

Рис. 4.Визначення оберненої кінематики

Прийняв $\bar{q}_{2,желпол}$ та $\bar{q}_{3,желпол}$ як бажані кути на основі теореми косинусів, можна записати:

$$\bar{q}_{3,желпол} = a \cos\left(\frac{r_2^2 + r_3^2 - r_D^2}{2r_2r_3}\right) \quad (7)$$

де $r_2 = \sqrt{j_2j_3}$ и $r_3 = \sqrt{j_3j_{KT,желпол}}$

Знаючи бажані координати робочого органу, діагональ, яка ділить чотирикутник $0 - j_2 - j_3 - KT_{желпол}$, можна записати у вигляді:

$$r_D = |r_{KT,желпол} - r_{j_3}| \quad (8)$$

Бажаний кут повороту $\bar{q}_{2,желпол}$ при цьому дорівнює підсумовування верхньої та нижньої кутами 2й спільно. Два кути можуть бути визначені шляхом застосування теореми косинусів в обох трикутниках:

$$\bar{q}_{2,желпол} = a \cos\left(\frac{r_{j_2}^2 + r_D^2 - r_{KT,желпол}^2}{2r_{j_2}r_D}\right) \quad (9)$$

Бажані узагальнені змінні потім визначається як:

$$q_{2,желпол} = \bar{q}_{2,желпол} - a \tan\left(\frac{2\bar{r}_{j_3}(z)}{2\bar{r}_{j_3}(x)}\right) \quad (10)$$

$$q_{3,желпол} = \bar{q}_{3,желпол} - a \tan\left(\frac{2\bar{r}_{j_3}(z)}{2\bar{r}_{j_3}(x)}\right) - a \tan\left(\frac{3\bar{r}_{KT}(z)}{3\bar{r}_{KT}(x)}\right) \quad (11)$$

УДК 624.27

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛЕЖКИ МОСТОВОГО КРАНА С ГРУЗОМ

М.В. Дубовая, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

В рамках решения задачи разработки системы автоматического предотвращения колебаний груза при движении мостового крана получена и линеаризована математическая модель движения тележки с грузом на жестком подвесе.

В рамках розв'язання задачі розробки системи автоматичного запобігання коливань вантажу при русі мостового крана отримано та линеаризовано

3 рівнянь (10) і (11) узагальненим кутом тепер чітко визначені в певному положенні крана.

Зверніть увагу, що таке унікальне розв'язання тільки при заданому подовженні телескопічної ланки.

Висновки

Подальше вдосконалення КМУ пов'язано з їх роботизацією. Представлені рівняння кінематики, що описують просторове положення ланок РО КМУ необхідні як для дослідження поведінки РО, так і для визначення траєкторії його руху, що забезпечує потрібне позиціонування ковша.

Перспективними напрямками розвитку КМУ є впровадження в них автоматизованих інтелектуальних систем керування операціями, підвищення універсальності їхнього використання, поліпшення умов роботи операторів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Волянюк В. О. Шляхи удосконалення крано-маніпуляторних установок / В. О. Волянюк // ГБДММ. – 2013. – № 81. – С. 26 – 32.
2. Ловейкін В. С. Моделювання робочих процесів машин / В. С. Ловейкін, Д. О. Міщук // ГБДММ. – 2010. – № 76. – С. 35 – 40.
3. Ловейкін В. С. Области збереження енерговитрат у вантажних маніпуляторах на транспортних засобах / В. С. Ловейкін, Д. О. Міщук // ГБДММ. – 2010. – № 75. – С. 47 – 52.
4. Щербаков В. С. Автоматизация проектирования устройств управления положением платформы строительной машины / Щербаков В. С., Корытов М. С., Григорьев М. Г. – Омск : СибАДИ, 2011. – 119 с.
5. Щербаков В. С. Создание системы автоматизации для построения оптимальной траектории движения рабочего органа строительного манипулятора / Щербаков В. С., Корытов М. С., Григорьев М. Г. – Омск : СибАДИ, 2010. – 129 с.
6. Щербаков В. С. Система автоматизированного моделирования стрелового грузоподъемного крана / Щербаков В. С., Корытов М. С., Григорьев М. Г. – Омск : СибАДИ, 2010. – 129 с.
7. Зенкевич С. Л. Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами (учебник для вузов) / С. Л. Зенкевич, А. С. Юценко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 400 с.
8. Шахинпур М. Курс робототехники / Шахинпур М. [перевод с английского С.С.Дмитриева]. – М.: Мир, 1990. – 564 с.
9. Гонсалес Р. Робототехника / Гонсалес Р., Фу К., Ли К.; пер. с англ. А. А. Сорокин – М.: Мир, 1989. – 624 с

