

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ МОСТОВОГО КРАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИВАРИАНТНЫХ РАСЧЕТОВ

В. ПЕТРЕНКО, П. ЖЕВЖИКОВ

Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литовская Республика

В работе рассматриваются некоторые вопросы динамики подъемных кранов мостового типа. В этот класс включены и козловые краны, передвигающиеся по наземному рельсовому пути. Как один из вариантов, можно привести путевые козловые краны семейства КПБ, которые используются на базах, где изготавливаются элементы железнодорожных путей при особенно большой длине крановых путей. В таких условиях очень важным фактором эффективности использования кранов, является скорость их передвижения между рабочими позициями. Соответственно, увеличивая максимальную скорость, можно существенно повысить эффективность работы. Однако следует отметить, что параметры подъемных кранов регламентированы действующими стандартами их производства, монтажа и правилами безопасной эксплуатации.

Цель нашего исследования – изучение влияния геометрических отклонений точности установки рельсового пути на возникающие, при увеличении скорости передвижения крана, динамические процессы. В данном исследовании мы использовали возможности программного комплекса „Universal Mechanism” (UM). Этот программный пакет предназначен для симуляции плоскостных и пространственных динамических систем [1]. Для создания модели был использован модуль моделирования систем железнодорожного транспорта. Благодаря встроенным опциям, мы использовали заготовки моделей колес и возможности моделирования пути с его свойствами и неровностями. Так же для моделирования гибких упругих деталей был использован программный комплекс ANSYS WORKBENCH, геометрия деталей крана была предварительно создана в графическом пакете КОМПАС 3D.

Модель крана разрабатывалась в несколько этапов (рисунок 1). На начальном этапе была создана абсолютно жесткая модель козлового крана без груза. На следующем этапе модель представлена без вертикальных опор в виде мостового крана. Сравнение параметров движения показало возможность применения этого упрощения. К данной модели добавляется подвешенный груз.

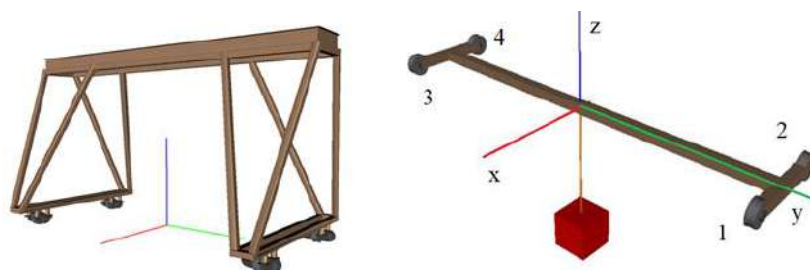


Рисунок 1 – Начальная (слева) и конечная (справа) версии модели крана

Модель подкранового пути представлена в виде безмассовой модели рельсового пути, где рельсы, шпалы и другие части пути взаимодействуют как безмассовые силовые элементы. В модели рельсов используются рельсы Р65 с диссипативными свойствами: вертикальная жесткость 66 МН/м, боковая жесткость 24 МН/м, жесткость на кручение 6,6 МН/м, вертикальное демпфирование 0,4 МН с/м и боковое демпфирование 0,1 МН с/м. Для оценки контактных сил колеса и рельса использовался алгоритм Fastsim, основанный на линейной теории сил ползучести Калкера.

Для создания неровностей на подкрановом пути (длиной 100 м) использовался алгоритм задания неровностей по спектрам, разработанный Федеральным агентством железных дорог (FRA) США. В модели пути использовался спектр неровностей шестого класса качества железных дорог. Требования к геометрии неровностей подкрановых путей отличаются от требований к железнодорожному пути [2, 3], поэтому спектры вертикальных и горизонтальных неровностей были изменены. Неровности подкранового железнодорожного пути были проверены с помощью специального модуля для оценки состояния пути.

Компьютерная симуляция процессов была разделена на три этапа. На первом этапе была создана абсолютно жесткая модель козлового крана, аналогичная крану модели КРВ в комплексе с моделью подкранового пути, разработанной на основе безмассовой модели классического железнодорожного пути. По результатам численных экспериментов была признана неудовлетворительной. Динамическое поведение этой модели не соответствует действительности, поскольку периодически происходит отрыв одного из колес крана от рельса, и мостовой кран практически движется на трех колесах, нормальная сила между колесом и рельсом распределена неравномерно, частота колебаний ее значений неадекватно высока.

