

На правах рукописи

КИМ ЕН ЧЕР ТЕ ГЫНОВИЧ



ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ПОРТАЛЬНЫХ КРАНОВ ПРИ РАБОТЕ
МЕХАНИЗМА ИЗМЕНЕНИЯ ВЫЛЕТА И СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Специальность 05.05.04 – Дорожные, строительные и подъемно-транспортные
машины

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург 2004

Работа выполнена на кафедре "Транспортные и технологические системы" в ГОУ ВПО "Санкт-Петербургский государственный политехнический университет".

Научный руководитель:

доктор технических наук,
профессор Орлов Алексей Николаевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор Бардышев Олег Андреевич
кандидат технических наук,
Липатов Анатолий Степанович

Ведущая организация: ОАО "Техпорос", г. Санкт-Петербург

Защита состоится "16" сентября 2004г. в 16⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.24 в ГОУ ВПО "Санкт-Петербургский государственный политехнический университет"

по адресу:

195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29,
корп.1, ауд.41.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО "Санкт-Петербургский государственный политехнический университет".

Автореферат разослан "13" сентября 2004г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, профессор

В.Н. Смирнов

Общая характеристика работы и ее актуальность.

Актуальность работы. Современные порталные краны являются одним из основных средств механизации трудоемких погрузо-разгрузочных работ. Они применяются в портах, на судостроительных и судоремонтных заводах, на строительстве гидро- и теплоэлектростанций, а также на других объектах, связанных с перегрузкой сыпучих и тяжелых штучных грузов. Многообразие конструкций и основных узлов делают процесс проектирования этих кранов чрезвычайно трудоемким. Являясь неотъемлемой частью транспортно-перегрузочного потока, они оказывают существенное влияние на эффективность функционирования транспортных средств в целом.

Современное экономическое положение предприятий требует создания конкурентоспособных машин в кратчайшие сроки, когда часто нет ни времени, ни средств на создание и испытание опытного образца в реальных условиях эксплуатации, тем более в аварийных. Конструктор должен быть уверен, что произведенные им расчеты учитывают процессы, реально протекающие при работе кранов. Современные высокоскоростные и металлоемкие краны - достаточно дорогие и сложные объекты конструирования, в которых тщательный и полный динамический расчет позволяет вскрыть существенные резервы и одновременно избежать ошибок. Поэтому важным является разработка математических моделей кранов, их экспериментальная проверка и реализация на ЭВМ с целью получения требуемых показателей. Кроме того, надо иметь в виду, что процесс формирования модели для сложной динамической системы является трудоемкой задачей, которую каждый раз приходится решать заново, как только исследователь сталкивается с новой конструкцией. Таким образом, создание обобщенных моделей и на их основе алгоритмов, пригодных для широкого класса кранов и конструктивно - компоновочных исполнений элементов, схем подвеса груза увеличивает возможность решения практически важных задач.

Значение обобщенных моделей значительно возросло с проблемой создания систем автоматизированного проектирования грузоподъемных машин.

Современный уровень ЭВМ и программного обеспечения позволяет снять большинство ограничений, связанных с реализацией сложных математических моделей, при этом на первый план выходят численные эксперименты с использованием конечно-элементных вычислительных комплексов. Процесс формирования моделей довольно трудоемок и требует знания практически всех исходных данных, но на этапе поверочных расчетов он заменяет дорогостоящие натурные исследования. Таким образом, использование конечно-элементных моделей значительно упрощает и снижает стоимость процесса проверки полученных теоретических результатов.

Цель диссертационной работы - создание методик определения нагрузок на элементы порталных кранов при проектировочном и поверочном расчетах, исследование сейсмических воздействий на краны стрелового и мостового типов с использованием конечно-элементных программ.