математичну модель руху візка з вантажем на жорсткому підвісі.

The mathematical model of the trolley with a load with rigid suspension has been built and linearized in the framework of the solution of the problem of development of a crane's load anti-oscillation control system.

Ключевые слова: кран, колебания груза, математическая модель

Введение

Современные поточные технологические и автоматизированные линии, межцеховой и внутрицеховой транспорт, погрузочно-разгрузочные операции на складах и перевалочных пунктах органически связаны с применением разнообразных типов подъемно-транспортных машин, обеспечивающих непрерывность и ритмичность производственных процессов. Одним из разновидностей подъемно-транспортных машин являются краны мостового типа. Мостовые краны используются для обслуживания прямоугольных площадок – будь то мелкий склад, крупный цех или производственная линия с множеством элементов. Поэтому производительность мостовых кранов во многом определяет эффективность современного производства.

Одной из проблем, с которой сталкиваются при усовершенствовании кранов – колебания груза во время его транспортировки из одной точки в другую. Эти колебания затрудняют и задерживают погрузочно-разгрузочные работы, уменьшают точность их выполнения, а также снижают безопасность. Все это обуславливает необходимость создания систем предотвращения и гашения таких колебаний. Для этого необходимо построение и исследование математических моделей движения крана с грузом.

Анализ литературы

Существуют три группы способов устранения колебаний груза [1–6]: маневрирование механизмами ручным управлением; применение специальных подвесок или направляющих; использование систем управления приводами крановых механизмов. Однако первый способ требует высокой квалификации крановщика и связан с его избыточной физической и психологической усталостью, а второй – с необходимостью изменения конструкции гибкого подвеса, включением в эту конструкцию ненадежных и массивных элементов. Кроме того, они в современных темпах перегрузочных работ не способны обеспечить высокое качество устранения колебаний груза. Поэтому перспективной является третья группа способов.

В [7–8] предложены алгоритмы работы системы предотвращения колебанием груза, разработанные на основе методов вариационных методов и принципа максимума Понтрягина. Однако вариационные методы не позволяют учитывать присутствующие в системе ограничения ,например, на управляющие воздействия. Применение же принципа максимума не учитывает изменения, происходящие в системе, т.к. не предусматривает наличие обратной связи.

В [9] рассмотрена система предотвращения колебаний груза крана, основанная на применении нечеткой логики. Преимущество такого подхода заключается в том, что он позволяет устранять колебания груза даже при внешних стохастических воздействиях. Однако нечеткому регулированию также свойственны недостатки: сильная зависимость от субъективных методов экспертов, неоптимальный набор правил нечеткого вывода и прочее. Тем не менее, по нашему мнению, системы на использовании нечеткой логики являются одними из наиболее перспективных.

Цель работы

При применении любого из указанных выше или других методов управления предотвращения колебаний груза необходимо исследовать протекающие процессы при движении груза. Поэтому целью нашей работы является построение математической модели процесса колебаний груза мостового крана во время его транспортировки.

