

М49153
Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени Государственный
технический университет им. Н.Э.Баумана

На правах рукописи

ФОМИЧЕВА Валентина Федоровна

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ
НАГРУЗОК В МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЯХ КОЗЛОВЫХ КРАНОВ

01.02.06 - Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

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

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена
Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени
Государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент Д.Н.Спицына

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
Г.Я.Пановко

- кандидат технических наук,
М.М.Рунов

В дущее предприятие - ВНИИПТМАШ (г. Москва)

Защита состоится "25" июня 1990г. на заседании
Специализированного Совета К 053.15.11 "Машиностроение" в Мос-
ковском государственном техническом университете имени Н.Э.Бау-
мана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5.

еренных печатью, просим
му адресу.

я в библиотеке МГТУ

1990г.

М 481153

П.К. Попов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Козловые краны являются одним из основных средств механизации погрузочно-разгрузочных работ в различных областях народного хозяйства. Простота управления и обслуживания, относительно низкая стоимость изготовления и эксплуатации обуславливает все увеличивающееся применение козловых кранов в народном хозяйстве. Разработка уточненных методик расчета металлических конструкций козловых кранов позволит оценить возможность повышения грузоподъемности козловых кранов и снижения их массы, а также увеличить надежность их работы.

При работе крана на его металлоконструкцию действуют как вертикальные, так и горизонтальные динамические нагрузки. Для оценки нагруженности металлических конструкций козловых кранов необходимо учитывать как максимальные значения динамических нагрузок, определяющих прочность конструкции, так и законы изменения этих нагрузок во времени, необходимые для прогнозирования ресурса работы элементов.

При эксплуатации или перебазировании на козловые краны действуют нагрузки, которые являются случайными или обусловлены случайными процессами. Однако, расчет козловых кранов в вероятностной постановке пока не производится из-за затруднений, связанных со сбором статистической информации. Расчет в настоящее время ведется по методу предельных состояний.

Динамические напряжения, возникающие в элементах козловых кранов при передвижении могут суммироваться с динамическими напряжениями, вызванными ветровым воздействием. Учитывая их, можно установить более достоверный уровень максимальной динамической нагруженности некоторых элементов несущего строения.

В связи с вышеизложенным разработка уточненных методик расчета металлоконструкций козловых кранов является актуальной задачей.

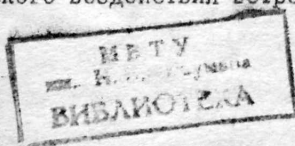
Цель работы - разработка методики определения динамических нагрузок и соответствующих им напряжений в элементах металлоконструкций козловых кранов, возникающих в период нестационарного движения крана, в период движения с установившейся скоростью центра масс, а также от динамического воздействия ветровой нагрузки.

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1491153

Фомичева В.Ф. Разработка ме



Научная новизна. В работе проведено теоретическое исследование, в результате которого на основании оценки различных расчетных схем:

- разработана инженерная методика расчета на ЭВМ динамических нагрузок в элементах металлоконструкций козловых кранов в период нестационарного режима работы механизма передвижения, которая позволяет учитывать жесткость металлоконструкций козловых кранов, реальные характеристики электродвигателей, влияние высоты подвеса груза, положение грузовой тележки в пролете;
- разработана методика определения на ЭВМ боковых нагрузок, возникающих при движении кранов с установившейся скоростью центра масс и действующих на ходовые колеса козловых кранов, имеющих различную жесткость опор, которая позволяет учесть пространственную жесткость металлоконструкций кранов, жесткость подкрановых путей, монтажные перекосы осей ходовых колес;
- уточнена методика определения реакций в противоугонных захватах неподвижностей козловых кранов и разработана методика определения динамических напряжений в элементах конструкций движущихся козловых кранов от воздействия случайных ветровых нагрузок.

Методы исследования. Теоретические исследования базируются на:

- обосновании расчетных схем рассматриваемых кранов на основе анализа их конструктивных особенностей, известных теоретических и экспериментальных результатов;
- применении методов аналитической механики, теории колебаний, теории случайных функций; численных методов математического программирования и решения дифференциальных уравнений;
- проведении численного эксперимента на ЭВМ для изучения динамической нагруженности элементов козловых кранов и сопоставлении полученных результатов с расчетами, выполненными согласно рекомендациям нормативных документов.