На втором этапе была проведена серия численных экспериментов при определенных скоростях движения крана и с дальнейшей модификацией модели крана, подкрановых путей и условий движения. На этом этапе уточнялись и апробировались выбранные критерии оценки динамического поведения крана.

На заключительном этапе была проведена серия экспериментов, определяющих влияние увеличения скорости крана на изменение динамических параметров. В серии численных экспериментов скорость мостового крана последовательно изменялась с 0,5 м/с до 2,9 м/с, с шагом 0,2 м/с. Для анализа динамического поведения модели крана было определено несколько переменных: нормальная сила, стандартное отклонение нормальной силы, общая боковая сила, действующая на колесо, боковое перемещение колес и колесных пар на шаге рельсовой колеи и другие. Так, например, среднее квадратичное отклонение нормальной силы колес мостового крана для диапазона скоростей от 0,5 до 2,9 м/с показано на рисунке 2. Очевидно, что с увеличением скорости силы контакта между колесом и рельсом увеличиваются. Например, для скорости 0,7 м/с среднее квадратичное отклонение нормальных сил для первого колеса не превышало 16,8 кН, а для скорости 2,9 м/с среднее квадратичное отклонение нормальных сил не превышало 19,6 кН.

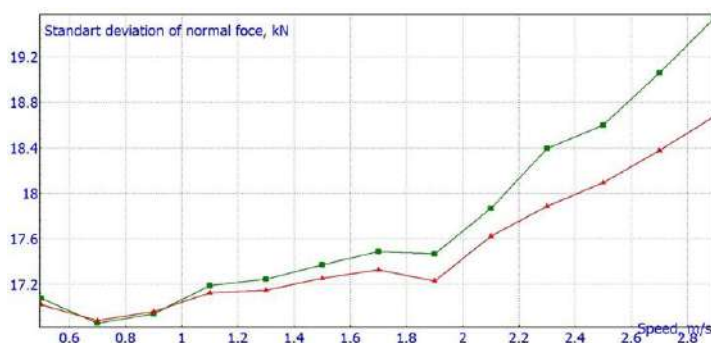


Рисунок 2 – Среднее квадратичное отклонение нормальных сил реакции «рельс – колесо» для 2-го колеса (зеленый) и 4-го колеса (красный) для диапазона скоростей от 0,5 до 2,9 м/с

Боковая сила, действующая на колесо, также увеличивается. Для второго колеса при скорости 0,7 м/с среднее квадратичное отклонение боковой силы, действующей на колесо, не превышает 1,4 кН, а при скорости 2,9 м/с среднее квадратичное отклонение боковой силы не превышает 2,6 кН.

Анализируя результаты численных экспериментов, мы можем выработать определенные рекомендации по оценке критической скорости мостовых кранов. Максимальная скорость (1 м/с) для кранов типа КРВ устанавливается производителем в строгом соответствии с Правилами безопасности [2, 3], но результаты численных экспериментов доказывают, что силы контакта между колесом и рельсом, при заданных неровностях, резко возрастают с 1,6 до 1,8 м/с. Это означает, что определенным образом усовершенствовав качество и методы контроля имеющихся путей, возможно увеличение критической скорости кранов без изменения их конструкции, что позволит повысить эффективность работы мостовых кранов.

Список литературы

- 1 Laboratory of Computational Mechanics. Simulation of Rail Vehicle Dynamics Homepage [Electronic resource]. – Mode of access : http://www.universalmechanism.com/download/80/eng/08_um_loco.pdf. – Date of access : 30.09.2021.
- 2 LST EN 15011:2021. Kranai. Tiltiniai ir ožiniai kranai.
- 3 ГОСТ Р 56944–2016 Краны грузоподъемные. Пути рельсовые надземные. Общие технические условия. – Введ. 2017-04-01. – М. : Стандартинформ, 2016.
- 4 Лобов, Н. А. Динамика передвижения кранов по рельсовому пути / Н. А. Лобов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. – 226 с.