Изложение основного материала

При построении математической модели крана будем ориентироваться на рис. 1. На рис. 1 приняты следующие обозначения: M – масса тележки и полезной нагрузки [кг]; m – масса груза [кг]; L – длина троса [м]; α – угол между тросом и вертикалью [рад]; F – сила, действующая со стороны привода тележки [Н]; F_k – сила натяжения троса [Н]; F_p – сила реакции рельс [Н]; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; x – перемещение тележки [м]; i, j, k – единичные векторы; $v_m = L\dot{\alpha}(t)$ – скорость движения груза относительно тележки.

Примем следующие допущения: трос и кран являются жесткими телами; центр тяжести равномерно распределен по всей длине троса L ; силы сопротивления движению не учитываются; движение осуществляется только в одной плоскости xOy ; колебания в механизме крана, а также колебания крановой металлоконструкции отсутствуют.

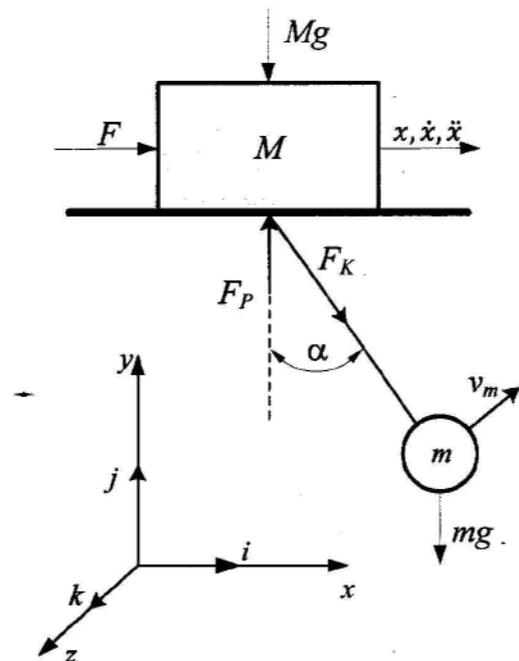


Рис. 1. Простая модель тележки крана

Уравнения движения тележки запишем на основе второго закона Ньютона:

$$m\ddot{x}(t) = F_k \sin \alpha(t) + F \cdot mx(t) = F_k \sin \alpha(t) + F \quad (1)$$

$$mg + F_k \cos \alpha(t) = F_p \quad (2)$$

Технология приборостроения

Скорость груза описывается следующим уравнением:

$$\bar{v}(t) = \dot{x}(t)i + L\dot{\alpha}(t)\cos\alpha(t) \cdot i + L\dot{\alpha}(t)\sin\alpha(t) \cdot j \quad (3)$$

Ускорение груза получим, продифференцировав по времени уравнение (3):

$$\bar{a} = \ddot{x}(t)i + L\ddot{\alpha}(t)\cos\alpha(t) \cdot i - L\dot{\alpha}^2(t)\sin\alpha(t) \cdot i + L\ddot{\alpha}(t)\sin\alpha(t) \cdot j + L\dot{\alpha}^2(t)\cos\alpha(t) \cdot j. \quad (4)$$

Тогда, на основе второго закона Ньютона, мы можем найти составляющие ускорения по осям x и y :

$$-F_k \sin\alpha(t) = m(\ddot{x}(t) + \ddot{\alpha}(t)L\cos\alpha(t) - \dot{\alpha}^2(t)L\sin\alpha(t)) \quad (5)$$

$$F_k \cos\alpha(t) - mg = m(\ddot{\alpha}(t)L\sin\alpha(t) + \dot{\alpha}^2(t)L\cos\alpha(t)). \quad (6)$$

