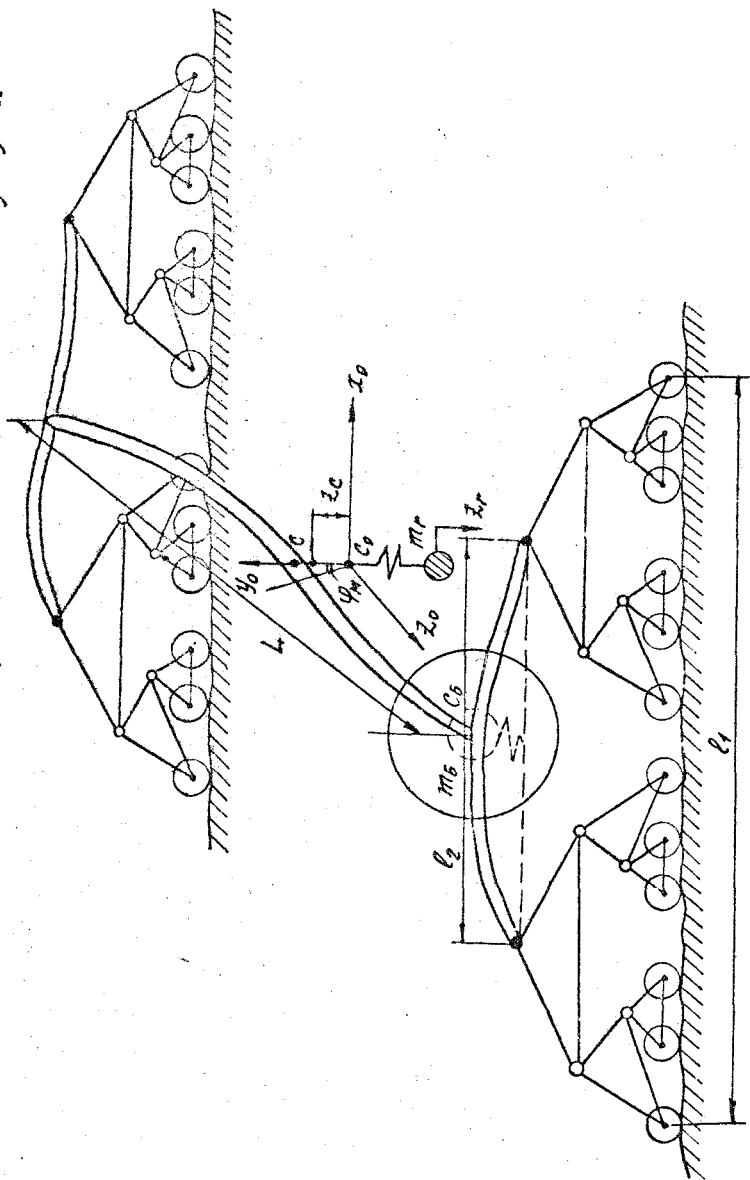


Рис. 2

для каждой расчетной модели составлены с помощью уравнений Лагранжа второго рода. Изложена методика определения динамических нагрузок, базирующаяся на основных зависимостях статистической динамики для стационарных многомерных линейных систем при прохождении через них Гауссовских стационарных случайных процессов.

На основании разработанного алгоритма вычисления статистических характеристик динамических нагрузок, реализованного в виде программы для ЭВМ, выполнен расчет нагрузок мостового литейного крана 450+100/20. Приведены графики изменения статистических характеристик динамических нагрузок по длине несущего моста крана в зависимости от положения грузовой тележки для различных участков кислородно-конверторных цехов и определены значения уровней и частотного состава вибрации места крепления кабины оператора.

3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Излагается методика проведения натурных испытаний мостовых кранов на различных режимах их работы, в ходе которых производилась регистрация следующих выходных случайных процессов: ускорений в конструкции моста крана и на механизмах; ускорение в кабине крана по трем взаимно-перпендикулярным направлениям. Измерение вертикальных виброускорений осуществлялось индуктивными датчиками ускорения ДУ-5С, размещенными по длине моста, работающими в комплекте с усилителем виброизмерительной аппаратуры ВИБ-6ТН. Регистрация вибраций осуществлялась шлейфовым осциллографом Н117/1, запись велась на светочувствительную бумагу. Зафиксированные при испытаниях виброускорения были подвергнуты статистической обработке. Дискретизация непрерывного графика случайного процесса выполнялась с помощью преобразователя графиков Ф009У4.2.

