

**К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ
СТАБИЛИЗАЦИИ ГРУЗА ДЛЯ КРАНОВ ТИПА «МОСТОВОЙ»
С УЧЕТОМ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ**

В данной статье рассмотрено влияние изменения длины нити (каната) маятника на амплитуду затухающих колебаний подвешенного груза при заданных начальных параметрах в условиях эксплуатации мостового крана. Приведены основные соотношения переходных процессов в исследуемых механизмах главного подъема. Построена аналитическая схема управления системой противораскачивания груза. Описаны моменты сил, приведенные к точке подвеса (катушке запасовки канатов), при регулировании положения груза в пространстве. Построены графики амплитуд затухающих колебаний при разных длинах плеча маятника. Рассмотрены частные случаи положения груза относительно точки подвеса для определения оптимальной длины нити, при которой система, состоящая из асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, преобразователя частоты, промышленного логического контроллера, датчика угла наклона, датчика нагрузки и группы конечных выключателей, будет работать наиболее эффективно без участия оператора в режиме противораскачивания. Для обеспечения безопасности расположенных на уровне земли рабочих и техники рассчитаны и предложены варианты по установке конечного выключателя на уровне, который определяет допустимое крайнее положение груза, при котором можно начинать подрегулирование длины маятника в сторону уменьшения. Также для обеспечения продолжительности и надежности работы мостового крана была рассмотрена возможность установки конечных выключателей в ключевых точках для ускорения и плавного торможения механизма главного подъема. Предложен спектр необходимых компонентов для реализации подобной системы. Разработана логика работы системы противораскачивания груза.

Ключевые слова: система противораскачивания груза, частота, амплитуда затухающих колебаний, мостовой кран, датчик угла наклона, промышленный логический контроллер ПЛК, частотный привод.

Павленко Я.В., Бурлака В.В. До питання створення автоматизованих систем стабілізації вантажу для кранів типу «мостовий» з урахуванням зовнішніх факторів. В даній статті розглядається вплив зміни довжини нитки (канату) маятника на амплітуду згасаючих коливань підвішеного вантажу при заданих початкових параметрах в умовах експлуатації мостового крана. Наведені основні співвідношення перехідних процесів в досліджуваних механізмах головного підйому. Побудована аналітична схема управління системою противокачання вантажу. Описано моменти сил, наведені до точки підвісу (катушці запасування канатів), при регулюванні положення вантажу в просторі. Побудовано графіки амплітуд згасаючих коливань при різних довжинах плеча маятника. Розглянуто окремі випадки положення вантажу щодо точки підвісу для визначення оптимальної довжини нитки, при якій система, що складається з асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, перетворювача частоти, промислового логічного контролера, датчика кута нахилу, датчика навантаження і групи кінцевих вимикачів, буде працювати найбільш ефективно без участі оператора в режимі противокачання. Для забезпечення безпеки роз-

¹ студент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, yaroslav_pavlenko_1995@mail.ru

² канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, vburlaka@rambler.ru

ташованих на рівні землі робітників і техніки, розраховані та запропоновані варіанти по установці кінцевого вимикача на рівні, який визначає допустиме крайнє положення вантажу, при якому можна починати підрегулювання довжини маятника в сторону зменшення. Так само, для забезпечення тривалості та надійності роботи мостового крана була розглянута можливість установки кінцевих вимикачів в ключових точках для прискорення і плавного гальмування механізму головного підйому. Запропоновано спектр необхідних компонентів для реалізації подібної системи. Розроблена логіка роботи системи противокачання вантажу.

Ключові слова: система противокачання вантажу, частота, амплітуда згасаючих коливань, мостовий кран, датчик кута нахилу, промисловий логічний контролер ПЛК, частотний привід.