Практическая ценность проведенных исследований заключается в разработке:

- 1) динамических моделей, обоснованных расчетами на ЭВМ и позволяющих:
- определить динамические нагрузки и соответствующие им напряжения в элементах металлоконструкций козловых кранов при

нестационарном режиме его передвижения;

- получить на основе расчета на ЭВМ боковые нагрузки, действующие на ходовые колеса и металлоконструкцию в период установившегося движения центра масс крана;
- определить напряжения, возникающие в элементах металлоконструкций козловых кранов с учетом пульсаций скорости ветра;
- оценить целесообразность использования различных расчетных схем при исследовании динамической нагруженности металлоконструкций козловых кранов;

2) пакета программ, позволяющих учесть пространственную жесткость металлоконструкции; жесткость подкрановых путей; положение грузовой тележки в пролете; реальные характеристики электродвигателей механизма передвижения; различие сил сопротивления на сторонах моста; монтажные углы перекоса осей ходовых колес.

Предложенные методики использованы для расчета козлового крана ККО 20/5, грузоподъемностью $Q = 20$ т и пролетом $L = 32$ м, изготовленного ПО "КРАН".

Реализация работы. Методика исследования и программы расчета на ЭВМ усилий и перемещений в элементах металлоконструкций козловых кранов с учетом действия ветровых нагрузок внедрены во ВНИИГТМаше. Методика расчета динамических нагрузок в период нестационарного режима работы механизмов передвижения использована при разработке инженерной методики расчета динамических нагрузок и создании РТМ "Нормы расчета стальных конструкций мостовых кранов грузоподъемностью свыше 50 т".

Апробация работы. Результаты исследований докладывались на Всесоюзной конференции "Новое в подъемно-транспортной технике" (г. Москва, 1985 г.) и на Всесоюзной конференции "Проблемы развития и совершенствования подъемно-транспортной техники" (г. Красноярск, 1988 г.), на научном семинаре кафедры РК-5 МТУ им. Н.Э. Баумана (1989 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов. Работа изложена на 134 страницах машинописного текста, включающих 34 рисунка, 6 таблиц и список литературы из 101 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации. Показано разнообразие конструктивных схем козловых кранов, применяемых в народном хозяйстве, условия их эксплуатации. Приведены существующие нормы расчета крановых металлоконструкций. Сформулирована цель работы.

В первой главе проведен анализ современных исследований динамики передвижения кранов мостового типа. Исследование динамических нагрузок, возникающих в элементах металлоконструкций кранов при передвижении, нашло отражение в работах И.И.Абрамовича, М.М.Гохберга, В.П.Балашова, С.А.Казака, Н.А.Лобова, А.С.Конюпи, В.М.Соболева, Д.Н.Спицкой, В.А.Добровенского, А.С.Липатова, Г.Майера, Ф.Курта и др.

Большинство работ посвящено исследованию динамических нагрузок в металлоконструкциях мостовых кранов, где использовались динамические модели как с сосредоточенными приведенными массами, так и с распределенными параметрами. В проведенных исследованиях просматривается тенденция к применению метода математического моделирования процесса передвижения крана с целью определения спектра возникающих динамических нагрузок. Практически разрабатывается направление о замене дорогостоящего натурного эксперимента адекватным ему численным.

При исследовании динамических нагрузок, возникающих в металлоконструкциях кранов для периода пуска и торможения во многих работах движущая сила привода принимается постоянной, что сказывается на точности полученных результатов. В тех работах, в которых учитывается изменение нагрузки, передаваемой на систему за счет перехода двигателя с одной механической характеристики на другую, используются упрощенные расчетные схемы кранов. В случае использования трех- или четырехмассовой динамических моделей и при корректном учете нагрузок от электродвигателей рассматривается только случай, когда грузовая тележка располагается в середине пролета.

При исследовании разгона (или торможения) кранов установлено, что колебания моста в горизонтальной плоскости носят гармонический характер, а поперечное смещение крана за это время составляет всего 2-3 мм.

Для периода движения центра масс крана с установившейся скоростью основное внимание исследователей уделяется изучению боковых сил, действующих на ходовые колеса. При этом в связи с усложнением задачи расчетные схемы принимаются значительно проще тех, что использовались при исследовании пуска (торможения). Большинство работ посвящено исследованию боковых сил при свободном движении крана, когда ни одна из реборд ходовых колес не касается головки рельса. При этом принимается, что грузовая тележка находится в середине пролета. В ряде работ предлагается определять боковые силы для постоянного или установившегося перекоса крана, полагая металлоконструкции и подкрановый путь абсолютно жесткими, т.е. не учитывая их деформаций при колебательных процессах от динамических нагрузок в горизонтальной плоскости.

