

На правах рукописи

МАКОВЕЕВА Елена Владимировна

Влияние состояния подкрановых путей на нагруженность ходовой тележки лесопогрузчика типа КБ

05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Архангельск – 2011

Работа выполнена в «Северном (Арктическом) федеральном университете».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Д.Г. Мясищев

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
А.С. Торопов

кандидат технических наук, доцент
В.М. Дербин

Ведущая организация: Экспертная организация
ОАО «ПО»Севмаш»,
164500 г.Северодвинск, Архангельское
шоссе 58

Защита диссертации состоится 1 марта 2011 г. в 13⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.008.01 при Северном (Арктическом) федеральном университете по адресу: 163002, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, 17, главный корпус, ауд. 1228.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Северного (Арктического) федерального университета.

Автореферат разослан « » января 2011 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,

кандидат технических наук, доцент



Земцовский А.Е.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время на промышленных предприятиях многих отраслей промышленности, существует проблема обеспечения безопасной эксплуатации технологического оборудования. Особенно остро данная проблема характерна для лесного комплекса. Большинство единиц оборудования давно выработали нормативный срок службы, в том числе и такое оборудование повышенной опасности, как краны – лесопогрузчики.

Для обеспечения безопасной эксплуатации кранов-лесопогрузчиков выполняется техническое освидетельствование, с целью продления срока службы безопасной эксплуатации. Краны-лесопогрузчики эксплуатируются в условиях циклических нагрузжений и воздействия окружающей среды, что приводит к коррозии, постепенному ухудшению прочностных характеристик материала и появлению развивающихся трещин в наиболее нагруженных зонах крановых металлоконструкций. В связи с этим актуальными признаются исследования по повышению эксплуатационной эффективности лесопогрузчиков типа КБ, создание технологических систем, обеспечивающих своевременное и качественное выполнение работ по техническому обслуживанию техники.

Цель исследований - является выявление зависимости влияния состояния подкрановых путей на нагруженность ходовой тележки лесопогрузчика типа КБ. Для решения поставленной цели, разрабатывались следующие вопросы:

1. обзор литературы по теме исследований;
2. разработка теоретической модели на основе операционных исчислений для нахождения передаточной функции;
3. определение передаточной функции в виде амплитудно – частотной и импульсной характеристик динамической системы «микропрофиль подкранового пути – нагруженность ходовой тележки» лесопогрузчика типа КБ;
4. проведение экспериментальных исследований, выявление зависимости влияния состояния подкрановых путей на металлоконструкцию ходовой тележки лесопогрузчика типа КБ.

Объектом исследования является кран башенный передвижной (лесопогрузчик) КБ – 403, 1987 г. выпуска. Предприятие – изготовитель – ПО «Завод «Красное Сормово», г. Горький. Максимальная грузоподъемность – 8 тонн. Максимальный вылет – 30 м, база – 6 м, скорость подъема – 22,5 м/мин, скорость передвижения крана – 18,2 м/мин, материал ходовой рамы – 09Г2С - 12. Группа режима работы механизмов: главного подъема – лег-

кий (4К); подъема стрелы – легкий (4К); передвижения крана – легкий (4К); поворота – легкий (4К). Шпалы – $l=1,35$ м, рельсы – Р – 65.

Предметом исследования является процесс изменения напряжений, возникающих в ходовой тележке лесопогрузчика типа КБ, при движении крана по неровностям подкранового пути.

Методологической основой диссертационного исследования является комплекс методов анализа свойств и возможностей совершенствования сложных многофункциональных систем: системный и экспертный анализ, математическое, имитационное и компьютерное моделирование, теория эксперимента, информационные технологии.

Научная новизна состоит в комплексном изучении процесса возникновения напряжений в ходовой тележке лесопогрузчика типа КБ при движении крана по неровностям подкранового пути. Впервые поставлена задача исследования влияния состояния подкрановых путей на нагруженность ходовой тележки лесопогрузчика. Имеется выход на вопросы прогнозирования и повышения надежности лесопогрузчиков типа КБ.

Практическая значимость. Заключается в возможности ее использования специалистами организаций, проводящих техническую диагностику и техническое освидетельствование оборудования данного типа, применяемого на различных производствах.

Апробация и реализация результатов работы. Основные результаты исследования, сформулированные в диссертации, опубликованы, апробированы в установленном порядке и доложены на научно-практической конференции, посвященной 40 – летию Севмашвуза (Северодвинск, июнь 2005 г.); XXXV Ломоносовских чтениях (Архангельск, февраль 2007 г.); научно – практической конференции в Архангельской области ГРЦАС и Севмашвуза (Северодвинск, ноябрь 2007 г.); научно – практической конференции, посвященной 80 – летию АГТУ (ноябрь 2009 г.); Девятой международной научно – практической конференции (Санкт – Петербург, апрель 2010 г.).

Основные научные положения и результаты исследования, выносимые на защиту:

1. Результаты теоретических исследований по выбору и обоснованию модели для нахождения передаточной функции.
2. Динамическая модель системы «микропрофиль подкрановых путей – нагруженность ходовой тележки» лесопогрузчика типа КБ.
3. Методика экспериментальных исследований нагруженности ходовой тележки крана типа КБ и подкрановых путей.
4. Результаты программного моделирования нагруженности ходовой тележки лесопогрузчика типа КБ.

5. Результаты экспериментальных исследований по установлению влияния состояния подкрановых путей на нагруженность ходовой тележки лесопогрузчика типа КБ.

Структура диссертации. Диссертация изложена на 111 страницах, состоит из введения, 4 разделов, заключения, приложения. Список используемых источников содержит 107 наименования. Текст иллюстрирован 26 рисунками и 2 таблицами.

Работа выполнена на кафедре транспортных машин Северного (Арктического) федерального университета в процессе обучения соискателя в аспирантуре очной формы (2007-2010). *Исследования поддержаны стипендией главы Администрации Архангельской области.*

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлена общая характеристика проблемы, ее актуальность.