Y.V. Pavlenko, V.V. Burlaka. On designing the cargo stabilization system for bridge cranes with regard to external factors. This paper considers the influence of the change in the length of the pendulum string (rope) on the amplitude of the suspended cargo damped oscillations for the given initial parameters under the bridge crane operating conditions. The basic relations of the transient processes in the investigated mechanisms of the main ascent have been given. An analytical scheme for controlling the cargo anti-swaying system has been constructed. The force moments brought to the suspension point (coil of the rope stock) when adjusting the position of the cargo in space have been described. Graphs of damped oscillations amplitudes have been constructed for different lengths of the pendulum arm. Several special cases of the cargo position relative to the hanging point have been considered for determining the optimal length of the rope in which a system consisting of: an induction motor with a cage rotor, a frequency converter, an industrial logic controller, an inclination angle sensor, a load sensor and a group of end switches - will work most efficiently without the attention of the operator in the anti-swaying mode. To ensure the safety of the workers and equipment on the ground, options have been calculated and proposed for setting the end switch at a level that determines the permissible extreme position of the load at which the pendulum length can be adjusted decreasing. What is more, to ensure the duration and reliability of the bridge crane operation, the possibility of setting end switches at key points for acceleration and smooth braking of the main lift mechanism has been considered. The spectrum of necessary components for realization of such a system has been offered. The logic of the work of the cargo anti-swaying system has been developed.

Keywords: cargo anti-swaying system, frequency, amplitude of damped oscillations, bridge crane, inclination angle sensor, industrial logic controller, frequency drive.

Постановка проблеми. Каждое движение мостового крана с подвешенным грузом приводит к его колебаниям, поэтому оператор крана должен постоянно корректировать свои действия с учетом этого раскачивания. На сегодняшний день уже существуют системы противораскачивания груза. Как следствие, оператор может сосредоточиться на управлении краном, его перемещении, позиционировании и опускании груза в нужную точку. Однако возрастающие требования к производительности, т. е. интенсивности перемещения груза, предполагают поиск более совершенных систем, позволяющих решить данную задачу.

Анализ последних исследований и публикаций. Поиску решений по гашению колебаний груза во время работы мостового крана уделяется большое внимание [1]. Активно применяется система противораскачивания с прямой обратной связью, где ключевыми компонентами являются камера и рефлектор (отражатель). Камера с высоким разрешением используется для измерения отклонения крюка или другого типа грузозахватного органа от своей оси. А в случае эксплуатации крана в закрытом помещении устанавливают «слепую» систему, работающую без учета факторов внешней среды. Все логические действия производятся, исходя из характеристики нагрузки, заложенной в программу. Наиболее преуспела в точности позиционирования и контроля груза финская компания «Koncranes» [2]. Основной идеей разработанных специалистами компании систем является четкое воздействие на ускорение и замедление механизмов крана с учетом массогабаритных параметров груза. Такие системы противораскачивания со-

держат большое количество датчиков, передающих данные на промышленный логический контроллер (ПЛК) и преобразователей частоты (ПЧ), что позволяет воздействовать на механизмы в широком диапазоне точности. Однако установка любой системы противораскачивания на данный момент приводит к снижению времени выполнения операций, так как при малейшем отклонении груза от своей оси ПЛК дает команду ПЧ на замедление механизма передвижения для успокоения колебаний и последующей работе на пониженной частоте. Это является основной проблемой всех систем, ввиду невозможности ускорения механизма передвижения после гашения колебаний. Следовательно, вопрос безопасного увеличения интенсивности перегрузочных работ мостовых кранов до сих пор открыт и актуален.

Цель работы – определение условий повышения стабилизации груза при его перемещении для мостового крана на основе математической модели, выполненной в Simulink. Описать логику работы и предложить реальную модель системы противораскачивания.

Изложение основного материала. Первоначально необходимо построить аналитическую схему системы противораскачивания груза главного подъема мостового крана, представив каждое звено в виде передаточных функций. Механизм главного подъема состоит из асинхронного двигателя с подведенным к нему питанием от преобразователя частоты, редуктора, катушки барабана для запасовки канатов и условного математического маятника с грузом в виде крюка.

Рассмотрим динамику работы АД при управлении напряжением, подаваемом на обмотку статора [3]. Электромагнитными переходными процессами пренебрегаем и рассматриваем только электромеханический процесс. В общем виде момент вращения электродвигателя является функцией частоты вращения и напряжения на зажимах обмотки статора, а статический момент сопротивления зависит от частоты вращения.

Изменение напряжения ΔU , подаваемого на обмотку статора, вызывает соответствующие изменения моментов и частоты вращения. При единичном сигнале $\Delta U(p) = U(p)$, $\Delta \Omega(p) = \Omega(p)$. Передаточная функция АД при управлении напряжением, подаваемом на обмотку статора, имеет вид:

$$W(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{k_{\text{дв}}}{T_{\text{эм}} \cdot p + 1}, \quad (1)$$

где $k_{\text{дв}}$ и $T_{\text{эм}}$ – переменные параметры, значения которых зависят от точки на механической характеристике, около которой происходит регулирование.