Исследования последних лет показывают, что на величины боковых сил оказывают влияние жесткость моста и подкранового пути, причем жесткость подкранового пути имеет определяющее значение.

Исследование боковых сил, проведенное с учетом горизонтальной жесткости моста в продольном направлении, конечной жесткости подкранового пути и с учетом неровностей пути в плане, относится к мостовым кранам. Аналогичные исследования боковых сил, действующих на ходовые колеса козловых кранов, не проводились.

Анализ литературы, посвященной динамическим воздействиям ветра на козловые краны, показывает, что используемые расчетные схемы кранов не учитывают влияния консолей, длины которых достигают 10-15 м. В этих работах отсутствует методика определения динамических напряжений в элементах козловых кранов при действии случайной ветровой нагрузки.

Исходя из анализа работ по динамике передвижения кранов мостового типа установлено, что актуальным и интенсивно разрабатываемым направлением является путь математического моделирования процесса передвижения крана. Этот способ решения сложных динамических задач позволяет получать практически полезные результаты. Для достоверного решения задач динамики передвижения козловых кранов необходимо уточнение расчетной модели, учитывающей податливости металлоконструкции в различных направлениях. Следует установить достаточное число приведенных масс системы, чтобы с одной стороны возможно более полно приблизить расчетную схему к реальной конструкции, с другой - не привести к чрезмерному услож-

нению задачи.

В соответствии с изложенным основными задачами исследований данной работы являются:

- разработка методики определения динамической нагруженности козловых кранов в период его нестационарного движения;
- разработка методики определения боковых сил, действующих на реборды ходовых колес козловых кранов в период установившегося движения;
- разработка методики определения динамической нагруженности козлового крана от действия ветровой нагрузки.

Во второй главе проведено исследование динамических нагрузок и соответствующих им напряжений, возникающих при неустановившемся движении, а также при воздействии на них ветровых нагрузок. Для решения поставленной задачи металлоконструкция козлового крана представлялась в виде системы с восемью приведенными массами $m_1, m_2, \dots, m_8$, которые могут иметь горизонтальные перемещения в направлении действия ветровых нагрузок $W_1^c, W_2^c, \dots, W_8^c$ (рис. I).

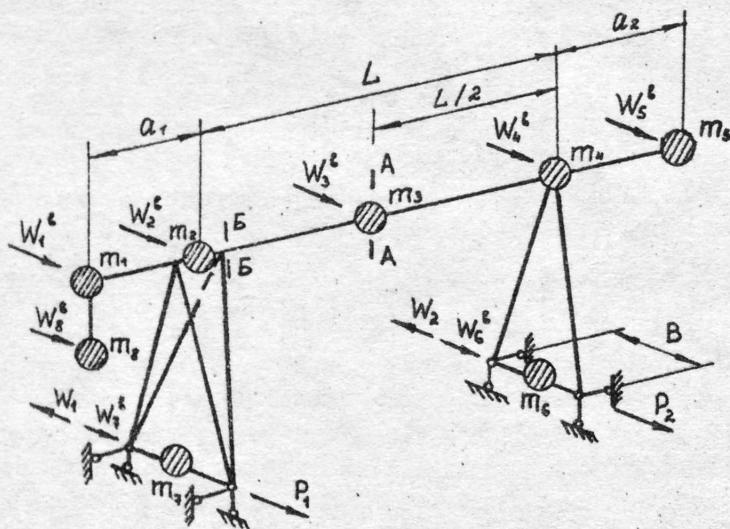


Рис. I

При движении крана происходит забег или отставание гибкой опоры по отношению к жесткой. Предполагалось, что приведенные массы m_i совершают упругие колебания относительно массы m_7 . В связи с этим перемещения приведенных масс m_i представлялись в виде сумм $u_i = u_7 + x_i$, где u_7 — перемещение массы m_7 , x_i — перемещение массы m_i , вызванное упругими деформациями моста крана относительно массы m_7 .

Движение крана осуществлялось под действием тяговых усилий приводных электродвигателей P_1 и P_2 . Для расчетов принималось, что приводные двигатели работают на линейных участках механических характеристик.