Полученные после дискретизации выборки обрабатывались на ЭВМ с помощью вычислительной программы, в которой реализован алгоритм "быстрого" преобразования Фурье. Результатом работы вычислительных программ были оценки энергетического спектра и дисперсии виброскоростей и виброускорений в местах установки датчиков.

Расчет погрешности экспериментальных исследований показал, что максимальная величина ошибки определения виброускорений не превышает 19%.

Для оценки достоверности результатов измерений вибрации аппара-

турой ВИБ-СТН на одном из кранов одновременно велась регистрация и обработка вибрации на измерительном комплексе фирмы "Брюль и Кьер" (Дания).

Полученные результаты при качественном совпадении отличались количественно на 10 - 15%, что говорит о достаточной точности результатов экспериментальных исследований.

Выполнено сравнение результатов теоретического определения статистических характеристик динамических нагрузок с результатами, полученными при натурных испытаниях, показано их хорошее качественное и удовлетворительное количественное совпадение (рис.3, 4). Экспериментальное подтверждение разработанной методики теоретического расчета динамических нагрузок, позволяет с доверием относиться к полученным результатам.

Результаты экспериментальных измерений уровня и частотного состава вибрации в различных точках мостового крана на различных режимах работы имеют и самостоятельное значение, так как полученные спектральные характеристики ускорений позволяют сравнивать уровни и частотный состав вибрации на разных режимах работы крана, выявить источники повышенной вибрации и анализировать изменение виброактивности крана с течением времени.

4. РЕШЕНИЕ ПРИКЛАДНОЙ ЗАДАЧИ

На основании полученных вибрационных нагрузок рабочего места оператора, зависящих от условий эксплуатации и динамических характеристик человека рассчитываются рациональные законы изменения упругих и демпфирующих характеристик средств виброзащиты оператора, которые позволяют снизить вибрацию до санитарных норм согласно ГОСТ 12.1.012-78.

Если поглощенную оператором мощность взять за основу критерия качества системы виброзащиты, то, с учетом ограничений динамического хода, обобщенный критерий качества примет вид

$$B = \gamma_1 N + \gamma_2 D, \quad (7)$$

где N - поглощенная человеком мощность; D - дисперсия перемещения кресла оператора относительно основания;

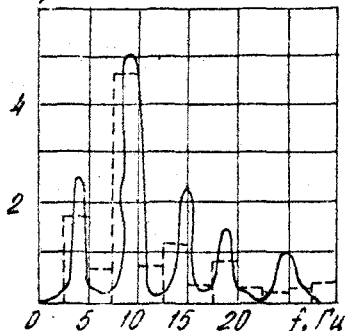
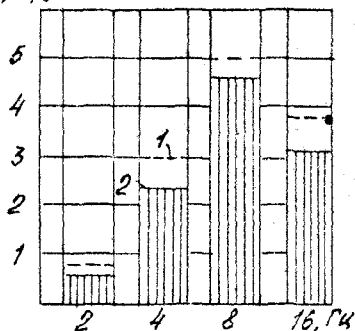
$$\gamma_2 = 1 - \gamma_1 = \begin{cases} 1 & \text{при } D \geq A, \\ 0 & \text{при } D < A, \end{cases}$$

A - ограничения наложенные на D .

Расчетные и экспериментальные значения вибрационных нагрузок в середине моста крана

$\sigma_y, \text{м/с}^2$

$S_y \cdot 10^{-4} \text{г}^2 \text{Гц}^{-1}$



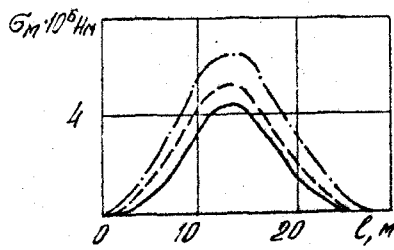
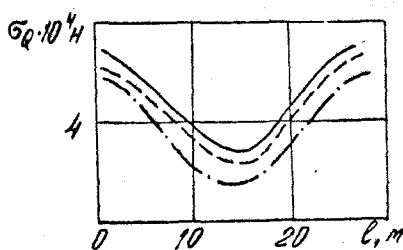
СКО ускорений в октавных
полосах

Спектральная плотность
ускорений

--- расчетные значения; — эксперимент

Рис. 3

Изменение среднеквадратичных отклонений перерезывающих сил и изгибающих моментов по длине моста



— $v = 1,25 \text{ м/с}$; --- $v = 1,5 \text{ м/с}$; - - - $v = 1,75 \text{ м/с}$

Рис. 4

В качестве рациональных выбирались такие жесткость и демпфирование, которые минимизировали критерии качества (7).