Передаточная функция редуктора находится как:

$$k_{\text{ред}} = \frac{\omega_{\text{б}}}{\omega_{\text{дв}}}, \quad (2)$$

где $\omega_{\text{б}}$ – угловая скорость вращения катушки барабана запасовки канатов; $\omega_{\text{дв}}$ – угловая скорость вращения вала двигателя.

В качестве примера разберем математическую модель маятника [4], изображенную на (рис. 1), у которого длина нити является периодической функцией времени: $L = L(t)$.

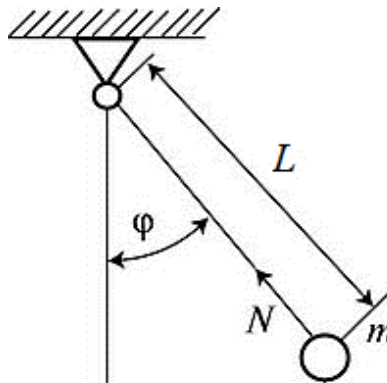


Рис.1 – Схема математического маятника: L – длина нити маятника, м; N – сила натяжения нити, Н; φ – угол между вертикалью и нитью, град; m – масса груза, кг

Поскольку движение груза происходит по дуге окружности радиуса L , то его положение характеризуется в каждое мгновение углом φ . Линейная скорость и ускорение равны:

$$v = L \cdot \frac{d\varphi}{dt}; \tag{3}$$

$$\alpha = L \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2}. \tag{4}$$

Согласно уравнениям (3), (4) и рис. 1 выведем уравнение количества движения:

$$m \cdot L \cdot \frac{d^2\phi}{dt^2} = -m \cdot g \cdot s \sin \phi, \tag{5}$$

где g – ускорение свободного падения, м/с².

Тогда момент количества движения маятника относительно точки подвеса O находится как:

$$M_{к.дв.} = m \cdot L^2 \cdot \phi. \tag{6}$$

Момент силы тяжести или он же момент сопротивления, приложенный к катушке барабана (т. е. к точке O), равен:

$$M_c = -m \cdot g \cdot L \cdot s \sin \phi. \tag{7}$$

На основе выражений (1), (2), (7) построим аналитическую схему системы противораскачивания груза (рис. 2).

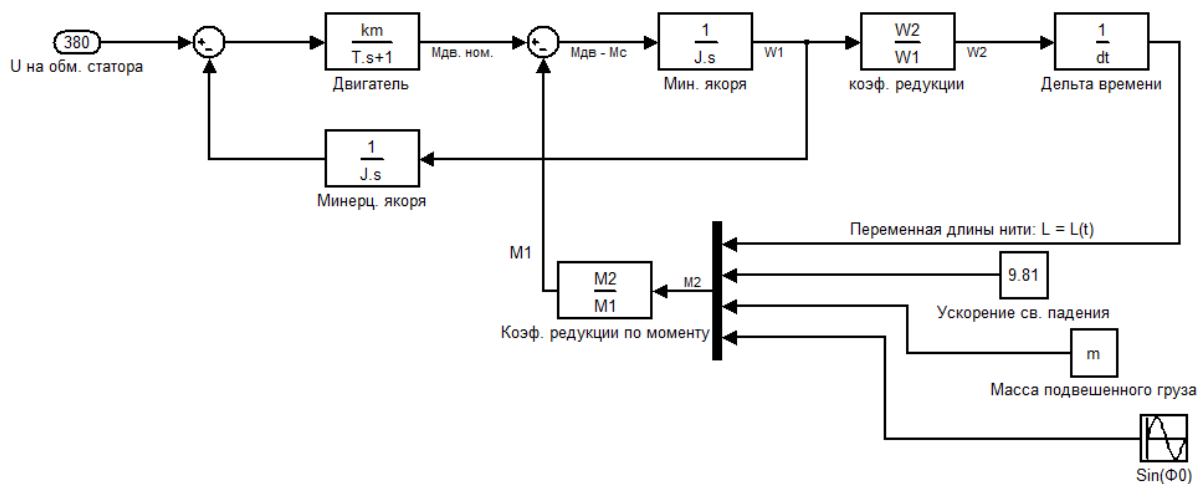


Рис. 2 – Аналитическая схема системы противораскачивания груза

Анализ рис. 2 и выражения (7) показал, что момент сопротивления состоит из массы груза, ускорения свободного падения, синуса начального угла и длины нити. Первые три величины условно являются константами, а четвертая – переменной. Следовательно, чем короче длина L нити маятника, тем меньше момент сил тяжести, приложенный к точке подвеса.