Система дифференциальных уравнений (I) описывает процесс разгона крана с учетом воздействия на него ветровых нагрузок. Здесь приняты обозначения: W_1 и W_2 силы сопротивления передвижению крана; δ_{ij} — податливости металлоконструкций, т.е. относительные перемещения i -ой массы по направлению X_i от единичной силы, приложенной к массе m_j при неподвижной массе m_7 ,

α_i — коэффициенты, учитывание внутреннее трение в материале, конструкционное демпфирование.

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^6 m_i \ddot{u}_7 + \sum_{i=1}^6 m_i \ddot{x}_i + m_8 \ddot{x}_8 = P_1 + P_2 - W_1 - W_2 + \sum_{i=1}^6 W_i^6; \\ & \sum_{i=1}^6 \delta_{i1} m_i \ddot{u}_7 + \sum_{i=1}^6 \delta_{i1} m_i \ddot{x}_i + \delta_{18} m_8 \ddot{u}_7 + \delta_{18} m_8 \ddot{x}_8 + \\ & + \sum_{i=1}^6 \delta_{i1} \alpha_i \dot{x}_i + \delta_{18} \alpha_8 \dot{x}_8 + X_1 = \sum_{i=1}^6 \delta_{i1} W_i^6 + \delta_{18} W_8^6 + \delta_{16} (P_2 - W_2); \\ & \vdots \\ & \sum_{i=1}^6 \delta_{ci} m_i \ddot{u}_7 + \sum_{i=1}^6 \delta_{ci} m_i \ddot{x}_i + \delta_{c8} m_8 \ddot{u}_7 + \delta_{c8} m_8 \ddot{x}_8 + \\ & + \sum_{i=1}^6 \delta_{ci} \alpha_i \dot{x}_i + \delta_{c8} \alpha_8 \dot{x}_8 + X_c = \sum_{i=1}^6 \delta_{ci} W_i^6 + \delta_{c8} W_8^6 + \delta_{c6} (P_2 - W_2); \\ & \sum_{i=1}^6 \delta_{8i} m_i \ddot{u}_7 + \sum_{i=1}^6 \delta_{8i} m_i \ddot{x}_i + \delta_{88} m_8 \ddot{u}_7 + \delta_{88} m_8 \ddot{x}_8 + \\ & + \sum_{i=1}^6 \delta_{8i} \alpha_i \dot{x}_i + \delta_{88} \alpha_8 \dot{x}_8 + X_8 = \sum_{i=1}^6 \delta_{8i} W_i^6 + \delta_{88} W_8^6 + \delta_{86} (P_2 - W_2). \end{aligned} \quad (1)$$

Ветровая нагрузка W_i^t представлялась в виде случайного стационарного процесса. При этом принималось, что $W_i^t = \bar{W}_i^t + \Delta W_i^t$, где $\bar{W}_i^t$ — приведенная к i -ой массе ветровая нагрузка, соответствующая средней скорости ветра $\bar{U}$, которая учитывалась в расчетах согласно ГОСТ 1451-78; ΔW_i^t — ветровая нагрузка, зависящая от случайной составляющей скорости ветра U_t . Усилия P_1 и P_2 также представлялись в виде сумм $P_1 = \bar{P}_1 + P_{1t}$ и $P_2 = \bar{P}_2 + P_{2t}$, где $\bar{P}_1$ и $\bar{P}_2$ — тяговые усилия электродвигателей, необходимые для преодоления сил сопротивления W_1 и W_2 , а также ветровых нагрузок, соответствующих средней скорости ветра; P_{1t} и P_{2t} — случайные изменения тяговых усилий, вызываемые пульсациями ветровых нагрузок. В связи с этим система дифференциальных уравнений (I) могла быть разделена на две части: одну, связанную с детерминированным, и другую — со случайными процессами.

В рассматриваемой главе производилась оценка динамических напряжений, возникающих в элементах металлоконструкций козловых кранов в период нестационарного движения с учетом воздействия на него ветровых нагрузок, соответствующих только постоянной скорости ветра $\bar{U}$.

Исследование процесса разгона крана производилось для случаев разгона крана с грузом и без него. Проведенные расчеты показали, что при разгоне крана без груза, амплитуды упругих колебаний возрастают. Увеличение длины подвеса груза (например, с 2 м до 11 м) приводит к уменьшению динамических напряжений на 20-25%.

В работе рассматривалась возможность упрощения расчетной схемы. Металлоконструкция козловых кранов представлялась в виде четырехмассовой упругой модели. Производилось сравнение значений максимальных динамических напряжений в середине пролета, в сечении моста крана у жесткой опоры и в сечениях затяжек — элементов конструкции крана, связывающих пролетное строение со стойками опор, полученных при расчете крана по восьмимассовой, четырехмассовой расчетным моделям, а также определенным по формулам РТМ 24.090.30-77.

Проведенное исследование показывает, что при одном и том же режиме работы электродвигателей механизма передвижения крана динамические напряжения при расчете по восьмимассовой модели по-

лучаются ~ на 40% меньше соответствующих значений напряжений, рассчитываемых по четырехмассовой модели. Отсюда следует, что исследование динамической нагруженности металлоконструкции козлового крана может быть проведено по четырехмассовой модели. Незначительное увеличение максимальных значений рассматриваемых величин, полученное при использовании четырехмассовой расчетной модели можно отнести в запас прочности. Формулы РТМ дают завышенные ~ на 35% значения динамических напряжений, но близкие к значениям, полученным по четырехмассовой модели.

В третьей главе проведено исследование динамического воздействия ветра на козловые краны. Кран, закрепленный в противоугольные захваты, представлялся в виде упругой системы с пятью приведенными массами M_i расположенными вдоль пролетного строения, которые могли иметь горизонтальные перемещения X_i по направлению действия ветровых нагрузок W_i^z . Масса грузовой тележки m_7 присоединялась к одной из пяти масс в зависимости от положения ее в пролете.

Уравнения движения приведенных масс в матричной форме имели вид

$$\ddot{\bar{X}} = \Delta M \ddot{\bar{X}} + \Delta \mathcal{L} \dot{\bar{X}} + \Delta \bar{W}, \quad (2)$$

где $\bar{X}$ - столбец искомых перемещений, Δ - матрица податливости металлоконструкции крана в направлении искомых перемещений;

M - диагональная матрица приведенных масс; $\mathcal{L}$ - матрица коэффициентов, определяющих затухание колебаний; $\bar{W}$ - столбец приведенных ветровых нагрузок.

Для вычисления среднеквадратичных перемещений масс и усилий на противоугольные захваты, вызываемых пульсациями ветровой нагрузки, использовался метод комплексных амплитуд. Для нахождения передаточной функции определялись перемещения и силы инерции приведенных масс при пульсациях скорости ветра с амплитудой I м/с и частотой ω . Используя известные данные по спектральной плотности изменения скорости ветра $S_u(\omega)$, вычислялись спектральные плотности перемещений и реакций на противоугольные захваты. Спектральные плотности последних представлялись в виде сумм спектральных плотностей той части реакции, которая зависела от сил инерции $S_R^u(\omega)$ и спектральных плотностей опорных реакций от самих ветровых нагрузок $S_R^w(\omega)$, действующих на массы m_i .

Анализ результатов исследования, проведенного на ЭВМ, показывает, что динамические коэффициенты для перемещения масс m_2 , m_3 , m_4 и m_5 при всех положениях тележки находятся в пределах 1,5–1,8. Динамические коэффициенты для перемещений массы существенно выше, что связано с большой жесткостью конструкции в направлении X_1 . Динамические коэффициенты увеличиваются в случае, если грузовая тележка находится на конце консоли у жесткой опоры в сечении с массой m_1 . Динамические коэффициенты опорных реакций находятся в пределах 1,1–1,6.

Для оценки влияния пульсаций скорости ветра на динамическую нагруженность элементов конструкции движущегося козлового крана принималась расчетная схема в виде упругой системы, представленной на рис. 1. За счет ветровых нагрузок ΔW_i^k происходят случайные колебания приведенных масс. Уравнения этих колебаний

$$A\ddot{\bar{y}} + B\dot{\bar{y}} + C\bar{y} = \bar{Q}, \quad (3)$$

где $\bar{y} = [u, x_1, x_2, x_3, x_4, x_s, x_c, x_s]^T$; A , B и C – матрицы постоянных коэффициентов; $\bar{Q}$ – столбец перемещений от действия случайных нагрузок ΔW_i^k , P_{1t} и P_{2t} .

Так как задача определения среднеквадратичных значений напряжений в элементах металлоконструкции крана рассматривалась в линейной постановке, то спектральная плотность напряжений в j -ом элементе конструкции представлялась в виде суммы $S_{\sigma_j}(\omega) = S_{\sigma_j}^w(\omega) + S_{\sigma_j}^{u,p}(\omega)$, где $S_{\sigma_j}^w(\omega)$ – спектральная плотность напряжений, возникающих от самих ветровых нагрузок; $S_{\sigma_j}^{u,p}(\omega)$ – спектральная плотность напряжений, вызываемых силами инерции приведенных масс, возникающих при случайных колебаниях, и колебаниями значений движущих сил P_{1t} и P_{2t} . Величина $S_{\sigma_j}^w(\omega)$ находилась как сумма спектральных плотностей напряжений, вызываемых каждой силой ΔW_i^k :

$$S_{\sigma_j}^w(\omega) = \sum_{i=1}^8 \sigma_{ji} K_i S_u(\omega), \quad (4)$$

где σ_{ji} – максимальное напряжение в j -ом элементе конструкции от единичной силы, приложенной к приведенной массе m_i в направлении перемещения u_i ; K_i – ветровая нагрузка на i -ую приведенную массу, соответствующая скорости ветра $u = 1 \cdot e^{i\omega t}$.

Величина $S_{\sigma_j}^{u,p}(\omega)$ представлялась в виде

$$S_{\sigma_j}^{u,p}(\omega) = |\gamma_{\sigma_j}^{u,p}|^2 \cdot S_u(\omega), \quad (5)$$

где $|Y_6^{(n)}|^2$ - квадрат модуля передаточной функции.

Среднеквадратичные значения перемещений приведенных масс и напряжений в сечениях А-А и Б-Б моста крана определялись при различных положениях грузовой тележки в пролете крана. На основании полученных расчетных данных установлено, что от действия пульсаций скорости ветра U_z наибольшие упругие перемещения возникают на конце консоли гибкой опоры в случае расположения тележки с грузом на ее конце. Динамические напряжения в металлоконструкциях движущихся козловых кранов, возникающие от ветровых нагрузок, связанных с пульсациями скорости ветра, $\sim$ в 3-5 раз выше статических напряжений, возникающих от ветровых нагрузок, соответствующих средней скорости ветра.

В четвертой главе исследовались динамические нагрузки, действующие на ходовые колеса и металлоконструкции козловых кранов при движении центра масс с установившейся скоростью. В этом режиме движения кран смещается как вдоль, так и поперек подкрановых путей в пределах зазоров между ребордами колес и головками рельсов. Колебательный процесс, следствием которого является проскальзывание колес в поперечном направлении, порождает возникновение сил поперечного проскальзывания. Наличие поперечного смещения крана приводит к тому, что в какой-то момент времени происходит наезд реборд колес на головки рельсов. При этом возникают силы давления рельса на реборды ходовых колес и дополнительные силы сопротивления передвижению - силы трения реборд колес о рельсы.

Для более полного исследования боковых сил, действующих на ходовые колеса, принималась динамическая модель с переменной структурой. При составлении уравнений движения приведенных масс крана вдоль подкрановых путей металлоконструкция его представлялась в виде четырехмассовой упругой модели. При этом приведенная масса $\bar{m}_1$ представляла собой сумму приведенных масс m_1, m_2, m_3 ; масса $\bar{m}_2$ равнялась массе m_3 ; масса $\bar{m}_3$ - сумму приведенных масс m_4, m_5, m_6 (рис. I); $\bar{m}_4$ - масса груза. При исследовании процесса движения в поперечном направлении металлоконструкция крана представлялась в виде шестимассовой модели. Здесь каждая половина приведенной массы $\bar{m}_1$ приводилась к ходовым колесам жесткой опоры; каждая половина массы $\bar{m}_3$ - к ходовым колесам

гибкой опоры. Выбранная расчетная схема позволяет учитывать смещения крана вдоль и поперек путей и поворот вокруг центра масс как жесткого целого; упругие перемещения масс $\bar{m}_1, \bar{m}_2, \bar{m}_3$ происходящие вдоль подкрановых путей; отклонение груза относительно точки подвеса; перемещения масс, приведенных к ходовым колесам, вызванные упругими деформациями конструкции поперек рельсового пути; упругие углы поворота опор крана в местах их крепления к ходовым колесам; положение грузовой тележки в пролете.

При решении задачи динамики передвижения кранов учитывались силы поперечного упругого проскальзывания S_k , силы давления N_k рельса на реборды и силы дополнительного сопротивления передвижению, т.е. силы трения реборд о рельс ΔW_k , где $k = 1 \dots 4$ — номер кранового колеса. Силы S_k принимались равными $S_k = -\bar{K}(V_{\text{прос.к}}/V_k)$, где $V_{\text{прос.к}}$ — скорость проскальзывания k -ого колеса в поперечном направлении; V_k — скорость качения колеса; $\bar{K}$ — коэффициент упругого скольжения. Величины сил N_k и ΔW_k определялись в виде $N_k = C_n f(x_k)$; $\Delta W_k = f_k C_n |f(x_k)|$, где C_n — горизонтальная жесткость подкранового рельса; f_k — приведенный коэффициент трения между ребордой и рельсом; $f(x_k)$ — нелинейная функция, равная

$$f(x_k) = \begin{cases} -(x_k + a) & \text{при } x_k < -a \\ 0 & \text{при } -a \leq x_k \leq a \\ -(x_k - a) & \text{при } x_k > a, \end{cases} \quad (7)$$

где x_k — суммарное смещение кранового колеса; a — половина свободного зазора между ребордой колеса и головкой рельса.

В упрощенном варианте металлоконструкция козлового крана представлялась в виде упругой системы с одной приведенной массой. При этом учитывались перемещения крана в поперечном направлении и поворот его вокруг центра масс как жесткого целого, а также упругие перемещения в поперечном направлении масс крана, приведенных к ходовым колесам. Расчеты показали, что максимальное расхождение значений боковых сил, полученных с использованием уточненной и упрощенной методик при аналогичных условиях эксплуатации колеблется от 1 до 9%.

Так как при исследовании процесса установившегося движения

основное внимание уделялось вопросу определения боковых сил, то в работе проводился ряд расчетов, позволяющих произвести оценку влияния на их значения различных факторов. Из расчетных данных следует, что с увеличением величины зазора a с 10 мм до 20 мм боковые нагрузки увеличиваются ~ на 25%. Если жесткость подкрановых путей увеличить в три раза, то нагрузки на реборды возрастают ~ на 30%.

Силы, действующие на реборды, существенно зависят от монтажных углов перекоса осей ходовых колес. Неблагоприятными с точки зрения износа реборд крановых колес будут такие сочетания поворотов осей ходовых колес, при которых нагрузки на реборды за время движения крана не уменьшаются. На базе упрощенной модели производились расчеты для различных вариантов перекосов колес (рис. 2). Проведенное исследование показывает, что если колеса развернуты по схемам а) и б), то нагрузки на реборды максимальны и не уменьшаются во времени. Если оси ходовых колес повернуты по схемам в) и г), максимальные силы на реборды имеют тот же порядок, но далее быстро убывают по величине. Если же колеса развернуты по схеме д), максимальные нагрузки на реборды невелики. При движении эти нагрузки убывают до нуля, крановые колеса отходят от рельсов.

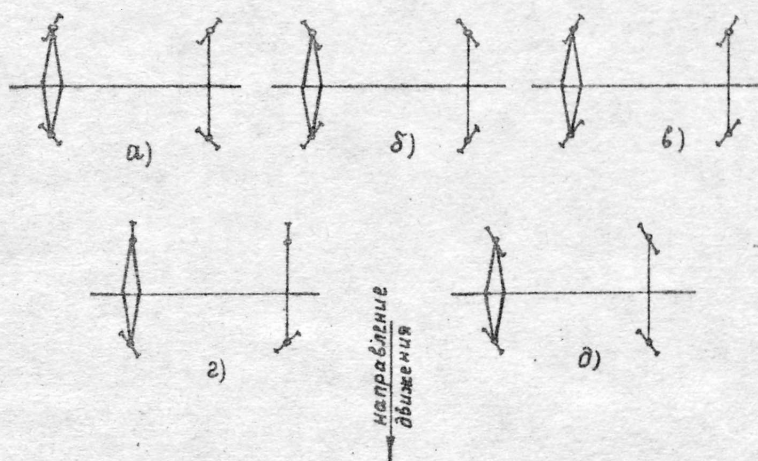


Рис. 2

Анализ полученных результатов показывает, что максимальные нагрузки на реборды, определенные по разработанным уточненной и упрощенной моделям, в среднем на 15-25% выше значений боковых сил, полученных по РТМ 24.090.28-77, ~ в два раза больше по сравнению со значениями, вычисленными по ОСТ 24.090.72-83.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Разработана методика определения динамической нагруженности металлоконструкций козловых кранов в период нестационарного движения.