Для каждой конкретной спектральной плотности ускорения пола кабины, полученной из анализа динамической модели мостового литейного крана при различных входных воздействиях, определялось рациональное значение коэффициентов демпфирования K для заданной жесткости C .

Таким образом, для каждого пролета эксплуатации кранов, можно рассчитать рациональный коэффициент демпфирования K . Для того чтобы виброзащитная система была универсальной и удовлетворяла всем условиям эксплуатации, необходим демпфирующий элемент с нелинейной характеристикой.

Эквивалентность линейных рациональных параметров для каждого конкретного условия эксплуатации и искомой нелинейной характеристики сопротивления устанавливалась при помощи второго критерия статистической линеаризации Казакова. Полученная таким образом нелинейная характеристика демпфера является рациональной для всех рассматриваемых условий эксплуатации при заданной жесткости.

Разработанная методика позволяет конструктору на этапе проектирования крана рассчитать рациональные параметры средств виброзащиты в зависимости от типа крана и условий его эксплуатации.

Для кранов, находящихся в эксплуатации, возможен иной путь расчета рациональных параметров средств виброзащиты, который не требует анализа динамической модели крана. Необходимые для расчета спектральные характеристики пола кабины определяются экспериментально на различных режимах работы крана.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработана методика определения динамических нагрузок металлоконструкций несущих мостов кранов в транспортно-технологическом режиме при случайном воздействии неровностей подкранового пути на движущийся кран. Методика реализована в виде программ на ЭВМ и позволяет рассчитывать нагруженность широкого класса грузоподъемных машин, таких как мостовые перегружатели, козловые краны и т.п.

2. Предложены две более совершенные динамические модели крана,

включающие упругий на изгиб несущий мост, как явено с распределенными параметрами, одна из которых описывает колебания конструкции при движении по жесткому пути, другая — по упруго-вязкому. Исследования показали, что первая более простая модель дает удовлетворительное совпадение теоретических и экспериментальных результатов в диапазоне 6...25 Гц, вторая — в диапазоне 0...50 Гц и позволяет оценивать влияние упругости подрельсового основания на динамику конструкции.

3. В результате обработки геодезических съемок неровностей подкрановых путей различных цехов металлургических заводов впервые определены статистические оценки всемушарящего воздействия от подкранового пути (корреляционные функции и спектральные плотности) и установлены области изменения этих оценок в зависимости от грузоподъемности крана. Разработаны критерии оценки качества укладки подкрановых путей в профиле.

4. Анализ результатов расчета показал, что максимальные нагрузки в конструкции возникают в сечениях моста, находящихся под грузовой тележкой. Коэффициент динамичности в различных сечениях моста в зависимости от положения грузовой тележки меняется в пределах $K_d = 1,2 \div 1,8$. Кроме того, уровни вибрации места крепления кабины оператора на некоторых участках эксплуатации крана могут превышать санитарные нормы ГОСТ 12.1.012-78 на частотах до 10 Гц, что подтверждается экспериментально.

Разработанная методика позволяет количественно оценить величины ускорений, перерезывающих сил и изгибающих моментов в произвольном сечении моста крана, определить в рамках принятой идеализации статистические характеристики напряжений в указанном режиме. На основе полученных зависимостей среднеквадратичных отклонений перерезывающих сил и изгибающих моментов на этапе проектирования может быть выбрана наиболее рациональная конструктивная схема несущего моста крана, аргументированно назначено распределение массовых и жесткостных характеристик по длине моста.

Расчетные зависимости для определения вероятностных характеристик динамических нагрузок упругого моста крана при учете упруго-вязких свойств подрельсового основания получены впервые.

5. Выполнено экспериментальное исследование вибрационных нагрузок мостового литейного крана 450+100/20 на основных режимах работы. Удовлетворительное совпадение результатов расчетов и натурно-

Го эксперимента подтверждает эффективность предлагаемой методики определения динамических нагрузок. Анализ натурных исследований вибрации позволяет также выявлять источники повышенной вибрации.

6. Разработана методика определения рациональных параметров средств виброзащиты оператора, позволяющая конструктору на стадии проектирования предпринимать целенаправленные действия по снижению вибрации в кабине до уровня санитарных норм. Для крана 450+100/20 рассчитаны рациональные нелинейные характеристики демпфирующих элементов, соответствующие жесткости виброзащитного средства $C = 4 + 10 \text{ кН/м}$.

В приложении приведены характеристики мостового литейного крана и материалы подтверждающие внедрение результатов работы.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. А.с. №918249 (СССР). Устройство для крепления кабины оператора к металлоконструкции крана. В.А.Бук, С.Н.Вагин, А.М.Захезин, В.И.Михайлов, А.И.Пацер. - Опубл. в Б.И., 1982, № 13.

2. В.А.Бук, А.М.Гоман, Е.Н.Шеповалов. Исследование продольных колебаний механической системы "Грузовой вагон - тележка - длиномерный груз". - 3 сб.: Динамика машин и агрегатов. Челябинск, 1978, Вып. 219, с. 91-96.

3. В.А. Бук, А.М.Захезин. Исследование динамики мостовых кранов при случайном возмущении. - В сб.: Динамика машин и рабочих процессов. Челябинск, вып. 243, 1980, с.46-49.

4. В.А.Бук, А.М.Захезин. Статистические характеристики рельсовых нитей мостовых кранов и их аппроксимация. - В сб.: Динамика машин и рабочих процессов. Челябинск, 1980, вып. 243, с. 50-53.

5. В.А.Бук, А.М.Захезин, Э.И.Шиферштейн. Аналитический метод приближенного расчета вибрации мостовых кранов при случайном воздействии. - В сб.: Динамика машин и конструкций, Челябинск, 1981, вып. 254, с. 33-37.

6. В.А.Бук, А.М.Захезин и др. Экспериментальное определение уровня вибрации элементов мостового крана. - В сб.: Динамика и синтез инерционных импульсных силовых систем, Челябинск, 1981, вып. 259, с.113-115.

7. В.А.Бук, А.М.Захезин, В.И.Михайлов. К вопросу оценки виброактивности мостового крана. - В сб.: Тезисы докл. II Всесоюзного съезда по теории машин и механизмов. - Киев, 1982, с. 72.

8. В.А.Бук, А.М.Захезин. Исследование вибрационных характеристик мостовых кранов при случайном воздействии. - В сб.: Тезисы докл. 1У Всесоюзного симпозиума. Влияние вибрации на организм человека и проблемы виброзащиты. - М., 1982, с. 59.

9. В.А.Бук, А.М.Захезин, Э.И.Шиферштейн. Определение прогиба подкранового рельса при движении по нему сосредоточенной нагрузки. В сб.: Динамика машин и рабочих процессов. Челябинск, 1983.

10. В.А.Бук, А.М.Захезин; В.И.Михайлов, Э.И.Шиферштейн. Виброзащитная подвеска кресла оператора мостового крана. - В сб.: Тезисы Всесоюзной конференции по вибрационной технике. Тбилиси, 1984, с. 66.

11. В.А.Бук, А.М.Захезин, В.И.Михайлов, В.И.Бер, В.И.Гостлев. Оценка виброактивности грейферного перегружателя. - В сб.: Тезисы Всесоюзной конференции по вибрационной технике. - Тбилиси, 1984, с. 68.

12. Исследование динамики металлургического оборудования с целью снижения шума и вибрации (ЧПИ); Рук. раб.: А.М.Захезин, № г.р. 79026782; инв. № Е754951. - Челябинск, 1979. - 147 с.

13. Исследование современных и разработка новых методов статистической динамики при расчете мостовых кранов (ЧПИ); Рук. раб.: А.М.Захезин, № г.р. 79074781, инв. № Е799600. - Челябинск, 1979, - 90 с.

14. Создание инженерной методики определения динамических характеристик мостовых кранов, оценка вибрации и разработка рекомендаций по их снижению (ЧПИ); Рук. раб.: А.М.Захезин, № г.р. 79074781; инв. № 02830079227. - Челябинск, 1980. - 226 с.

15. Разработка средств виброзащиты крановщиков металлургических кранов действующего производства (ЧПИ); Рук. раб.: А.М.Захезин, № г.р. 01827022824; инв. № 02830079456. - Челябинск, 1983, - 103 с.

16. Исследование вибраций в кабинах крановщиков мостовых кранов с целью разработки мероприятий по их виброизоляции (ЧПИ); Рук. раб.: А.М.Захезин, № г.р. 01840000154; инв. № 02840036884. - Челябинск, 1983. - 78 с.

Подписано к печати 27.01.86 . ФБ02513. Формат 60x90 I/16.

Печ. л. I. Уч.-изд.л. I. Тираж 100 экз. Заказ 70/116.

УОП ЧПИ. 454044, г. Челябинск, пр.им. В.И. Ленина, 76.