Посчитаем, при каком изменении длины ΔL нити маятника с подвешенным грузом зависимость качества затухания колебаний за заданное время t наиболее оптимальна.

В данной задаче рассмотрим 3 частных случая положения груза относительно точки подвеса при $L1 = 3$ м; $L2 = 6$ м; $L3 = 9$ м. Начальный угол φ_0 равен 30°.

Сделаем такие допущения:

- нить маятника однородна и нерастяжима и влияет на другие параметры только изменением своей длины;
- средняя скорость сматывания нити 1 м/с. Параметр зависит от радиуса катушки барабана, частоты вращения двигателя и коэффициента редукции;
- расстояние от точки подвеса нити (катушка барабана мостового крана) до условной земли – 14 м. Поэтому допустимое крайнее нижнее положение груза, при котором можно начинать регулирование длины каната в сторону уменьшения, равно 9 м. Данное значение было

принято исходя из высоты техники, которая может находиться непосредственно под краном. При проектировании электрической схемы в данной точке необходимо установить конечный выключатель, чтобы контроллер фиксировал положение 9 м.

Введем значения констант для данной задачи:

$m = 3.5 \cdot 10^3$ – масса пустого крюка, кг;

$g = 9.81$ – коэффициент ускорения свободного падения;

$b = 0.2$ – коэффициент затухания колебаний с учетом коэффициента формы груза [5];

$t = 0, 0.05 \dots 6$ – заданное время, по истечении которого получаем конечную амплитуду затухающих колебаний;

$\varphi = 30^\circ$ – начальный угол отклонения плеча маятника относительно нормали.

Определим период и частоту колебаний маятника с длиной нити $L1 = 3$ м; $L2 = 6$ м; $L3 = 9$ м по формулам (8) и (9), соответственно:

$$T(L) = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}; \quad (8)$$

$$\nu = \frac{1}{T}, \quad (9)$$

где T – период колебаний, с; ν – частота колебаний, 1/с.

Тогда из выражений (8) и (9) вычислим: $T1 = T(L1) = 3.475$ с; $T2 = T(L2) = 4.914$ с; $T3 = T(L3) = 6.018$ с; $\nu1 = \nu(T1) = 0.288$ 1/с; $\nu2 = \nu(T2) = 0.204$ 1/с; $\nu3 = \nu(T3) = 0.166$ 1/с.

Найдем момент сил тяжести, приведенный к точке подвеса, в данном случае к катушке запасовки канатов, по формуле:

$$M_c(L) = -m \cdot g \cdot L \cdot \sin \phi. \quad (10)$$

Из формулы (10) имеем:

$$M_c(L1) = -5.15 \cdot 10^4 \text{ Нм}; M_c(L2) = -1.03 \cdot 10^5 \text{ Нм}; M_c(L3) = -1.545 \cdot 10^5 \text{ Нм}.$$

Вычислим начальную амплитуду колебаний [4] по выражению:

$$A_0(L) = L \cdot \sin \phi. \quad (11)$$

Подставим в выражение (11) значения $L1, L2, L3$: $A_0(L1) = 1.5$ м; $A_0(L2) = 3$ м; $A_0(L3) = 4.5$ м.

Рассчитаем амплитуду затухающих колебаний по формуле (12). Время t изменяется от 0 до 6 с, с шагом $\Delta t = 0.05$ с.

$$A(t) = A_0 \cdot L \cdot e^{-bt}. \quad (12)$$

Подставив в выражение (12) значения функций $A_0(L1), A_0(L2), A_0(L3)$, построим графики функций (рис. 3) $A1(t), A2(t), A3(t)$.

Из графиков функций на рис. 3 видно, что при уменьшении длины нити при прочих равных условиях амплитуда затухающих колебаний в несколько раз меньше, а успокоение груза достигается за более короткий период времени.

Тогда зададим определение для режима «противораскачивания» в условиях работы мостового крана при изложенном типе подрегулирования. Под режимом «противораскачивания» будем подразумевать процесс, при котором система обладает способностью безопасного подрегулирования длины плеча маятника в сторону его уменьшения без участия оператора до заданного положения.

На основе представленных теоретических данных можно перейти к практической части.