Указанная цель определена следующие основные задачи исследования:

- Создание методики автоматизированного определения нагрузок на элементы системы изменения вылета при проектировочном расчете порталных кранов и ее проверка с использованием метода конечных элементов.
- Создание обобщенной математической модели системы изменения вылета порталных кранов и ее реализация на ЭВМ.
- Разработка и реализация на ЭВМ конечно-элементных моделей порталных и мостовых кранов с целью определения их сейсмостойкости.

На защиту выносятся следующие результаты, полученные автором самостоятельно и обладающие научной новизной:

1. Методика автоматизированного определения нагрузок на элементы системы изменения вылета порталных кранов при проектировочном расчете.
2. Обобщенная математическая модель системы изменения вылета порталных кранов при работе механизма изменения вылета.
3. Методика численного эксперимента по исследованию сейсмостойкости кранов стрелового и мостового типов.

Достоверность научных положений и выводов диссертационной работы обеспечивается накопленным опытом теоретических исследований и проектирования кранового оборудования, использованном апробированных в других отраслях машиностроения физических предположений и методов динамики механизмов, машин и конструкций, сопоставлением результатов расчета с данными, полученными с использованием конечно-элементных программных комплексов.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанные методики расчета и построения обобщенной математической модели порталных кранов ускоряют этапы проектировочного расчета, а анализ сейсмостойкости кранов позволяет установить их возможность применения в сейсмических районах.

Реализация результатов работы. Результаты работы использовались при проектировании третьей серии порталных кранов на АО "Подъемтрансмаш", а также министерством энергетики Р.Ф. в рамках программы "Исследование сейсмостойкости кранов мостового типа на АЭС".

Публикации. Основные положения исследования были изложены автором в восьми печатных работах. Принципиальные положения работы и ее отдельные аспекты обсуждались на заседаниях кафедры и на научных конференциях СПбГПУ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Основное содержание работы изложено на 120 страницах. Общий объем 188 страниц, 43 рисунка, 5 таблиц.

Содержание работы.

Во введении аргументируется актуальность темы, определяются цель и задачи исследования, основные научные положения, выносимые на защиту, и практическая ценность работы.

Первая глава посвящена изучению существующих методов расчета, рассмотрению задач динамического анализа и синтеза, а также концепции построения моделей грузоподъемных кранов.

Основной целью расчетов кранов является проверка работоспособности и эффективности отдельных элементов и машины в целом в процессе проектирования.

При рассмотрении существующих методов расчета выделяются следующие направления:

- метод расчета проектируемых машин по допускаемым напряжениям с использованием комбинаций квазидинамических нагрузок. Данная методика наиболее распространена в крановых конструкторских бюро. Эксплуатация крана в течение длительного времени учитывается группой режима работы крана.
- расчет по методу предельных состояний получил существенное развитие в работах по башенным кранам. Достоинством метода является вероятностная оценка нагрузок, но рассматриваются они как случайные величины, а не случайные процессы, и при сложном взаимодействии остаются без должного обоснования их вероятностные связи. Влияние окружающей среды учитывается при расчете так же, как и в методе допускаемых напряжений, а условия эксплуатации путем назначения коэффициентов перегрузки, которые определяются статическим методом для каждого вида нагрузки.
- в последнее время все чаще используется метод конечных элементов. Метод нашел свое применение в разных областях, он применяется как для расчета магнитных полей, так и для расчета динамического воздействия на конструкции. Это стало возможным в связи с

увеличением возможностей вычислительной техники, возросшего качества программного обеспечения. Расчет методом конечных элементов фактически заменил собой натурные исследования.

- обособленную группу составляют вероятностные методы расчета грузоподъемных машин, разработанные В.И. Брауде и его школой на основе исследований по порталным и плавающим кранам. Эти методы опираются на фундаментальные работы в области теории выбросов случайных процессов, общие исследования циклической прочности, разработок по статической динамике систем.