Предположим, что угол α и скорость $\dot{\alpha}$ малы, тогда, $\sin\alpha(t) \approx \alpha(t)$, $\cos\alpha(t) \approx 1$ и $\ddot{\alpha}(t) \approx 0$. С учетом этих допущений, нелинейные уравнения (1)–(2) и (5)–(6) можно записать в следующем виде:

$$F - F_k(t) = M\ddot{x}(t), \quad (7)$$

$$mg + F_k = F_p, \quad (8)$$

$$-F_k\alpha(t) = m(\ddot{x}(t) + \ddot{\alpha}(t)L), \quad (9)$$

$$F_k = mg + (\alpha(t)\ddot{\alpha}(t)), \quad (10)$$

Подставив уравнение (9) в (7), получим:

$$F = (M + m)\ddot{x}(t) + mL\ddot{\alpha}(t) \quad (11)$$

На основе уравнений (9) и (10) с учетом того, что при малых $\alpha(t)$ $\alpha^2(t) \approx 0$, получим:

$$-\ddot{x}(t) = \ddot{\alpha}(t)L + g\alpha(t) \quad (12)$$

Тогда

$$F = -ML\ddot{\alpha}(t) - (M + m)g\alpha(t) \quad (13)$$

Преобразуем уравнение (13) по Лапласу

$$F = [-MLs^2 + (M + m)g]\alpha(s) \quad (14)$$

И получим передаточную функцию, описывающую движение тележки с грузом:

$$\frac{\alpha}{F} = \frac{-1}{MLs^2 + (M + m)g} \quad (15)$$

Умножив (15) на mg окончательно получим

$$\frac{\alpha}{F/mg} = \frac{-1}{s^2/\omega^2 + (1 + m/M)} \quad (16)$$

где

$$\omega^2 = \frac{g}{L}.$$

Полученная передаточная функция описывает процесс перемещения мостовым краном груза.

Выводы

Полученная математическая модель является упрощенным описанием движения тележки мостового крана с грузом. С ее помощью можно исследовать влияние на колебания груза массы тележки и груза, длины троса, скорости развиваемой двигателем привода тележки, а также сил сопротивления движению, что является основой при проектировании системы предотвращения колебаний груза. С решением указанных задач будут связаны наши дальнейшие исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Смахов А.А. Оптимальное управление подъемно-транспортными машинами [Текст] / А.А. Смахов, Н.И. Срофеев. – М.: Машиностроение, 1975. – 239 с.
2. Григоров О.В. Вантажопідйомні машини: навчальний посібник [Текст] / О.В. Григоров, Н.О. Петренко. – Х.: НТУ „ХПИ”, 2006. – 304 с.
3. Сиротский В.Ф. Продолжительность циклов порталных кранов [Текст] / В.Ф. Сиротский, П.П. Артемьев // Портовые краны. – 1960. – № 2. – С. 3–7.
4. Казак С.А. Динамика мостовых кранов [Текст] / С.А. Казак – М.: Машиностроение, 1968. – 331 с.
5. Гаранин Н.П. Грузоподъемные машины на речном транспорте: [учебник для студентов вузов] / Н.П. Гаранин, В.И. Брауде, П.П. Артемьев. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Транспорт, 1991 – 319 с.
6. Бушер В.В. Асинхронный электропривод подъемно-транспортных механизмов с микропроцессорным управлением: автореф. дисс. канд. техн. наук: спец. 05.09.03 „Электрические комплексы и системы, включая их управление и регулирование” [Текст] / В.В. Бушер. – Одесса, 1993. – 16 с.
7. Ловейкін В.С. Теорія технічних систем: [Текст] / В.С.Ловейкін, І.І.Назаренко, О.Г.Онищенко. – Київ, Полтава:ІЗМН–ПДТУ, 1998. – 176 с.
8. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводов, Текшиева И.В. Особенности использования нечетких моделей в задачах управления движением мехатронных объектов [Текст] /И.В. Текшиева, Ц. Дуньюэ, Ю.В. Подураев, К.Р. Карлов, И.Л. Ермолов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2007. – №10. – С. 30–33.
9. Свиргун В.П. Разработка оптимальных законов управления мостовым грейферным краном и применение микропроцессорной системы для их реализации: автореф дисс. канд. техн. наук: спец. 05.05.05 „Подъемно-транспортные машины” [Текст] / В.П. Свиргун. –Х., 1989. – 15 с.