Механизм главного подъема должен соответствовать таким требованиям:

- высокая скорость гашения колебаний;
- продуктивность выполняемых работ в режиме противораскачивания;
- надежность оборудования, безопасность оператора и транспортируемого груза;
- относительно низкая стоимость технического обслуживания и ремонта;

Для реализации системы на основе заявленных требований нам необходимо:

- реле контроля напряжения с питанием от сети: в случае повышения или понижения напряжения в сети в течение нескольких секунд передает аварийный сигнал ПЛК об останове механизма;

- асинхронный двигатель (АД) с короткозамкнутым ротором, подключенный по схеме

«звезда» к преобразователю частоты. Необходимо дополнительно установить датчик перегрева. При его срабатывании ПЛК останавливает работу механизма подъема. Вал двигателя через редуктор передает необходимый момент на катушку барабана;

- преобразователь частоты, к которому подводится питание от сети через дроссель. Далее к релейному выходу подключаем катушку контактора открытия тормоза, сигналы задания направления и скорости поступают с джойстика через ПЛК на цифровые и аналоговые входы ПЧ, соответственно. На дискретные входы ПЧ через экранированный заземленный кабель передаются сигналы с энкодера, установленного на вал двигателя;

- роторные конечные выключатели (КВ) в количестве не менее 7 штук, которые механически через редуктор крепятся к валу катушки запасовки канатов. Электрически КВ подключаются к ПЛК;

- программируемый логический контроллер. На цифровые блоки входов поступают такие сигналы: с конечных выключателей аварийный стоп вверх/вниз, стоп вверх/вниз, замедление вверх/вниз, противораскачивание разр./запр., тормоз открыт/закрыт, двигатель перегрет, повышенное/пониженное напряжение в сети; с джойстика задание направления вверх/вниз, положение в нуле; с тумблера или кнопки режим противораскачивания вкл./выкл. На аналоговый блок входов сигналы: 0...10V DC задания скорости с потенциометра; с датчика нагрузки, представляющего собой мост Уинстона; с датчика угла наклона, снимающего показания по двум осям. Счетчик считывает данные с энкодера и передает их через общую шину обмена данными на ПЛК. С блока цифровых выходов поступают сигналы задания направления на ПЧ, а с блока аналоговых выходов сигнал задания скорости 0...10V DC;

- два диодных моста, подключенных в схему подхвата и удержания тормоза, соответственно, а так же реле времени, позволяющее замыкать цепь удержания в заданное время и размыкать цепь подхвата. Данные цепи подведены к контактору открытия тормоза;

- дисковый тормоз, подключенный к цепям открытия и удержания тормоза.