При рассмотрении вопроса содержания задач динамического анализа и синтеза следует отметить, что задачей динамического анализа является не только определение динамических нагрузок, но и выделение способов их уменьшения, например, с помощью введения различных виброзащитных устройств. В этом аспекте задачи динамического анализа и синтеза переплетаются.

В концепции построения моделей грузоподъемных кранов важно учитывать тот факт, что при любом исследовании или разработке (в том числе и при создании обобщенной модели) конечные результаты должны иметь по возможности более широкую область применения. В то же время, очевидно, что создать модель, удовлетворяющую всем требованиям сразу, нереально. Речь может идти лишь о частной (асимптотической) модели, удовлетворяющей части выдвинутых требований при определенных условиях работы.

Важнейшим требованием к модели является требование к ее адекватности изучаемому реальному объекту относительно выбранной системы его характеристик. Под этим понимается:

1. Правильное качественное описание объекта по выбранным характеристикам.
2. Правильное количественное описание объекта по выбранным характеристикам с некоторой разумной степенью точности.

Кран с грузом на гибком подвесе в общем случае представляет собой композиционно - конструктивное объединение ряда подсистем-двигателей, передаточных механизмов, металлической конструкции, грузозахватного устройства. Каждую из указанных подсистем можно разбить на более мелкие блоки, которые имеют различные конструктивные исполнения. Структура динамической модели может быть наглядно выражена с помощью динамического графа (схемы). Динамический граф грузоподъемных кранов приведен на рис.1.

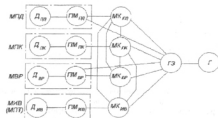


Рис.1. Динамический граф грузоподъемных кранов.

Таким образом, краны и их механизмы можно рассматривать как составные динамические системы одно- или многосвязные, в зависимости от числа рассматриваемых подсистем, структуры и характеристики связи.

Во второй главе рассматривается методика автоматизированного определения нагрузок на элементы системы изменения вылета при проекторочном расчете.

Определение нагрузок на элементы стреловой системы portalного крана особенно важно на этапе проекторочного расчета, когда нет достаточной информации для построения динамической модели крана с упругими звеньями. На данном этапе нагрузки определяются как квазидинамические с учетом коэффициентов динамичности. На рис.2 представлена динамическая модель системы изменения вылета порталных кранов в виде механизма с жесткими звеньями.



Рис. 2. Динамическая модель системы изменения вылета порталных кранов в виде механизма с жесткими звеньями.

Положительные направления нагрузок на элементы стреловой системы порталного крана в виде механизма с жесткими звеньями представлены на (рис.3.)

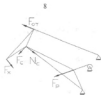


Рис. 3. Положительные направления нагрузок на элементы стреловой системы.

При определении нагрузок используются кинематические передаточные функции первого порядка (аналоги передаточных отношений), связывающие скорости (угловые и линейные) звеньев системы изменения вылета (СИВ) с угловой скоростью $\dot{\phi}_C$ стрелы. Кинематические передаточные функции рассмотрены для различных конструктивно-компоновочных исполнений стреловых и уравновешивающих устройств. Введение кинематических передаточных функций позволило реализовать концепцию составной динамической модели.

Усилия в оттяжке $F_{от}$:

$$F_{от} = \left\{ G \left[l_{1z} (\cos \alpha_z - \operatorname{tg} \alpha_z \sin \alpha_z) - L_z \sin(\alpha_z + \alpha_k + \varepsilon_1) / u_{от} \right] + G J_{z,z} \cos \alpha_z - 0,5 G_{от} J_{2z} \cos(\alpha_z + \varepsilon_2) \right\} / l_{2z} \sin(\alpha_z + \varepsilon_2 + \alpha_{от}), \quad (1)$$

где $G, G_z, G_{от}$ - соответственно веса груза, хобота и оттяжки; $\alpha_z, \alpha_{от}, \alpha_k$ - углы, определяющие положение хобота, оттяжки и каната; l_{1z} - центр тяжести хобота; l_{2z} - длина заднего плеча хобота; l_{1z} - длина переднего плеча хобота; $u_{от}$ - кратность грузового полиспаста.