РАЗДЕЛ 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лесопромышленный комплекс является одним из важнейших секторов экономики России. Он обеспечивает своей продукцией практически все отрасли народного хозяйства: строительство, машиностроение, горнодобывающие производства, сельское хозяйство, торговлю (тара и упаковка). В лесной и деревообрабатывающей промышленности велик объем погрузочно-разгрузочных и штабелевочных работ на складах лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятий, на лесоперевалочных базах и в лесных портах. Для выполнения этих работ применяют различные виды кранов, оснащенные крюками для строповки, зацепки лесоматериалов, грейферами различных типов и специальными устройствами для пакетов лесоматериалов и пиломатериалов.

Выбор типа крана и организационных форм его применения определяется конкретными производственными условиями: характером древесины, видом склада, составом операции по ее переработке, машинами и оборудованием, занятыми на смежных операциях и т.д. Для выполнения технологических операций с лесоматериалами, выполняемых на нижних складах, применяют лесопогрузчики.

Лесопогрузчик или лесопогрузочная машина предназначена для погрузочно-разгрузочных работ и лесоматериалов на лесоскладах лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятий, на лесовозный подвижной состав, ж/д ширококолейный подвижной состав, а также в баржи и суда.

В Архангельской области на предприятиях лесной и деревообрабатывающей промышленности на 2008 год на нижних складах лесопромышленного комплекса кранов типа КБ насчитывалось до 73 единиц.

Кран является составной частью комплекса машин, обслуживающих лесозаготовительные или деревообрабатывающие предприятия. Поэтому их эффективное использование зависит от четкого взаимодействия всех звеньев технологического процесса. На штабелевке – погрузке и других лесоскладских операциях используют краны - лесопогрузчики башенного типа КБ. Краны могут работать как с крюком, так и с грейферной подвеской.

Краны-лесопогрузчики типа КБ используются на наземных рельсовых крановых путях. Рельсовый путь башенного крана с давлением на ходовое колесо до 280 кН включительно выполняется и содержится в соот-

ветствии с Инструкцией по устройству, эксплуатации и перебазированию подкрановых путей для строительных башенных кранов. Для башенных кранов с давлением на ходовое колесо свыше 280 кН крановые пути изготавливаются по указаниям, изложенным в паспорте крана и инструкции по его монтажу и эксплуатации.

В первом разделе также приведен анализ научных исследований лесопогрузчиков типа КБ.

Исследованиями лесопогрузчиков типа КБ занимаются различные институты, исследовательские центры и организации. Главным вопросом являлось техническое состояние технологического оборудования лесопогрузчиков типа КБ. В том числе, актуальная в настоящее время, проблема остаточного ресурса грузоподъемных кранов. Разные институты и экспертные организации предлагают свои часто очень противоречивые методики с совершенно разными подходами и критериями.

В то же время можно отметить, что недостаточно изучен вопрос комплексного исследования систем «кран – подкрановый рельсовый путь». Как правило, техническое обследование лесопогрузчиков типа КБ и подкрановых рельсовых путей проводится по отдельности. При этом не учитывается влияние состояния подкрановых путей состояние крана, в частности на нагруженность ходовой тележки лесопогрузчика.

Определены цель работы и задачи исследования.

РАЗДЕЛ 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЫБОРУ И ОБОСНОВАНИЮ МОДЕЛИ ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ.

Расчеты башенных и других грузоподъемных кранов имеют общую теоретическую основу. В расчетах необходимо учитывать срок службы, надежность, режим и условия окружающей среды. Краны могут представлять опасность для обслуживающего персонала и лиц, находящихся в зоне их действия. Поэтому основные положения расчета, показатели режима и условий окружающей среды для кранов у нас в стране и за рубежом регламентируются государственным законодательством и стандартизируют.

В создании современных методов расчета грузоподъемных кранов ведущая роль принадлежит ученым: М.Л.Александрову, Д.П.Волкову, П.Й.Богуславскому, А.А.Зайнсону, М.М.Гохбергу, А.Й.Дукельскому, С.А.Казаку, Б.С.Ковальскому, М.С.Комарову, А.Г. Лангу, П.З.Петухову, В.Ф.Сиротскому и другим. За рубежом большой вклад в развитие методов расчета внесли: Ф.Зедльмайер, Ф. Курт, А. Луттерот, Р. Нойгебауэр, М. Шеффлер и другие.

В качестве методологической основы теоретического исследования была выбрана статистическая динамика и вариационное исчисление.

Статистической динамикой систем называется раздел теории управления, базирующийся на теории вероятности и, в частности, на ее разделе теории случайных процессов. Раздел изучает динамику процесса системы в статической схеме, т. е. при случайных сигналах и динамических свойствах системы.

Вариационное исчисление — это раздел функционального анализа, в котором изучаются вариации функционалов. Самая типичная задача вариационного исчисления состоит в том, чтобы найти функцию, на которой функционал достигает экстремального значения.

Динамические нагрузки в ряде случаев являются основными. Наиболее характерными нагрузками для кранов являются ветровые, сейсмические, весовые нагрузки, инерционные и нагрузки от состояния подкрановых путей. В настоящее время общепризнано, что корректные теоретические исследования и разработка практических методов расчета конструкций на эти нагрузки должны основываться на вероятностных методах расчета, в основе которых лежит теория случайных процессов. Вероятностные методы динамических расчетов позволяют правильно определить действующие нагрузки, оценить прочность, долговечность и надежность конструкций.

Проблемы механики, связанные с взаимодействием крановой системы с рельсовым путем, в полной мере проявляются в тех случаях, когда передвижение самого крана является не эпизодическим движением, а когда это движение является технологическим и повторяющимся, как правило, каждый рабочий цикл. Таким образом, движение и работу погрузчика можно описать динамической моделью.

Динамическая модель - теоретическая конструкция (модель), описывающая изменение (динамику) состояний объекта. Динамическая модель может включать в себя описание этапов или диаграмму состояний подсистем, имеет математическое выражение и используется главным образом в науках, имеющих дело с динамическими системами.

Для описания изменений, которые происходят с лесопогрузчиком типа КБ и выявить связь во время работы системы «микропрофиль подкрановых путей – нагруженность ходовой тележки» лесопогрузчика типа КБ, была построена динамическая модель данной системы.

Условия построения динамической модели:

1. металлоконструкция крана принимается жесткой;
2. металлоконструкция крана не деформируется; рельсовый путь не деформируется;
3. скорость движения крана постоянна;
4. ветровой нагрузкой пренебрегаем.

Схема динамической модели рассматриваемой системы представлена на рис. 1.

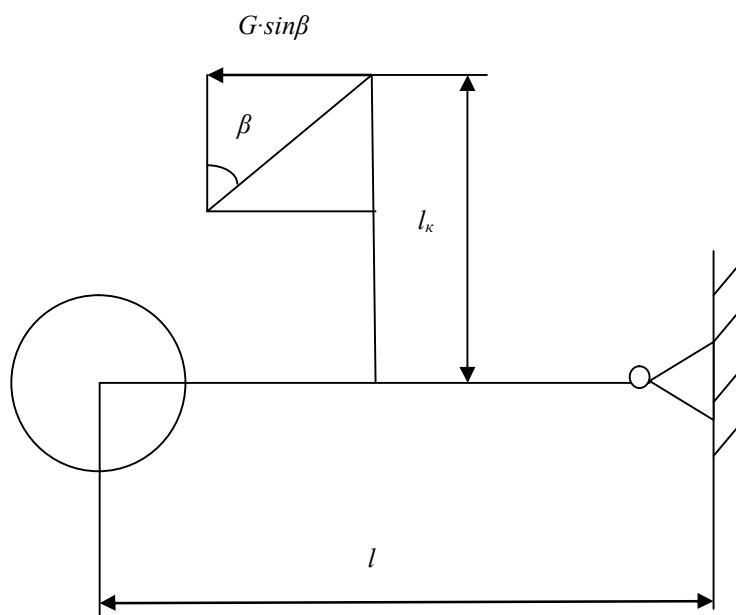


Рис. 1 Динамическая модель на основе операционного исчисления для нахождения передаточной функции

где

β – текущий угол наклона образующей микропрофиля пути,

l – расстояние между колесами тележки лесопогрузчика типа КБ,

l_k – расстояние до центра тяжести лесопогрузчика с грузом типа КБ.

Полученную динамическую модель, можно описать следующими уравнениями:

$$, \quad (1)$$

где

$\Delta\sigma_{\text{верт}}(t)$ – вариация вертикальных напряжений при движении лесопогрузчика, МПа;

σ_0 – математическое ожидание вертикальных напряжений, МПа;

Π – постоянная конструктивная величина для лесопогрузчика типа КБ, $1/\text{мм}^2$;

G_k – вес системы «кран + груз», Н;

$\Delta\beta(t)$ – вариация по углу наклона образующей микропрофиля пути при движении лесопогрузчика.

$$\Delta x(t) = x_0 + V \cdot t \cdot \sin(\Delta\beta(t)), \quad (2)$$

где

$\Delta x(t)$ – вариация вертикальной координаты микропрофиля пути, мм;

x_0 – математическое ожидание вертикальной координаты микропрофиля пути, мм;

V – скорость движения крана, м/с;

t – время движения крана, с.

Применив преобразование по Лапласу уравнения (1) и (2) примут вид (3) и (4).

$$x(s) = x_0 + V \cdot \frac{1}{s^2} \cdot \frac{\beta_0}{s^2 + \beta_0^2}, \quad (4)$$

Используя известный подход, предложенный математиками Винером и Хопфом, передаточная функция в динамической системе «микропрофиль пути – вертикальные напряжения» определяется так:

$$(5)$$

где s – лапласова переменная.

В общем виде равна:

$$s = s_0 + i \cdot \omega \quad (6)$$

где $i \cdot \omega$ – комплексная частота,

$s_0 = 0$, в связи с устойчивостью системы.

Поэтому можно перейти от комплексной переменной s к действительной частоте разложения ω для вычисления квадрата модуля передаточной функции.

$$K = \Pi \cdot \frac{l_k}{l} \cdot G, \text{ МПа} \quad (7),$$

где

$$G = \frac{G_k}{v} \quad (8),$$

где G – вертикальная нагрузка на 1 опору ходовой системы лесопогрузчика, Н, G_k – учитывает α – угол наклона пути. Влиянием α пренебрегаем, т.к. его значение весьма мало ($\sin \alpha = 78/25000 = 0,00312$).

После преобразований передаточная функция исследованной системы получена в виде (9):

$$W(x) = \frac{\omega^2(\sigma_0 \beta_0^2 + K \cdot \beta_0 - \sigma_0 \cdot \omega^2)}{x_0 \omega^2(\beta_0^2 - \omega^2) - V \beta_0}, \quad \frac{\text{МПа}}{\text{мм}} \quad (9)$$

А в результате квадрат модуля передаточной функции системы равен:

$$(10)$$

РАЗДЕЛ 3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАГРУЖЕННОСТИ ХОДОВОЙ ТЕЛЕЖКИ КРАНА ТИПА КБ И ПОДКРАНОВЫХ ПУТЕЙ

Для исследования нагруженного и деформированного состояния конструкции ходовой тележки лесопогрузчика типа КБ использовался метод тензометрирования – один из основных экспериментальных методов.

Этот метод используется в широком диапазоне деформаций, температур и потоков ионизирующего излучения при действии на объекты статических, динамических нагрузок.

При проведении эксперимента, а в частности при измерении высотного положения головки рельса относительно горизонтальной плоскости использовался нивелир №3Т2КА (зав. № 19285, свидетельство о поверке 067198 от 29.03.07).

Для автоматизации сбора и измерений сигналов с тензодатчиков использовалась микропроцессорная многоканальная тензометрическая система ММТС – 64.01.

В июле 2007 года был проведен эксперимент по выявлению зависимости между состоянием подкрановых путей и нагруженности ходовой тележки крана типа КБ на территории цеха 48 ОАО «ПО «Севмаш» в г. Северодвинск Архангельской области.

Целью проведенной работы являлось определение корреляционных связей нагруженности ходовой тележки погрузчика типа КБ и микропрофиля подкрановых путей с помощью тензометрирования.

Для достижения этой цели была разработана программа исследовательских испытаний:

- был выбран объект;
- определен объем испытаний;
- был назначен порядок их проведения;
- произведена приемка оборудования;
- выбран испытательный участок (путь);
- определены последовательность и порядок обработки и анализа результатов;

- принят метод (способ) их оформления и оценки.

После разработки программы была обоснована методика, в которой:

- произведен анализ технической документации - паспорт крана, акты предыдущих обследований, вахтенный журнал с целью выявления истории повреждений и ремонтов крана, а также справки о характере работы крана и фактической производительности технологических установок;
- определено количество отсчетов;
- определены зоны закрепления тензометрических датчиков;
- проведена зачистка металлоконструкции ходовой тележки под закрепление тензометрических датчиков;
- произведен монтаж датчиков;
- разбивка датчиков по группам, присоединение к ним электрических проводов и подключение к измерительной системе (рис. 4);
- измерение подкрановых путей (отклонения от прямолинейности в плане и ширине колеи, а также положение головки рельса относи-

тельно горизонтальной плоскости). Длина подкранового пути составил 25 м;

- проведение измерений при движении крана с грузом. Была проведена имитация груза лесной промышленности весом 3700 кг. По паспорту крана максимальная грузоподъемность 8 т. При последнем техническом освидетельствовании от 17.12.2006 г. грузоподъемность была снижена до 5 т. Скорость передвижения крана была 18,2 м/мин. Подъем груза производился при вылете стрелы 20 м (что составляет 2/3 от максимального вылета при горизонтальной стреле). Стрела была направлена вдоль подкрановых путей, по ходу движения крана, т.к. в данном направлении стрелы возникали максимальные вертикальные напряжения при проведении пробных исследовательских заездов.



Рис. 2 Разбивка датчиков по группам.

Проведенные измерения показывают, что нагрузка, возникающая в металлоконструкции ходовой тележки, значительно изменяется при движении крана по путям. А также состояние подкрановых путей определяет нагруженность ходовых элементов лесопогрузчика, их ресурс и эксплуатационные затраты.

По результатам экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

- проведенные измерения показывают, что нагрузка, возникающая в металлоконструкции ходовой тележки, значительно изменяется при движении крана по путям.

состояние подкрановых путей определяет нагруженность ходовых элементов лесопогрузчика, их ресурс и эксплуатационные затраты.

РАЗДЕЛ 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.

По результатам исследований намеченных параметров были получены выборки. По известным методикам они были обработаны, в частности после обработки данных, был построен график высотного положения головки рельса относительно горизонта (рис. 3).

Для проверки справедливости предположений о законе распределения случайной величины используем наиболее распространенный и наглядный способ, в котором в качестве критерия используется «критерий χ^2 » Пирсона.

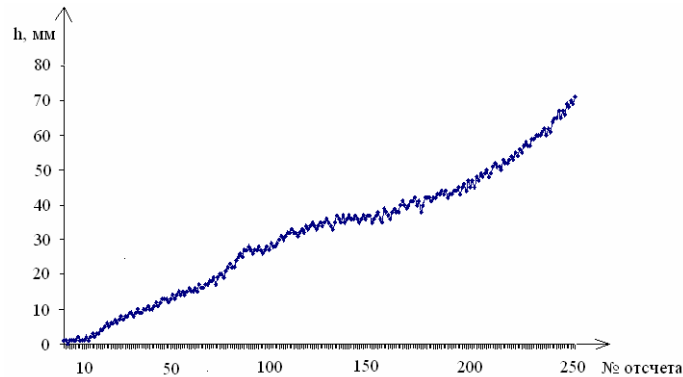


Рис. 3 График высотного положения головки рельса относительно линии тренда насыпи

Идея метода – определение степени расхождения соответствующих частот n_i и $\chi_{набл}^2$; чем больше это расхождение, тем больше значение:

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(n_i - n_i')^2}{n_i'}$$

При этом объемы выборок должны быть не меньше 50 и необходимо условие равенства сумм частот, т.е.

$$\sum_i n_i = \sum_i n_i'$$

Если $\chi_{набл}^2 < \chi_{кр}^2$ – нет оснований отвергнуть гипотезу о нормальном распределении генеральной совокупности. Другими словами, эмпирические и теоретические частоты различаются незначимо (случайно). Если $\chi_{набл}^2 > \chi_{кр}^2$ – гипотезу отвергают. Другими словами, эмпирические и теоретические частоты различаются значимо.

Используя критерий Пирсона, были определены $\chi_{набл1}^2 = 6,3$ и $\chi_{кр1}^2 = 14,1$ для согласования гипотезы о нормальном распределении совокупности значений h отклонений положения головки рельса относительно линии тренда насыпи. Из чего можно сделать вывод $\chi_{набл}^2 < \chi_{кр}^2$, следовательно характер распределения является нормальным.

Аналогично были определены $\chi_{набл2}^2 = 7,71$ и $\chi_{кр2}^2 = 15,5$ для согласования гипотезы о нормальном распределении совокупности значений вертикальных напряжений σ_2 . Из чего можно сделать вывод $\chi_{набл}^2 < \chi_{кр}^2$, следовательно характер распределения является нормальным.

В результате получаем функцию распределения для положения головки рельса относительно линии тренда насыпи. Общий вид функции:

$$f(x) = \frac{1}{3,007\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x+0,302)^2}{2 \cdot 3,007^2}} \quad (11)$$

При этом математическое ожидание составило 0,302 мм, среднее квадратичное отклонение 3,007 мм.

График функции распределения положения головки рельса относительно линии тренда насыпи представлен на рис. 4.

Анализ полученных значений вертикальных и горизонтальных напряжений показал, что различие между этими значениями напряжений незначительно. В виду того, что максимальное воздействие на нагруженность ходовой тележки лесопогрузчика оказывают вертикальные напряжения, то было принято решение влиянием горизонтальных напряжений пренебречь.

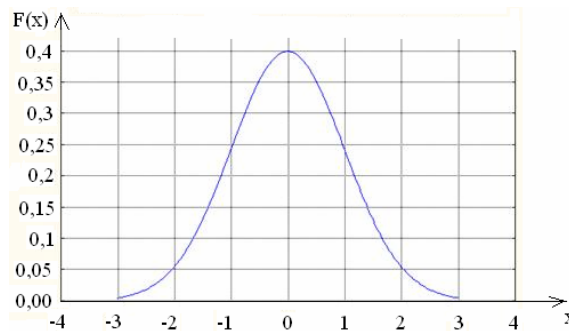


Рис. 4 Функция распределения положения головки рельса относительно линии тренда насыпи

На рис. 5 представлен график вертикальных напряжений σ_2 .

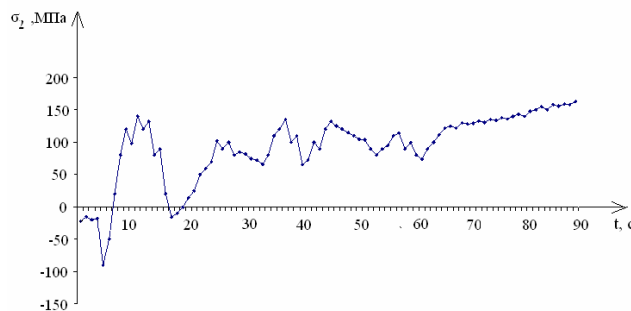


Рис. 5 График вертикальных напряжений σ_2

Используя критерий Пирсона определяем функция распределения вертикальных напряжений.

Общий вид функции распределения вертикальных напряжений:

$$f(x) = \frac{1}{0,117\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-0,76065)^2}{2 \cdot 0,117^2}} \quad (12)$$

В данном случае математическое ожидание составило $0,76065 \cdot 10^2 = 76,065$ МПа, среднее квадратичное отклонение $0,117 \cdot 10^2 = 11,7$ МПа.

Аналогично построению графика функции распределения высотного положения головки рельса относительно линии тренда насыпи, был построен график функции распределения вертикальных напряжений, который представлен на рис. 6.

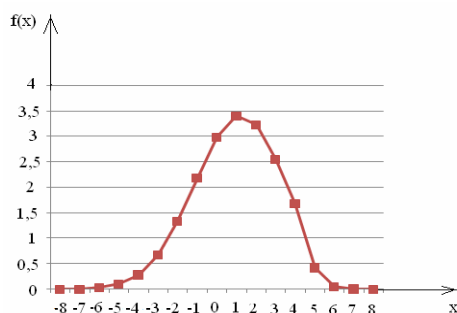


Рис. 6 Функция распределения вертикальных напряжений

Для определения линейной зависимости между изменениями положения головки рельса относительно горизонта и вертикальными напряжениями, возникающими в ходовой тележке лесопогрузчика, был определен коэффициент корреляции:

$$R_{X,Y} = \frac{35,182}{\sqrt{3,007^2 \cdot 11,7^2}} = 1 \quad (13),$$

где 35,182 – ковариация кривизны подкранового пути относительно горизонта и вертикальных напряжений,

3,007 и 11,7 – соответственно среднеквадратичные отклонения пути и вертикальных напряжений.

$R_{X,Y} = 1$, следовательно кривизна подкранового пути относительно горизонта и вертикальные напряжения, которые возникают в ходовой тележке крана линейно зависимы между собой.

По проведенным исследованиям можно сделать следующие выводы:

- характер распределений является нормальным;
- система линейна;
- возможно применение статистической идентификации передаточной функции.

Для оценки степени зависимости состояния подкрановых путей и нагруженности ходовой тележки лесопогрузчика используем корреляционный анализ.

По имеющимся выборкам строим корреляционные функции пути и вертикальных напряжений.

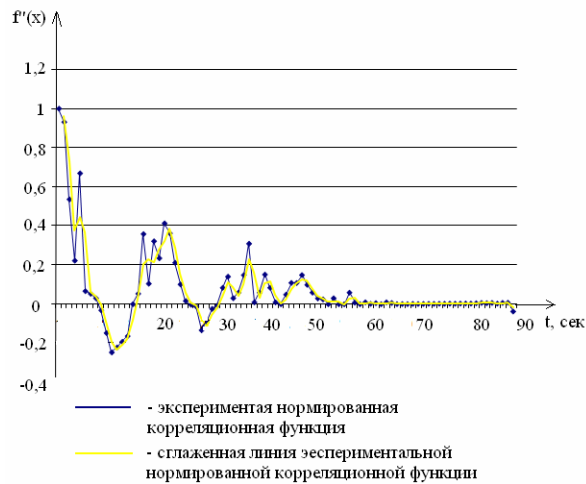


Рис. 7 Нормированная корреляционная функция положения головки рельса относительно линии тренда насыпи

Получены аппроксимации пути и вертикальных напряжений.

Аппроксимация пути:

$$V_{\text{пути}} = e^{-0,08|t|} \cdot \cos 0,263t \quad (14)$$

где коэффициенты a и b соответственно равны 0,08 и 0,263.

Аппроксимация вертикальных напряжений:

$$V_{\text{верт.напр.}} = e^{-0,126|t|} \cdot \cos 0,258t \quad (15)$$

где коэффициенты a_0 и b_0 соответственно равны 0,126 и 0,258.



Рис. 8 Нормированная корреляционная функция вертикальных напряжений.

Для упрощения исследования числовых характеристик и качественных свойств положения головки рельса относительно линии тренда насыпи и вертикальных напряжений, возникающих в ходовой тележке лесопогружчика, используем аппроксимацию.

Графики аппроксимаций корреляционных функций пути и вертикальных напряжений представлены на рис. 9-10.

По известным методикам рассчитаны и построены графики спектральных плотностей пути и вертикальных напряжений.

Спектральная плотность пути:
(16)

где ω – текущее значение по частоте,
 $a = 0,08$ и $b = 0,263$.

Спектральная плотность вертикальных напряжений:
(17)

$a_0 = 0,126$ и $b_0 = 0,258$.

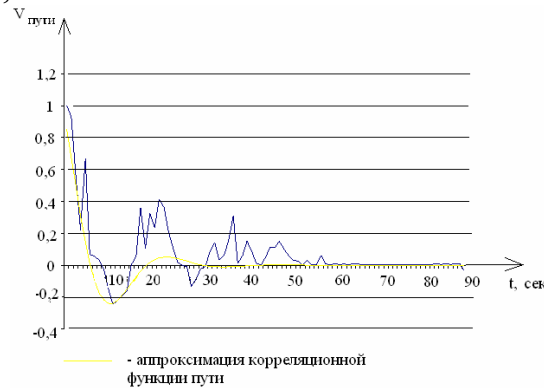


Рис. 9 Аппроксимация корреляционной функции пути

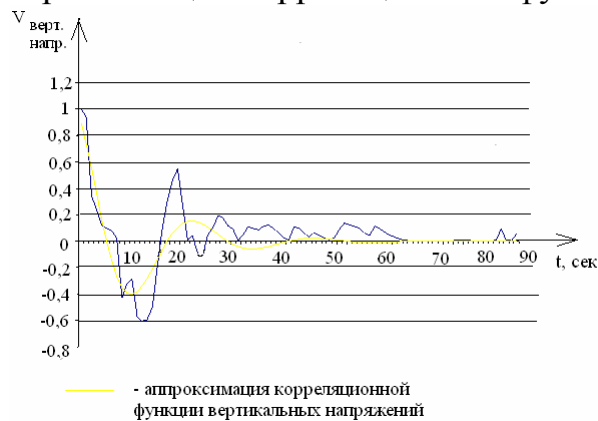


Рис. 10 Аппроксимация корреляционной функции вертикальных напряжений

Анализ результатов всех статистических исследований, осуществленных и в данном подразделе, и ранее, дает возможность сделать важный вывод. То, что все исследованные входные и выходные процессы описываются нормальным законом распределения, позволяет считать их стационарными и эргодическими. Все системы, которые эти процессы осуществляют, следует рассматривать как линейные с постоянными параметрами. Значит допустимо использовать корреляционную теорию случайных процессов. Основным положением этой теории является то, что она оперирует с математическими ожиданиями процессов и интегралами импульсных характеристик переходных функций динамических систем. При этом последние являются постоянными величинами. В общем виде это интерпретируется выражением:

$$m_y = m_x \int_0^\infty h(\tau) d\tau \quad (18)$$

или

$$m_y = G(0) \cdot m_x \quad (19),$$

где $G(0) = \int_0^{\infty} h(\tau) d\tau$ - постоянная для данной системы величина – интеграл импульсной характеристики переходной функции системы;

m_x – математическое ожидание процесса на входе системы;

m_y – математическое ожидание процесса на выходе.

В нашем случае:

$$G(\omega) = \frac{\sigma_0}{x_0} \quad (20),$$

т.е.

$$G(\omega) = \frac{76,065}{0,302} = 251,87 \frac{\text{МПа}}{\text{мм}}$$

Данная импульсная характеристика позволяет определить математическое ожидание вертикальных напряжений в исследуемой зоне, имея значение математического ожидания микропрофиля рельсового пути для данного исследуемого лесопогрузчика типа КБ.

На рис. 11 – 12 изображены графики нормированных спектральных плотностей пути и вертикальных напряжений.

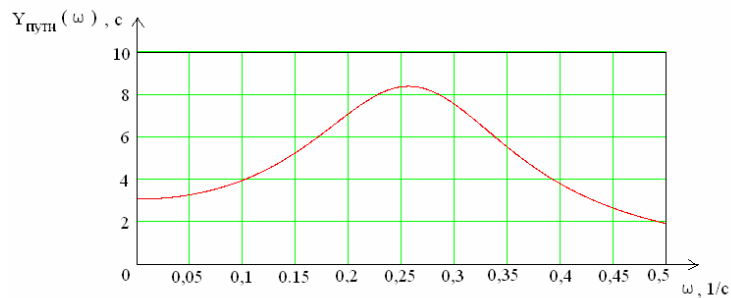


Рис. 11 График нормированной спектральной плотности пути

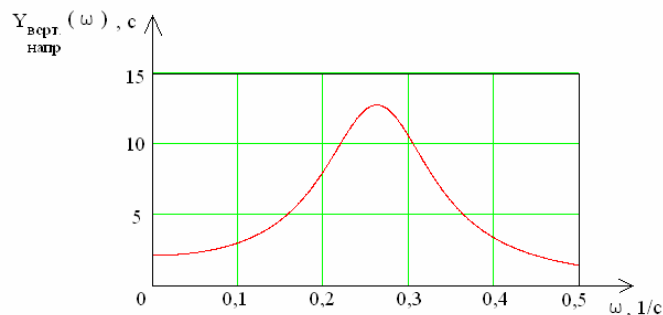


Рис. 12 График нормированной спектральной плотности вертикальных напряжений

В итоге получена экспериментальная нормированная амплитудно – частотная характеристика процесса:

$$(21)$$

График экспериментальной нормированной АЧХ представлен на рис. 13.

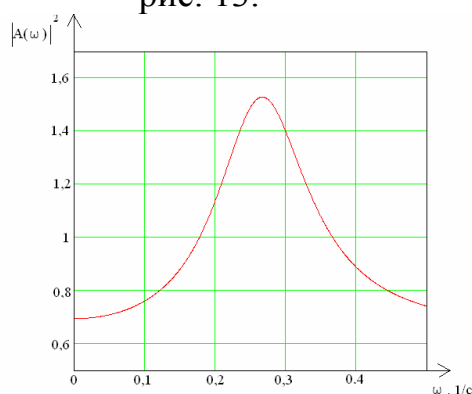


Рис. 13 Экспериментальная нормированная АЧХ

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- динамическая система «микропрофиль подкрановых путей – максимальных вертикальных напряжений ходовой тележки» крана типа КБ-572 является линейной в динамическом смысле,
- максимумы спектральных плотностей совпадают по частоте процесса, которая равна $0,25 \text{ c}^{-1}$,
- получена передаточная функция данной динамической системы в виде квадрата АЧХ,
- характеристика АЧХ позволяет для других характеристик микропрофиля пути определить вероятностные характеристики нагруженности ходовой тележки данного погрузчика при прочих равных условиях,
- данная статистическая идентификация будет использована при проверке корректности теоретической модели передаточной функции системы «микропрофиль подкрановых путей – максимальных вертикальных напряжений ходовой тележки» крана типа КБ-572.

Повышение надежности машин и их долговечности является важнейшим фактором, определяющим рост конкурентоспособности изделий, связано с достоверным определением «опасных» мест конструкции.

Наиболее эффективным широко используемым современным средством достижения поставленной цели является использование метода конечных элементов.

Сущность метода конечных элементов состоит в аппроксимации исследуемого тела некоторой моделью, которая представляет собой совокупность элементов с конечным числом степеней свободы. Эти элементы связаны только в узловых точках, куда прикладываются фиктивные силы, эквивалентные поверхностным напряжениям, распределенным по границам элементов. Параметры приведенной идеализированной системы определяются исходя из соответствующих вариационных решений.

Один из наиболее мощных коммерческих программных продуктов – это ANSYS. ANSYS известен на рынке уже более двадцати лет и является распространенным средством для научных и инженерных расчетов.

В результате моделирования нагруженности ходовой тележки лесопогрузчика в статике необходимо было определить постоянные составляющие теоретической передаточной функции: К и П. Для решения данной задачи использовалась бесплатная DEMO версия программного продукта ANSYS. От полной версии DEMO версия отличается ограничением в разбивке на конечные элементы. Это ограничение не влияет на моделирование геометрии ходовой тележки погрузчика типа КБ.

В данной схеме используются элементы типа “оболочка (*SHELL*)” с шестью степенями свободы.

В результате моделирования были получены значения напряжений, возникающих в ходовой тележке лесопогрузчика (рис. 14).

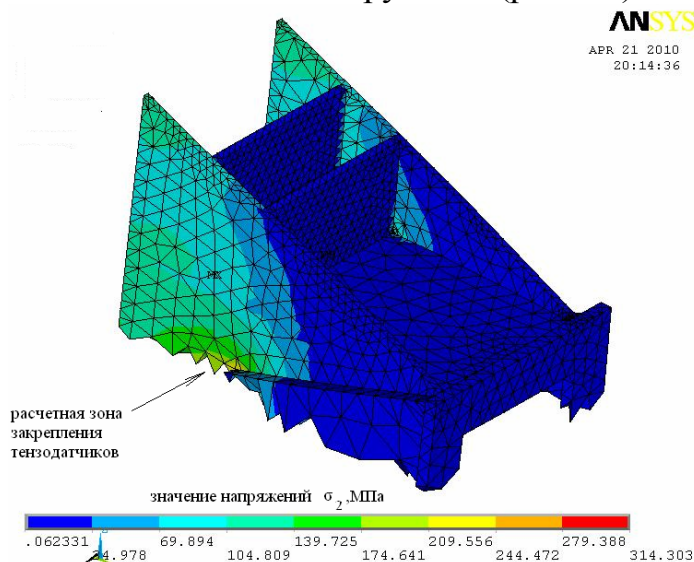


Рис. 14 Напряжения, возникающие в ходовой тележке лесопогрузчика.

Описание материала:

плотность материала $7.8 \cdot 10^3$ кг/м³;

модуль Юнга $2 \cdot 10^{11}$ Па;

коэффициент Пуассона = 0.3;

предел текучести по напряжениям = 0.06;

касательный модуль = 0.1.

По результатам проведенного моделирования можно сделать следующие выводы:

- максимальные значения напряжений, принимают в месте крепления тензодатчиков, по оси колеса. Это связано с воздействием нагрузки, передающейся от движения колеса по подкрановым путям на ходовую тележку лесопогрузчика;

- результаты моделирования нагружения крана в статике по программе ANSYS позволили определить постоянные составляющие теоретической модели: $K = 1570,875$ (7) и $\Pi = 0,00885$, в частности параметр Π используется в (7) для определения промежуточного коэффициента K по данной зависимости, т.к. данные коэффициенты являются конструктивными и не зависят от режима нагружения.

Для согласия теоретических исследований с экспериментальными необходимо провести сравнение между ними.

По имеющейся теоретической модели (1) – (9) был построен график ненормированной передаточной функции амплитудно – частотной характеристики.

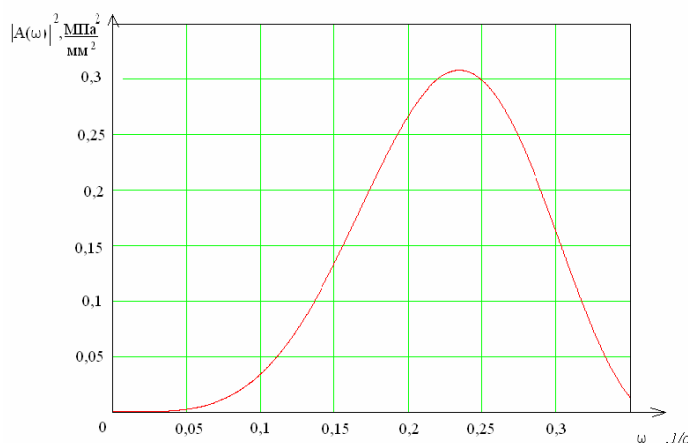


Рис. 15 Ненормированная теоретическая АЧХ

В результате обработки экспериментальных данных аналогично был построен график экспериментальной АЧХ.