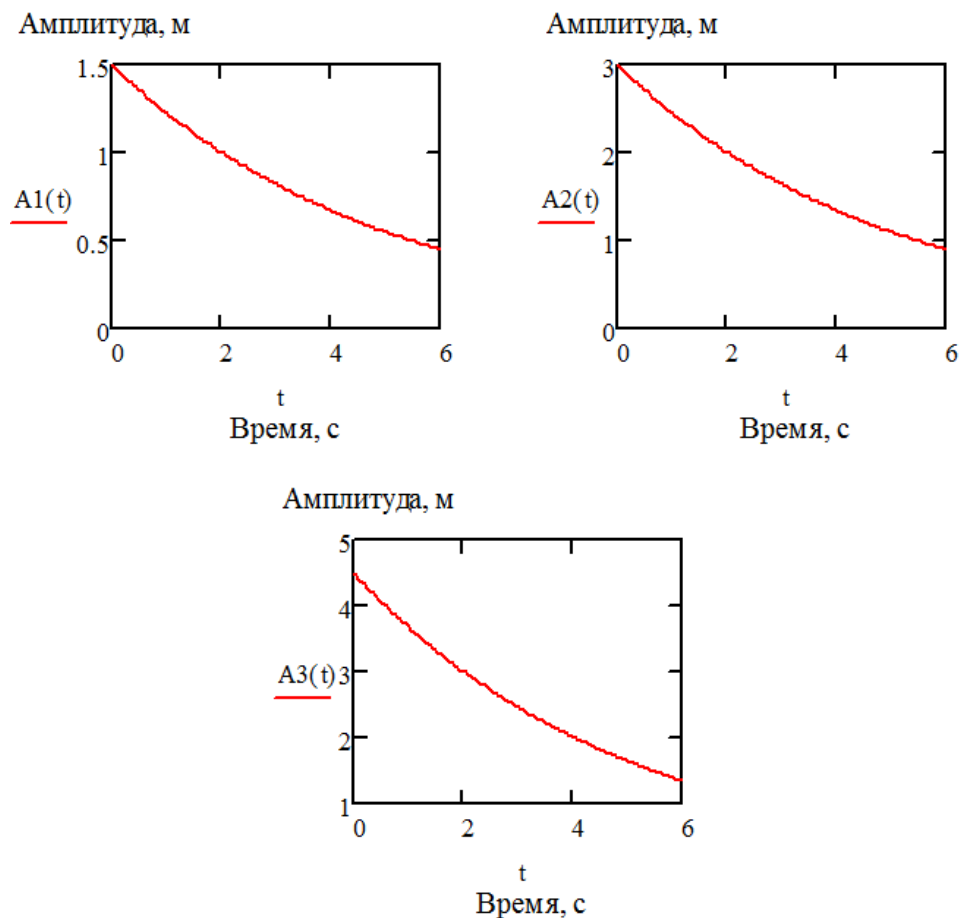


Рис. 3 – Функции затухающих колебаний $A_1(t)$, $A_2(t)$, $A_3(t)$

Логика работы системы главного подъема при поднятии груза «вира». Оператор с помощью джойстика задает сигналы направления и скорости на ПЛК. ПЛК обрабатывает данные, полученные с датчика нагрузки в режиме реального времени, для построения грузоскоростной характеристики и конечных выключателей «стоп и замедление», далее на их основе задает направление и скорость на цифровые и аналоговый входы ПЧ. ПЧ задает нулевую частоту на обмотки двигателя, чтобы удерживать ротор АД во время открытия тормоза. Релейный выход ПЧ подает питание на катушку контактора открытия тормоза и срабатывает цепь подхвата тормоза. Через заданное время реле времени переключает цепь подхвата на цепь удержания тормоза и тормоз удерживается в открытом положении до завершения движения АД. Срабатывает конечный выключатель «тормоз открыт» и передает данные на цифровой блок входов ПЛК. В случае если данный КВ не сработает, ПЛК прекращает задание направления и скорости и выдает аварийный сигнал. Далее ПЧ задает необходимую частоту и при поднятии крюка с грузом до заданного уровня срабатывает КВ «противораскачивание разрешено». Данное условие необходимо, чтобы знать на каком уровне относительно земли находится груз, во избежание аварии в случае нахождения на земле какого-либо оборудования или техники. Энкодер, механически подключенный к валу двигателя, передает информацию о его частоте вращения на ПЛК и ПЧ, и в случае несоответствия частоты заданной инвертором и собственной частоты вращения АД, ПЛК останавливает механизм. Далее оператор ставит джойстик в нулевое положение и включает режим противораскачивания груза с тумблера или кнопки в случае раскачивания груза. Нулевое положение джойстика – обязательное условие логического включения противораскачивания. ПЛК посылает сигналы задания направления и скорости на ПЧ на сокращение длины троса до момента, когда датчик угла наклона будет регистрировать минимальное отклонение троса от условной нейтрали или по достижении уровня КВ «замедление вверх». Когда амплитуда колебаний достигает минимума, оператор выключает режим противораскачивания. Если необходимо поднять груз выше, это можно сделать на пониженной частоте до КВ «стоп вверх».

При опускании груза «майна». Оператор с помощью джойстика задает направление и скорость на ПЛК. ПЛК также обрабатывает все данные о массе груза и его положении и на их основе задает направление и скорость опускания на ПЧ. ПЧ задает нулевую частоту на обмотки двигателя, релейный выход ПЧ подает питание на катушку контактора открытия тормоза, далее двигатель набирает обороты. Оператор ставит джойстик в нулевое положение и происходит динамическое торможение постоянным током, т. е. генераторный режим. В данном режиме работы при росте напряжения на шине постоянного тока в ПЧ питание сбрасывается на разрядный резистор. Если груз не преодолел уровень КВ «противораскачивание разрешено», в случае качания груза, оператор также может воспользоваться режимом противораскачивания, а затем опустить груз на землю.