Усилия, изгибающие хобот F_x и стрелу F_s :

$$F_x = G \left(\cos \alpha_z - \operatorname{tg} \alpha_z \sin \alpha_z - \frac{\sin \varepsilon_1}{u_{от}} \right),$$

$$F_s = \frac{1}{l_s} \{ G \cdot (u_0 - \operatorname{tg} \alpha_z \cdot u_z) + (G_z + 0,5 \cdot G_{от}) \cdot l_z \cdot \cos \varphi_z - u_z \cdot [G_z \cdot l_{z,z} \cdot \cos \alpha_z - 0,5 \cdot G_{от} \cdot l_{2z} \cdot \cos(\alpha_z + \varepsilon_2)] \}$$

(2) где кинематические передаточные функции

$$u_z = \dot{\phi}_z / \dot{\phi}_c = -(l_z \cdot \sin \varphi_z + u_z \cdot l_{1z} \cdot \sin \alpha_z),$$

$$u_0 = \dot{z}_0 / \dot{\phi}_c = l_z \cdot \cos \varphi_z - u_z \cdot l_{1z} \cdot \cos \alpha_z - \frac{l_z \cdot \sin(\varphi_z - \alpha_{от})}{u_{от}}$$

$$u_z = \dot{z}_z / \dot{\phi}_c = \frac{l_z \cdot \sin(\varphi_z - \alpha_{от})}{l_{2z} \cdot \sin(\alpha_z + \varepsilon_2 + \alpha_{от})}$$

Усилия $N_z^{от}$, сжимающие стрелу:

$$N_z = G \left[\sin \varphi_z - \operatorname{tg} \alpha_z \cdot \cos \varphi_z + \frac{\cos(\varphi_z - \alpha_z)}{u_{от}} \right] + (G_z + 0,5 G_{от}) \sin \varphi_z + F_{от} \cdot \cos(\varphi_z - \alpha_{от})$$

где $F_{от}$ определяется по формуле (1).

Усилия F_p на тяговый элемент механизма изменения вылета:

$$F_p = \frac{1}{u_p} [G(u_0 - u_z \cdot \operatorname{tg} \alpha_z) - M_z - M_{от}],$$

$$\text{где } u_p = \frac{L_p d_p \sin(\varphi_z + \varepsilon_p + \eta_p)}{\sqrt{L_p^2 + d_p^2 + 2L_p d_p \cos(\varphi_z + \varepsilon_p + \eta_p)}}$$

M_z - момент относительно корня стрелы от ветровой нагрузки на стрелу;

$M_z = M_{отп} + M_{от}$ - неуравновешенный стреловой момент, $M_{отп}$ - момент от

сил тяжести элементов стреловой системы:

$$M_{отп} = -[G J_{от} + (G_z + 0,5 G_{от}) J_z] \cos \varphi_z + u_z [G J_{z,z} \cos \alpha_z - 0,5 G_{от} J_{2z} \cos(\alpha_z + \varepsilon_2)]$$

$M_{от}$ - момент сил тяжести противовеса, приведенный к оси качания стрелы:

$$M_{от} = \frac{G_p l_p}{2 l_m^2 f_x} \{ -D_1 [l_m \cos(\varphi_z + \varepsilon_z + \varepsilon_p) + d_p \cos(\eta_z - \varepsilon_z)] + E_2 \}, \quad (3)$$

где $u_z = \dot{z}_z / \dot{\phi}_c = \frac{l_z}{l_m} \dot{\varphi}_z + d_p \cos(\varphi_z + \varepsilon_z - \eta_z) + E_1$,

$$E_1 = d_p \sin(\varphi_z + \varepsilon_z + \eta_z) (l_m^2 - f_x^2 + b_x^2) / D_3,$$

$$D_3 = \sqrt{4 l_m^2 f_x^2 - D_4^2},$$

$$D_4 = l_m^2 + f_x^2 - b_x^2, \quad l_m^2 = l_z^2 + d_p^2 + 2 l_z d_p \cos(\varphi_z + \varepsilon_z + \eta_z),$$