Произведено уточнение динамической модели крана, учитывающей различие приводных сил и сил сопротивления на сторонах крана; изменение тяговых сил при переходе с одной механической характеристики на другую; положение крановой тележки в пролете крана; влияние высоты подвеса груза; пространственную жесткость металлоконструкции.

Показано, что для козловых кранов с различной жесткостью опор при их нестационарном движении наибольшие динамические напряжения возникают в сечении пролетного строения, примыкающем к жесткой опоре, и в элементах конструкции, соединяющих пролетное строение с жесткой опорой.

2. Разработана методика определения среднеквадратичных отклонений упругих перемещений приведенных масс крана и реакций в противоугонных захватах, возникающих вследствие пульсации скорости ветра. Показано, что максимальные силы, действующие на противоугонные захваты, вычисленные с учетом пульсации скорости ветра, могут более чем в 1,5 раза превышать значения соответствующих сил, вычисленных по средней скорости ветра.

3. Разработана методика определения среднеквадратичных напряжений в элементах конструкции козловых кранов, вызванных пульсациями скорости ветра. Показано, что в движущихся козловых кранах наибольшие напряжения от ветровых нагрузок, вызванных случайной составляющей скорости ветра, возникают в элементах конструкций, соединяющих пролетное строение с опорами, в случае расположения грузовой тележки на конце консоли гибкой опоры.

Динамические напряжения в металлоконструкциях движущихся козловых кранов, возникающие от ветровых нагрузок, связанных с пульсациями скорости ветра, могут быть существенно больше стати-

ческих напряжений, возникающих от ветровых нагрузок, соответствующих средней скорости ветра.

4. Разработана методика определения динамических нагрузок, возникающих в металлоконструкциях козловых кранов при движении их с установившейся скоростью центра масс, позволяющая учитывать различие приводных сил и сил сопротивления на сторонах моста; высоту подвеса груза; жесткость металлоконструкции как в продольном, так и в поперечном направлениях; жесткость подкранового пути; величину свободного зазора между ребордой кранового колеса и головкой рельса; монтажные перекосы осей ходовых колес.

Расчеты показали, что при увеличении величины свободного зазора и жесткости подкрановых путей нагрузки, действующие на реборды ходовых колес со стороны рельсов возрастают. Исследование, проведенное на ЭВМ, позволило выяснить влияние взаимных углов перекося на величины максимальных боковых сил и продолжительность их действия.

5. Разработан пакет прикладных программ, позволяющий определить динамические нагрузки и соответствующие напряжения, возникающие в элементах металлоконструкций козловых кранов при нестационарном движении, при движении центра масс крана с постоянной скоростью, а также при воздействии случайной составляющей скорости ветра.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Спицына Д.Н., Фомичева В.Ф. Исследование работы металлоконструкции оболочечного козлового крана при перекосе//Изв.вузов Машиностроение. -1982. - № 12. С.77-80.
2. Спицына Д.Н., Фомичева В.Ф. Исследование металлоконструкции однобалочного козлового крана//Вестник машиностроения. -1983: № 10. -С.21-24.
3. Спицына Д.Н., Фомичева В.Ф. К вопросу о динамическом воздействии ветра на козловые краны//Вестник машиностроения. -1983: № 5. -С.32-35.
4. Спицына Д.Н., Фомичева В.Ф. Исследование на ЭВМ напряженного состояния и статической жесткости металлоконструкций козловых кранов//Новое в подъемно-транспортной технике:Тез.докл.Всес. конф. -М., 1985. -С.46.

5. Спицына Д.Н., Фомичева В.Ф. Исследование на ЭВМ динамических нагрузок, возникающих при работе механизма передвижения //Новое в подъемно-транспортной технике:Тез.докл.Всес.конф. -М., 1985. -С.64.
6. Спицына Д.Н., Фомичева В.Ф. Исследование динамики металлоконструкции козловых кранов при разгоне//Вестник машиностроения -1986. -№9. -С.35-38.
7. Спицына Д.Н., Фомичева В.Ф. Оценка динамического воздействия ветровых нагрузок на металлоконструкции козловых кранов //Проблемы развития и совершенствования подъемно-транспортной техники:Тез.докл.Всес.конф., г.Красноярск, 24-26 мая 1988г. -М., 1988. -С.57-59.

Спицына

Л - 15395 от 21.5.1990 Зак. 595
Объем 1л. Тираж 100 экз. Типография МГТУ.
107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская, 5.