Выводы

В работе описана математическая модель определения закономерностей раскачивания груза при разной длине невесомой нерастяжимой нити и прочих равных условиях. На ее основе построена аналитическая схема маятника, наглядно доказывающая, что при увеличении длины нити начальная амплитуда затухающих колебаний и время затухания больше, чем при ее уменьшении. Поэтому уменьшение длины плеча маятника является эффективным методом для успокоения подвешенного колеблющегося тела. Исходя из этого, был проведен анализ оптимальной длины плеча маятника, при которой можно безопасно начинать подрегулирование противораскачиванием положения груза мостового крана с заданной скоростью. Предоставлен необходимый перечень оборудования для реализации системы противораскачивания. Предложена логическая схема работы механизма главного подъема с системой противораскачивания. Описанное решение по вопросу подрегулирования противораскачиванием груза мостового крана до момента успокоения является инновационным в своей сфере, т. к. подобных решений до сих пор не рассматривалось.

Список использованных источников:

1. Противораскачивание груза [Электронный ресурс] : [Веб-сайт]. – Электронные данные. – Режим доступа: www.dvesta.com/technical-solutions/special-functions-for-cranes-in-the-composition-of-the-management/crane-antisway.html. – Название с экрана.

2. Интеллектуальные функции для мостовых кранов [Электронный ресурс] : [Веб-сайт]. – Электронные данные. – Режим доступа: www.ru.konecranes.ua/intellektualnye-funkcii-dlya-mostovykh-kranov. – Название с экрана.
3. Сидоров С.Н. Теория автоматического управления в задачах электропривода : учебное пособие / С.Н. Сидоров, Н.А. Лунина. – Ульяновск : УЛГТУ, 2013. – 122 с.
4. Савельев И.В. Курс общей физики : учебное пособие / И.В. Савельев. – М. : Наука, 1970. – 508 с. – 2 т. – (Механика, колебания и волны, молекулярная физика).
5. Расчет коэффициента формы [Электронный ресурс] : [Веб-сайт]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.physicedu.ru/phy-1592.html>. – Название с экрана.

References:

1. *Protivoraskachivanie gruza* (Anti-load of cargo) Available at: www.dvesta.com/technical-solutions/special-functions-for-cranes-in-the-composition-of-the-management/crane-antisway.html (accessed 15 April 2018) (Rus.)
2. *Intellektual'nye funktsii dlia mostovykh kranov* (Smart functions for bridge cranes) Available at: www.ru.konecranes.ua/intellektualnye-funkcii-dlya-mostovykh-kranov (accessed 03 June 2018) (Rus.)
3. Sidorov S.N., Lunina N.A. *Teoriia avtomaticheskogo upravleniia v zadachakh elektroprivoda: ucheb. posobie* [The theory of automatic control in electric drive problems: a tutorial]. Ulyanovsk, UISTU Publ., 2013. 122 p. (Rus.)
4. Saveliev I.V. *Kurs obshchei fiziki. Tom 2 – Mekhanika, kolebaniia i volny, molekuliarnaia fizika* [The course of general physics. Volume 2 – Mechanics, Oscillations and Waves, Molecular Physics]. Moscow, Science Publ., 1970. 508 p. (Rus.)
5. *Raschet koeffitsienta formy* [Calculation of the form factor] Available at: www.physicedu.ru/phy-1592.html (accessed 30 June 2018) (Rus.)

Рецензент: А.И. Симкин
канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 20.08.2018

УДК 621.313.5/8; 621.314.2

doi: 10.31498/2225-6733.37.2018.160279

© Дьяченко М.Д.¹, Коромысленко В.Ю.²

ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К СОЗДАНИЮ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЦИФРОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТОКА

В статье рассмотрены предпосылки создания высоковольтных измерительных трансформаторов тока, обладающих практически абсолютной электрической прочностью и широким динамическим диапазоном, способных обеспечить требования по точности как для коммерческого учета электроэнергии, так и для аппаратуры релейной защиты, которые могут быть использованы для любых классов напряжений. Показано, что наиболее целесообразно произвести разделение цифровых потоков измерений токов уже непосредственно после интегратора катушки Роговского, а сам интегратор выполнить пассивного типа. Такое решение позволяет относительно малыми затратами обеспечить необходимые параметры преобразования сигнала, удовлетворяющие требованиям как коммерческого учета электроэнергии, так и аппаратуры релейной защиты подстанций.

Ключевые слова: измерительный трансформатор тока, цифровой поток, катушка Роговского, сеть передачи данных цифровой потенциометр.

¹ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, signnet.dmd@gmail.com

² студент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь