

© **Иванов В.Н., Исьемини И.И., Седов И.Б.**

ДИНАМИКА НАЕЗДА ПЕРЕДВИЖНЫХ КРАНОВ НА ТУПИКОВЫЙ УПОР

Актуальность

При эксплуатации передвижных кранов (мостового типа и башенных) вопросы защиты грузоподъемных кранов в концевых участках пути остаются весьма актуальными [1]. Известны случаи, когда вследствие угона крана ветром кран деформирует и сбивает тупиковые упоры. При этом могут иметь место падение грузоподъемного крана, разрушение его, а также человеческие жертвы. По материалам расследований большая часть аварий кранов происходит по причине применения неисправных тупиковых упоров или таких, которые не соответствуют типоразмеру крана.

Постановка проблемы

В настоящее время появляется все больше башенных кранов V и VI типоразмерных групп. Такие краны имеют бóльшую грузоподъемность, более высокий грузовой момент, более высокие скорости передвижения и, соответственно, обладают большей кинетической энергией, чем грузоподъемные краны III и IV типоразмерных групп.

Таким образом, необходимо знать величину энергии, которой обладает грузоподъемный кран с грузом на гибком подвесе при наезде на тупиковый упор для того, чтобы разработать такую защитную систему и такой энергоемкий тупиковый упор, которые бы выполняли свою функцию по остановке грузоподъемного крана и полностью гасили его кинетическую энергию.

Анализ исследований

Профессор Б.С. Ковальский в своих работах [2] писал, что выбор типа противоугонного устройства диктуется многими соображениями – режимом работы крана, его конструкцией, местными условиями, а также соображениями экономическими, стремлением упростить кран и удешевить его.

Решением данной проблемы и попыткой создания энергоемкого тупикового упора занимались многие ученые. Например, проф. А.В. Мартынов и др. создали противоугонное устройство грузоподъемного крана, основными составными частями которого были центробежный ограничитель скорости и профилированный упор [3]. Иваненко О.И. также предложил гравитационный тупиковый упор с использованием дополнительных роликовых опор, которые позволяют увеличить сопротивление движению практически на порядок [4].

Постановка задачи

Рассмотреть процесс наезда грузоподъемного крана с грузом на гибком подвесе на тупиковый упор. Разработать математическую модель движения крана с грузом.

Основной материал

Рассмотрим движение башенного крана массой M_K с грузом массой M_G (рис. 1). Вылет стрелы крана – L . Длина подвеса груза – h . Центр масс крана (без груза) C_K расположен на высоте h_C . Скорость движения крана V_K . Начальное положение крана – O .

Данная механическая система имеет две степени свободы. За обобщенные координаты выберем абсциссу x положения центра масс крана и угол φ отклонения груза от вертикали.

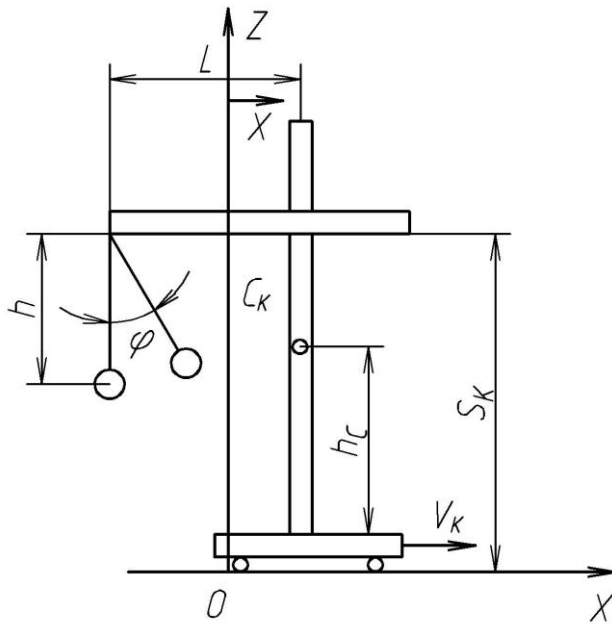


Рис. 1 – Схема движения крана

Составим дифференциальные уравнения крана и груза, используя уравнения Лагранжа второго рода, которые для данной механической системы имеют такой вид:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial T}{\partial x} = Q_x, \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_\varphi, \quad (2)$$

где T – кинетическая энергия системы, состоящая из суммы кинетических энергий крана T_K и кинетической энергии груза T_G ;

Q_x , Q_φ – обобщенные силы, соответствующие обобщенным координатам x и φ соответственно.

Найдем кинетическую энергию системы $T = T_K + T_G$

Кран движется поступательно, поэтому

$$T_K = \frac{M_K V_K^2}{2} = \frac{M_K \dot{x}^2}{2} \quad (3)$$

Груз на подвесе совершает сложное движение.

Найдем абсолютную скорость груза: $\vec{V}_\Gamma^{ABC} = \vec{V}_\Gamma^{OT} + \vec{V}_K^{ПЕР}$. По теореме косинусов имеем (рис. 2):

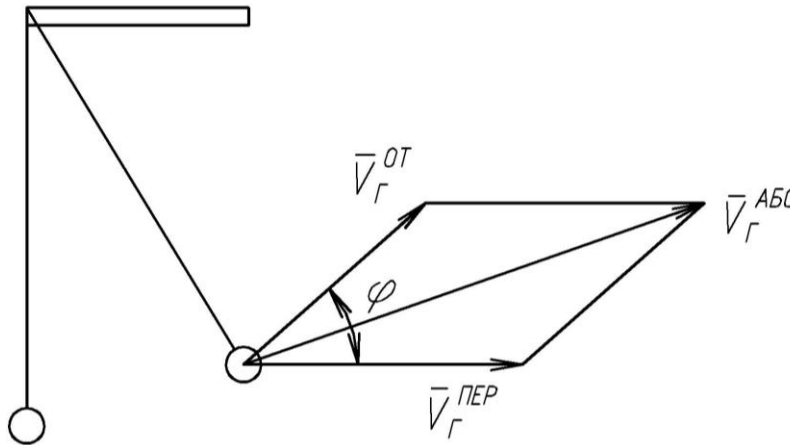


Рис. 2 – Схема скоростей движения груза

$$\langle \vec{V}_\Gamma^{ABC} \rangle^2 = \langle \vec{V}_\Gamma^{OT} \rangle^2 + \langle \vec{V}_K^{ПЕР} \rangle^2 + 2 \langle \vec{V}_\Gamma^{OT} \rangle \langle \vec{V}_K^{ПЕР} \rangle \cos \varphi \quad (4)$$

Так как $V_{\dot{E}}^{IAD} = \dot{x}$, $V_\Gamma^{OT} = \dot{\varphi} h$, подставив в формулу для кинетической энергии груза имеем

$$T_{\dot{A}} = \frac{\dot{I}_{\dot{A}} \langle \vec{V}_{\dot{A}}^{AA\dot{N}} \rangle^2}{2} = \frac{1}{2} \dot{I}_{\dot{A}} \dot{\varphi}^2 h^2 + \frac{1}{2} M_{\dot{A}} \dot{x}^2 + \dot{I}_{\dot{A}} \dot{x} \dot{\varphi} h \cos \varphi \quad (5)$$

Таким образом,

$$T = \frac{1}{2} \langle \dot{I}_{\dot{A}} \rangle + \dot{I}_{\dot{K}} \dot{x}^2 + M_{\dot{A}} \dot{x} \dot{\varphi} h \cos \varphi + \frac{1}{2} M_{\dot{A}} \dot{\varphi}^2 h^2 \quad (6)$$

Потенциальная энергия системы

$$\Pi = M_{\Gamma} g \left(\frac{h}{c} - h \cos \varphi \right) + M_{\kappa} g h c \quad (7)$$

Выразим величины, входящие в уравнения (6) и (7):

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} = (M_{\bar{A}} + \dot{I}_{\bar{E}}) \dot{x} + \dot{I}_{\bar{A}} \dot{\varphi} h \cos \varphi, \quad (8)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) = (M_{\bar{A}} + \dot{I}_{\bar{E}}) \ddot{x} + \dot{I}_{\bar{A}} \ddot{\varphi} h \cos \varphi - M_{\bar{A}} \dot{\varphi}^2 h \sin \varphi, \quad (9)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = \dot{I}_{\bar{A}} \dot{x} h \cos \varphi + M_{\bar{A}} \dot{\varphi} h^2, \quad (10)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) = \dot{I}_{\bar{A}} \ddot{x} h \cos \varphi + M_{\bar{A}} \ddot{\varphi} h^2 - M_{\bar{A}} \dot{x} \dot{\varphi} h \sin \varphi, \quad (11)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (12)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = -M_{\bar{A}} \dot{x} \dot{\varphi} h \sin \varphi, \quad (13)$$

$$Q_x = -\frac{\partial \Pi}{\partial x} = 0, \quad (14)$$

$$Q_{\varphi} = -\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} = -M_{\Gamma} g h \sin \varphi. \quad (15)$$

Подставляя найденные выражения в исходные дифференциальные уравнения, получим

$$\left. \begin{aligned} (M_{\bar{A}} + \dot{I}_{\bar{E}} \ddot{x}) + \dot{I}_{\bar{A}} \ddot{\varphi} h \cos \varphi - M_{\bar{A}} \dot{\varphi}^2 h \sin \varphi &= 0 \\ \dot{I}_{\bar{A}} \ddot{X} h \cos \varphi + M_{\bar{A}} \ddot{\varphi} h^2 + M_{\bar{A}} g h \sin \varphi &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Интегрируя эти уравнения при следующих начальных условиях $t = 0, \dot{x} = 0, \dot{\varphi} = \frac{V_K}{h}, x_0 = 0, \varphi_0 = 0$ и полагая угол φ малым $\sin \varphi \approx \varphi, \cos \varphi \approx 1$, получаем

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \frac{V_K}{hk} \sin kt \\ X &= M_{\bar{A}} \frac{V_K}{h} t - \frac{M_{\bar{A}} h}{M_{\bar{A}} + M_K} \frac{V_K}{hk} \sin kt \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

где

$$k^2 = \frac{M_{\Gamma} hg}{M_{\Gamma} h^2 - \frac{M_{\Gamma}^2}{M_{\Gamma} + M_K} h^2}. \quad (18)$$

Вывод.

Получены уравнения движения грузоподъемного крана с грузом на гибком подвесе при наезде на тупиковый упор. Эти уравнения могут быть использованы при оценке влияния подвешенного груза на процесс остановки кранов в тупиковых участках пути, а также при оценке энергоемкости тупиковых упоров различных грузоподъемных кранов (башенных и мостового типа).

Список использованных источников

1. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів : ДНАОП 0.00-1.03-02. / Держ. нагляд. за охороною праці. – Х. : ФОРТ, 2002. – 416 с.

2. Ковальский Б.С. Грузоподъемные машины. Передвижение кранов / Б. С. Ковальский. – Х. : ХВКИУ, 1963. – 216 с.
3. Пат. 25623 (UA) МПК⁶ В 66 С 9/00. Протиугінний пристрій вантажопідйомного крану / А. В. Мартинов, В. І. Дейнега, В. М. Іванов [та ін.] / Східноукр. держ. ун-т. – № 95083840 ; заявл. 30.10.98 ; опубл. 30.10.98. – 2 с.
4. Іваненко О. І. Удосконалення захисних протиугінних систем вантажопідіймальних кранів / О. І. Іваненко // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2002. – № 1–2. – С. 16–17.

Іванов В.Н., Ісьємини І.І., Сєдов І.Б. «Динамика наезда передвижных кранов на тупиковый упор»

В работе рассматривается процесс наезда грузоподъемного крана с грузом на гибком подвесе на тупиковый упор. Получены уравнения движения грузоподъемного крана, которые могут быть использованы при оценке влияния подвешенного груза на процесс остановки кранов в тупиковых участках пути, а также при оценке энергоемкости тупиковых упоров различных грузоподъемных кранов (башенных и мостового типа).

Іванов В.М., Ісьєміні І.І., Сєдов І.Б. «Динаміка наїзду пересувних кранів на тупиковий упор»

У роботі розглянуто процес наїзду вантажопідйомного крана з вантажем на гнучкому підвісі на тупиковий упор. Отримано рівняння руху вантажопідйомного крана, які можуть бути використані при оцінці впливу підвішеного вантажу на процес зупинки кранів у тупикових ділянках шляху, а також при оцінці енергоємності тупикових упорів різних вантажопідійомних кранів (баштових і мостового типу).

Ivanov V.N., Isyemini I.I., Sedov I.B. “Dynamics of a tripping-over of the portable cranes to the track buffer stop”

In this article is researched the process of a tripping-over of the hoisting crane with a load at the flexible suspension to the track buffer stop. The equations of motion of the hoisting crane, which can be used for the estimation of the influence of the hooking load to the process of stopping of the hoisting cranes in the dead-end siding of a track section, and also for the estimation of duty of the track buffer stops of different hoisting cranes (of a tower and overhead type) are received.