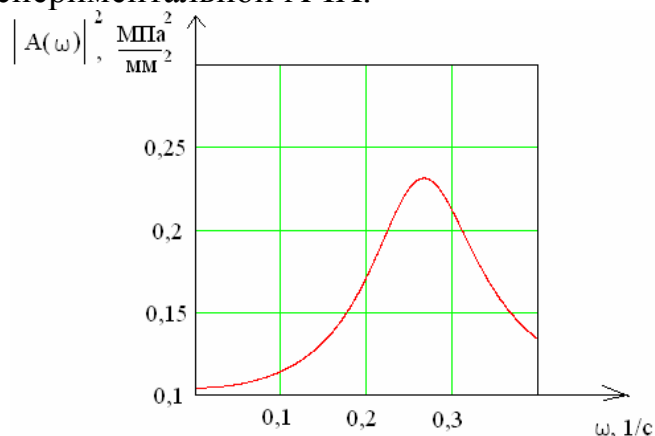


Рис. 16 Ненормированная экспериментальная АЧХ

По известным методикам рассчитаны и построены графики спектральных плотностей пути и вертикальных напряжений.

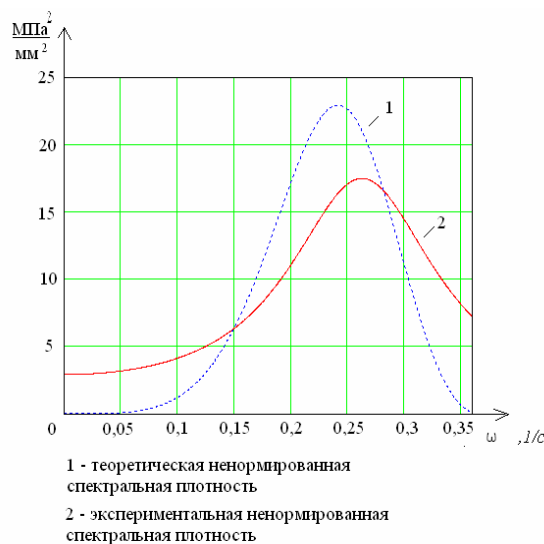


Рис. 17 График теоретической и экспериментальной ненормированных плотностей

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы:

- полученная динамическая модель «микропрофиль подкранового пути – нагруженность ходовой тележки» лесопогрузчика типа КБ адекватна;
- отличие площадей под кривыми графика теоретических и экспериментальных ненормированных спектральных плотностей не превышает 5 %, отличие по частоте между экспериментальной и теоретической ненормированными спектральными плотностями не превышает 8%;
- полученная теоретическая передаточная функция в виде квадрата АЧХ дает достоверные результаты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненного комплекса теоретических и экспериментальных исследований сделаны выводы и рекомендации:

1. Экспериментально доказано существование линейной корреляции микропрофиля пути и горизонтальных напряжений, коэффициент корреляции равен $R_{X,Y} = 1$.

2. Экспериментально доказана линейность рассматриваемой динамической системы «микропрофиль подкрановых путей – нагруженность ходовой тележки» лесопогрузчика типа КБ, т.к. входной и выходной процессы имеют нормальный закон распределения.

3. Доказана статистическая однородность исследуемых динамических процессов, а именно стационарность и эргодичность.

4. Имеется выход на вопросы прогнозирования и повышения надежности лесопогрузчиков типа КБ. Полученная информация позволит проводить освидетельствование технического состояния кранов типа КБ с

большой достоверностью, как в лесной промышленности, так и во всех остальных видах.

5. Полученная теоретическая модель передаточной функции динамической системы «микропрофиль подкрановых путей – нагруженность ходовой тележки» может использоваться по результатам сравнения для оценки нагруженности ходовой тележки лесопогрузчика типа КБ в различных условиях микропрофиля подкрановых путей при различных скоростях движения крана.

6. Сравнение теоретических и экспериментальных данных по спектральным плотностям по площади под кривыми не превышает 5%, т.е. по дисперсии процесса и 8% по частоте максимума.

7. Определена импульсная характеристика для оценки математического ожидания вертикальных напряжений в наиболее нагруженной зоне по математическому ожиданию высоты микропрофиля пути, она для данного типа оборудования составляет 251,87 МПа/мм.

8. Полученные результаты рекомендуются для организаций, осуществляющих контроль и проектирование аналогичного подъемно-транспортного оборудования лесного комплекса.

Основные результаты работы опубликованы:

1. Маковеева Е.В., Руденко А.В. Об определении остаточного ресурса металлоконструкций грузоподъемных машин, отработавших нормативный срок службы / Проблемы корабельного машиностроения. Сборник докладов. Выпуск 4. – Северодвинск. – Севмашвтуз, 2005. – С. 8 – 13.

2. Маковеева Е.В., Мясищев Д.Г. Проведение эксперимента для определения зависимости влияния состояния подкрановых путей на ходовую тележку лесопогрузчика. / XXXVI Ломоносовские чтения в Северодвинске. Сборник докладов. – Северодвинск: ГРЦАС; Севмашвтуз, 2008. – С. 63 – 67.

3. Маковеева Е.В., Мясищев Д.Г. Проведение эксперимента для определения зависимости влияния состояния подкрановых путей на ходовую тележку лесопогрузчика / Вестник Архангельского государственного технического университета. – Архангельск, 2007. – Вып.72. – С. 68 – 71.

4. Маковеева Е.В., Мясищев Д.Г. Статистическая идентификация динамической системы: «микропрофиль подкрановых путей – нагруженность ходовой тележки» крана типа КБ. / Высокие технологии, исследования, промышленность. Т.4: сборник трудов Девятой международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности», СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – С. 248 – 249.

5. Маковеева Е.В. Статистическая идентификация динамической системы: «микропрофиль подкрановых путей – нагруженность ходовой тележки» крана типа КБ. / Лесн. журнал – 2011 - № 1 – С. 12-16 (Изв. высш. учеб. заведений).

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями просим направлять по адресу: 163002, г. Архангельск, ул. наб. Северной Двины, д. 17, С(А)ФУ, ученому секретарю диссертационного совета Д212.008.01 Земцовскому А.Е.

Подписано в печать 26.01.2011. Формат 70x84/16.
Усл. печ. л. 1,00. Тираж 100 экз. Заказ №895.

Редакционно – издательский отдел Севмашвтуза
164500, г. Северодвинск, ул. Воронина, 6