$E_2 = D_1 [l_m \sin(\varphi_z + \varepsilon_z + \varepsilon_p) - d_p \sin(\eta_z - \varepsilon_z)]$, l_m - центр тяжести стрелы, ε_z - внутренний угол коромысла противовеса, l_m - расстояние от оси крепления стрелы до оси тяги противовеса, d_p - длина от оси качания стрелы до оси качания коромысла противовеса, f_x - длина переднего плеча коромысла противовеса, b_x - длина тяги коромысла.

Для прямых стрел с уравнительным полиспастом нагрузки на стрелу определяются по формулам:

$$F_x = G \left(\frac{u_0}{l_s} + \operatorname{tg} \alpha_z \sin \varphi_z \right),$$

$$N_x = G \left[\sin \varphi_x - tg \alpha_x \cos \varphi_x + \frac{u_x}{u_{max}} \cos(\varphi_x - \alpha_x) \right],$$

где u_x - кратность уравнительного полигона.

В третьей главе рассматривается математическая модель кранов стрелового типа в виде механизма с упругими звеньями.

Динамическая модель СИВ портального крана с грузом в виде механизма с упругими звеньями представлена на рис.4. Структура СИВ портальных кранов является наиболее общей для стреловых кранов, поэтому крота за основу. Движение СИВ крана с грузом будем рассматривать в неподвижной системе координат x, y, z , ось O, z , которой направлена вертикально вверх по оси вращения крана, а ось O, y , проходит через корень стрелы (см. рис.4).

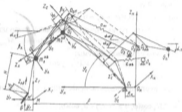


Рис.4. Динамическая модель системы изменения вылета портальных кранов в виде механизма с упругими звеньями.

При выводе дифференциальных уравнений, описывающих движение элементов СИВ крана с грузом, применим метод линеаризации уравнений движения механизмов с нелинейными функциями положения, основанный на предположении близости законов движения механизма с упругими звеньями к закону движения жесткого механизма. Закон движения СИВ в соответствии с жесткой математической моделью примем за программный. Отклонения от программного движения, вызванные податливостью звеньев элементов системы, будем рассматривать как динамические ошибки и полагать малыми величинами; в уравнениях движения членами, содержащими их второй порядок, будем пренебрегать.

Подвектор обобщенных координат $\{q\}_{ин}$, определяющий положение элементов крана при работе механизмов изменения вылета и подъема, будет иметь вид:

$$\{q\}_{ин} = [\varphi_x, \beta_x, y_x, y_z, \beta_x, y_x, z_{ин}]^T.$$

Методика построения математических моделей свободных колебаний грузов на пространственных канатных подвесах разработана А.Н. Орловым. Положение груза в неподвижной системе координат x, y, z , определяется тремя координатами x, y , и z , его центра масс и тремя углами θ, ψ, φ (см.рис. 5), построение которых аналогично построению самолетных углов.



Рис. 5. Связь между координатами x, y, z и ξ, η, ζ

Подвектор обобщенных координат $\{q\}_z$, определяющий положение груза по отношению к системе координат x, y, z , в соответствии с работой будет иметь вид:

$$\{q\}_z = [x, y, z, \theta, \psi, \varphi]^T$$

Вектор обобщенных координат, определяющий положение элементов крана с грузом при работе механизмов изменения вылета и подъема будет:

$$\{q\} = [\{q\}_z, \{q\}_{ин}]^T \quad (4)$$

Таким образом, вектор $\{q\}$ включает двенадцать обобщенных координат.

Используя уравнения Лагранжа второго рода, получим систему дифференциальных уравнений в матричном виде, описывающую движение элементов крана и груза при работе механизмов вылета и подъема:

$$[A] \cdot \ddot{q} + [B] \cdot \dot{q} + [C] \cdot q = (F), \quad (5)$$

где вектор обобщенных координат $\{q\}$ определяется в соответствии с (4).

Структура полученных матриц $[A]$ $[B]$ и $[C]$ представляется в виде:

$$[A] = \begin{bmatrix} [A]_{1z} & [A]_{12} \\ [A]_{2z} & [A]_{22} \end{bmatrix}, [A]_{22} = [A]_{22a} + [A]_{22b}, [A]_{1z} = [A]_{1z}^T;$$

$$[B] = [B] + \varphi_c [B]$$

$$[B] = \begin{bmatrix} [b]_b & [0] \\ [0] & [B]_{b-22} \end{bmatrix}, [B]_b = \begin{bmatrix} [0] & [B]_{b-12} \\ [0] & [B]_{b-22} \end{bmatrix},$$

$$[B]_{b-22} = [B]_{b-22a} + [B]_{b-22b}.$$

$$[C] = [C] + \varphi_c [C]_b + \varphi_c^T [C]_b^T.$$

$$[C] = \begin{bmatrix} [C]_{12} & [0] \\ [0] & [C]_{b-z} \end{bmatrix}, [C]_b = \begin{bmatrix} [0] & [C]_{b-z} \\ [0] & [C]_{b-z} \end{bmatrix},$$

$$[C]_b = \begin{bmatrix} [0] & [C]_{b-z} \\ [0] & [C]_{b-z} \end{bmatrix}, [C]_{b-z} = [C]_{b-z} + [C]_{b-z},$$

$$[C]_{b-z} = [C]_{b-z} + [C]_{b-z}, \{F\} = \begin{bmatrix} \{F\}_2 \\ \{F\}_{3M} \end{bmatrix}.$$

Вектор обобщенных сил $\{F\}$ имеет вид:

$$\{F\} = (0, P_{12}^{st}, 0, 0, 0, 0, M_{12} - M_G - M_x - M_{12}^{st} - M_{12}^{st} - P_{12}^{st} \cdot u_{12} - M_{12}^{st}, 0, 0, 0, F_{12} - G)^T$$

где M_{12} - усилие привода механизма изменения вылета, приведенное к тяговому органу, M_G - грузовой неуравновешенный момент, M_x - стреловой неуравновешенный момент, M_{12}^{st} - статический момент сопротивления движению стрелы, M_{12}^{st} и P_{12}^{st} - соответственно момент сил сопротивления движению стрелы, определяемый ветровой нагрузкой на конструкцию СИВ в плоскости стреловой системы, и сила ветра на груз в плоскости стреловой системы, G - вес груза.

Все матрицы разбиты на блоки в соответствии с разбиением обобщенных координат $\{q\}$ по (4); порядок каждого из блоков (6X6). $[a]$, и $[c]$, представляют собой инерционную и квазиупругую матрицу груза на пространственном канатном подвесе. Элементы матрицы $[c]$, для грейферных и траверсной схем подвеса рассмотрены в работах А.Н. Орлова; $[b]$, - диссипативная матрица груза. Модель позволяет проводить исследование при любых схемах подвесов груза, в том числе и при возможных ослабленных подъемных канатах.

Матрицы $[A]$, $[B]$ и $[C]$ - соответственно инерционная, диссипативная и квазиупругая, элементы которых зависят от угла ϕ , наклона стрелы, и при фиксированном вылете они постоянны. Это обстоятельство дает возможность использовать модальные методы исследования.

Полученная система уравнений легко перестраивается. Так, для прямых стрел, когда координаты β , и u , равны нулю, новые уравнения движения получаются вычеркиванием из матриц соответствующих строк и столбцов.

На рис. 6 в качестве примера приведены результаты расчета нагрузки, изгибающей стрелу F_s .

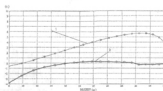


Рис. 6 Нагрузка, изгибающая стрелу F_s ; 1- расчет по выражению (2); 2- результат расчета математической модели.

В четвертой главе диссертации проведен анализ основных существующих программных комплексов на базе конечно-элементного метода. Данный анализ выявил два наиболее приемлемых варианта (для расчета использовались MSC - Nastran и Ansys). Программу MSC - Nastran отличает упрощенный интерфейс, большие возможности по исследованию стержневых моделей, доступная русскоязычная литература. Большие возможности реализации контакта программы Ansys, встроенный комплекс по расчету динамических расчетов LS - DYNA сделали данный пакет лидером в области твердотельного моделирования.

В рамках главы проведен статический расчет стержневой модели портального крана КПИ 16(32/40)-32. Для исследования использовался программный комплекс MSC-Nastran. Данные приведены в сравнительной таблице, где также получены значения нагрузок по теоретическим формулам.

	Ne	Fe	For	Fr
	Вылет 32 метра			
Аналитически	5,993*10 ⁷	5,617*10 ⁸	2,526*10 ⁷	4,432*10 ⁷
МКЭ	6,37*10 ⁷	4,73*10 ⁸	2,69*10 ⁷	3,9*10 ⁷
	Вылет 20 метров			
Аналитически	5,211*10 ⁷	4,665*10 ⁸	1,177*10 ⁷	7,471*10 ⁷
МКЭ	4,502*10 ⁷	5,068*10 ⁸	1,814*10 ⁷	7,53*10 ⁷
	Вылет 15 метров			
Аналитически	5,15*10 ⁷	2,455*10 ⁸	1,003*10 ⁷	6,325*10 ⁷
МКЭ	3,033*10 ⁷	2,289*10 ⁸	6,675*10 ⁶	5,82*10 ⁷
	Вылет 10 метров			
Аналитически	4,481*10 ⁷	3,213*10 ⁸	2,348*10 ⁶	3,993*10 ⁷
МКЭ	3,258*10 ⁷	3,812*10 ⁸	3,088*10 ⁶	4,23*10 ⁷

Стержневая модель использовалась для исследования сейсмического нагружения. Расчет проводился при исследовании отклика конструкции здания при землетрясении в 4 балла. Сейсмограмма представлена на рис.7.

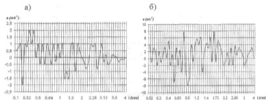


Рис.7. Двухкомпонентная сейсмограмма; а-горизонтальная; б-вертикальная.

Расчетные узлы приведены на рис.8.



Рис.8. Расчетные узлы.

Расчетные точки рассматривались через каждую 0,01сек. на протяжении 4 сек.

Следующим этапом работы стало исследование динамических нагрузок кранов мостового типа при сейсмических воздействиях. Работа проводилась совместно с кафедрой "Механика и процессы управления", работа проводилась под руководством проф. Боровкова А.И. и проф. Манжулы К.П. Исследование динамических характеристик, нагруженности проводилось на реальном кране атомной электростанции. Общий вид модели мостового крана с грузом представлен на рис.9.

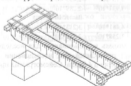


Рис. 9. Общий вид модели мостового крана с грузом.

Определялись контактные давления и взаимные перемещения колес тележки относительно рельсов с грузом 13,7 тонн и без груза, а также распределение эквивалентных напряжений по Минюсу в узле 1824 (см. рис.10) без груза и с грузом (13,7тонн, 137тонн).



Рис. 10. Исследуемые узлы 18124 и 18629.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предлагаемом диссертационном исследовании автором самостоятельно разработаны и обоснованы теоретические положения, совокупность которых можно классифицировать как новый научный результат, направленный на решение проблемы определения динамических нагрузок порталных кранов, которая имеет существенное значение для подъемно-транспортного машиностроения.

Основные результаты и выводы по работе сводятся к следующему:

1. Получены аналитические выражения для определения нагрузок на стреловую систему порталных кранов при проектировочном расчете.
2. Разработана методика автоматизированного определения нагрузок на элементы системы изменения вылета при проектировочном расчете.
3. Получены кинематические передаточные функции первого порядка для различных конструктивно-компоновочных исполнений элементов порталных кранов, что позволило реализовать концепцию составной динамической модели.
4. Проведена проверка теоретических формул на базе стержневой конечно-элементной модели. Расхождение не превышает 8%.
5. Разработана обобщенная математическая модель порталных кранов в виде механизма с упругими звеньями. Модель реализована на ЭВМ. Математическая модель пригодна для широкого класса кранов стрелового типа, легко перестраивается и позволяет провести динамический анализ (включая модальные методы) в кратчайшие сроки.

6. Результат исследования математической модели показал, что динамические нагрузки на стреловую систему не превышают значения нагрузок, полученных по теоретическим формулам для жесткой модели.

7. Разработана стержневая конечно-элементная модель portalного крана.

8. Создана методика анализа сейсмических нагрузок на краны стрелового и мостового типов.

9. Исследовано поведение модели portalного крана при двухкомпонентном сейсмическом нагружении. Рассмотрено 400 расчетных точек на всей длительности сейсмограммы.

10. Получена тонкостенная конечно-элементная модель мостового крана.

Исследовано поведение данной модели при двухкомпонентном сейсмическом нагружении. В этом случае исследовался контакт тележки с рельсом.

Возможна потеря контакта тележки и рельса при двухкомпонентном сейсмическом нагружении без груза.

11. Длительность анализа модели мостового крана составила порядка 100 часов на ПК уровня Pentium 4; таким образом, объединение стержневой конечно-элементной модели с тонкостенной моделью может значительно увеличить производительность расчетных экспериментов.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. Е.Т. Ким, А.Н. Орлов Нагрузки на стреловую систему порталных кранов // Известия Тул.Г.У. Серия Подъемно-транспортные машины и оборудование Выпуск 3 изд-во Тул.Г.У. – Тула, 2001. с. 45-48.
2. С.А. Сидоров, Ким Ел Чер, К.П. Манжула, А.И. Боровков Конечно-элементный анализ сейсмостойкости грузоподъемных кранов атомных электростанций // XXXI Неделя науки СПбГПУ (III). Материалы междувузовской научной конференции 25-30 ноября 2002 года. – Санкт-Петербург, 2003. с. 74-76.
3. Ким Е.Т., Орлов А.Н. Математическая модель систем изменения вылета и подъема стреловых кранов // Строительные и дорожные машины: Сб. науч. тр./ Под ред. А.В. Лещинского. – Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2002. Вып.2. с. 31-35.
4. Е.Т. Ким Обобщенная модель стреловых кранов при работе механизмов подъема и изменения вылета // Ингерстроймех – 2001: Труды международной научно-технической конференции, 27-29 июня 2001 года. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. с 34 – 37.
5. Е.Т. Ким, А.Н. Орлов Нагрузки на стреловую систему порталных кранов // XXX Юбилейная неделя науки СПбГПУ (IV). Материалы междувузовской научной конференции 26 ноября – 1 декабря 2001 года. – Санкт-Петербург, 2002. с. 60-62.

Лицензия ЛР №020593 от 07.08.97.

Подписано в печать 06.02.2004.

Тираж 100

Объем в п.л. 1.

Заказ 60.

Отпечатано с готового оригинал-макета,
предоставленного автором,
в типографии Издательства СПбГПУ
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Отпечатано на ризографе RN-2000 EP
Поставщик оборудования — фирма "Р-ПРИНТ"
Телефон: (812) 110-65-09 Факс: (812) 315-23-04