

УДК 681.52

## СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГРУЗОВ, ПЕРЕМЕЩАЕМЫХ МОСТОВЫМИ КРАНАМИ С СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО УСПОКОЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ

<sup>1</sup>Мещеряков В.Н., <sup>2</sup>Колмыков В.В.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет», Липецк,

e-mail: mesherek@stu.lipetsk.ru;

<sup>2</sup>ОАО «НЛМК», Липецк, e-mail: kolmykov\_vv@mail.ru, dmitrymigunov@yahoo.com

В статье рассмотрено устройство подавления колебаний груза, перемещаемого мостовыми кранами. Предложена функциональная схема трехмассовой электромеханической системы механизма передвижения тележки с системой управления с косвенной ориентацией по вектору потокосцепления ротора асинхронного двигателя с устройством ограничения колебаний груза. Рассмотрены способы определения параметров перемещаемого груза (вес груза и длина подвеса), необходимые для функционирования устройства подавления колебаний. Наиболее предпочтительным способом определения веса груза является косвенный способ на основе энергетических характеристик электропривода подъема – зависимость потребляемой мощности от веса поднимаемого груза. Данная зависимость является линейной, что позволяет вводить ее в память программируемого логического контроллера по двум точкам. Длину подвеса можно определять с помощью датчика угла поворота барабана или пересчитывать в соответствии со скоростью электропривода и конструктивных параметров механизма подъема. Коррекция значения длины подвеса осуществляется по сигналу от датчика ограничителя высоты подъема.

**Ключевые слова:** мостовые краны, устройство подавления колебаний, способы определения веса поднимаемого груза, тензодатчик, способы определения длины подвеса

## METHODS FOR DETERMINING PARAMETERS OF CARGO TRANSPORTED BY BRIDGE CRANES WITH AUTOMATIC SWINGING SUPPRESSION SYSTEM

<sup>1</sup>Mescheryakov V.N., <sup>2</sup>Kolmykov V.V.

<sup>1</sup>Federal State Educational Institution of Higher Professional Education

«Lipetsk State Technical University», Lipetsk, e-mail: mesherek@stu.lipetsk.ru;

<sup>2</sup>OAO «NLMK», Lipetsk, e-mail: kolmykov\_vv@mail.ru, dmitrymigunov@yahoo.com

The article presents the device for swinging suppression of cargo transported by bridged cranes. The functional diagram of a three-mass electromechanical system of the ceiling crab drive mechanism with control system based on the indirect exposure to the vector of the rotor flux linkage of the induction motor and the device with the function of cargo swinging restriction is proposed. The methods of determining the parameters of transported cargo (weight and suspension length) used for the device for swinging suppression. The preferred method of determining the weight of the cargo is an indirect method based on the energy characteristics of the electric drive lift mechanism. It is a dependence of the power consumption from the cargo weight. This dependence is a linear, which allows to input this data in the memory of the controller by two points. The suspension length can be determined by the encoder of the winch or be counted in accordance with the actual speed and the parameters of the lifting mechanism. The value adjustment of the suspension length is based on a signal from the sensor of the height lifting limiter.

**Keywords:** bridge crane, device for swinging suppression, methods for determining the cargo weight, ceiling crab, methods for determining the suspension length

В современных системах автоматизации крановых механизмов электропривода выполняют функции ведомого звена. Высший уровень реализуется на базе программируемых логических контроллеров. Зарубежные поставщики кранового оборудования разрабатывают и предлагают потребителям специализированные системы управления, позволяющие подавлять колебания груза при движении подъемно-транспортных механизмов [1, 2].

При перемещении тележки (или моста) подвешенный груз подвержен раскачиванию. Без использования различных устройств ограничения колебаний только опытные операторы способны эффективно управлять перемещением груза. Использование систем подавления колебаний обеспечивает значительную экономии времени за счет снижения потерь времени на ожидание прекращения колебаний груза при выполнении сложных опе-

раций по точному позиционированию. Кроме того, раскачивание транспортируемого груза является одним из факторов, вызывающих деформацию конструкции мостовых кранов и увеличивающих нагрузку на привод [3].

Для разработки устройства ограничения колебаний из дифференциального уравнения, описывающего отклонение груза при движении тележки мостового крана [4], получим передаточную функцию

$$W_{гт}(p) = \frac{x_0(p)}{M_{дин.т}} = \frac{k_t / m_t}{p^2 + \frac{K_{св}}{m_t} p + \left(1 + \frac{m_t}{m_{II}}\right) \frac{g}{l_{II}}}, \quad (1)$$

где  $K_{св}$  – коэффициент сопротивления воздуха, учитывающий аэродинамическую

силу, наветренную площадь груза, изменение ветрового давления по высоте;  $x_0$  – отклонение груза от положения равновесия;  $l_n$  – длина подвеса;  $m_p$ ,  $m_T$  – масса груза и тележки.

Полученная передаточная функция представляет собой колебательное звено с коэффициентом усиления колебательного звена  $\frac{k_T l_n}{g(m_T + m_r)}$  и относительным коэффициентом затухания колебательного звена  $\frac{K_{св}}{2m_T} \sqrt{\frac{m_T l_n}{g(m_T + m_r)}}$ .

В процессе колебаний груза происходит их затухание. На интенсивность рассеивания энергии при колебаниях влияет много факторов. Известные способы ограничения колебаний [9], сводятся в конечном итоге к ограничению динамического момента или заданию определенного закона изменения динамического момента, вследствие которого колебания груза в конце переходного процесса отсутствуют. Таким образом, основным способом ограничения колебаний является изменение динамического момента в зависимости от величины отклонения перемещаемого груза от положения равновесия.

Использование модели для оценки раскачивания груза на основе внутренних переменных привода, длины грузового каната и веса груза позволит корректировать сигнал задания скорости электропривода (динамический момент), таким образом, что при достижении заданной скорости или остановки раскачка груза практически от-

сутствует. Для этого в систему управления необходимо ввести корректирующий сигнал, пропорциональный величине отклонения груза от положения равновесия [9].

Корректирующий сигнал, пропорциональный отклонению груза от положения равновесия, можно получить косвенно [9]. Для этого необходимо иметь модель системы «точка подвеса – груз». Используя передаточную функцию (1) и имея в каждый момент времени значение скорости точки подвеса груза, можно вычислить значение отклонения груза  $x_0$ .

На основании уравнения (1) строим схему устройства ограничения колебаний в плоскости движения тележки мостового крана [9]. Функциональная схема определения угла отклонения в плоскости движения тележки представлена на рис. 1. Входными параметрами являются ускорение тележки  $\frac{d\omega}{dt}$  – выход блока задатчика интенсивности и измеренные с помощью датчиков длина подвеса  $l_n$  и масса груза  $m_T$ . Выход – величина отклонения груза от вертикальной оси  $x_0$  в плоскости движения тележки.

Устройство [9] ограничения раскачивания груза в плоскости движения тележки содержит (рис. 1) задатчик интенсивности – 1; пропорциональные усилители 4, 9 и 18 с коэффициентами усиления  $K_T$ ,  $K_{св}$  и  $K_{кор,Т}$  соответственно; сумматоры – 5, 16, 19; интеграторы – 6, 7; делители – 8, 13 и 15; блоки умножения – 11, 14; блоки, формирующие константные значения: 10 (масса тележки – паспортные данные), 12 (ускорение свободного падения –  $9,81 \text{ м/с}^2$ ), 17 (число 1).

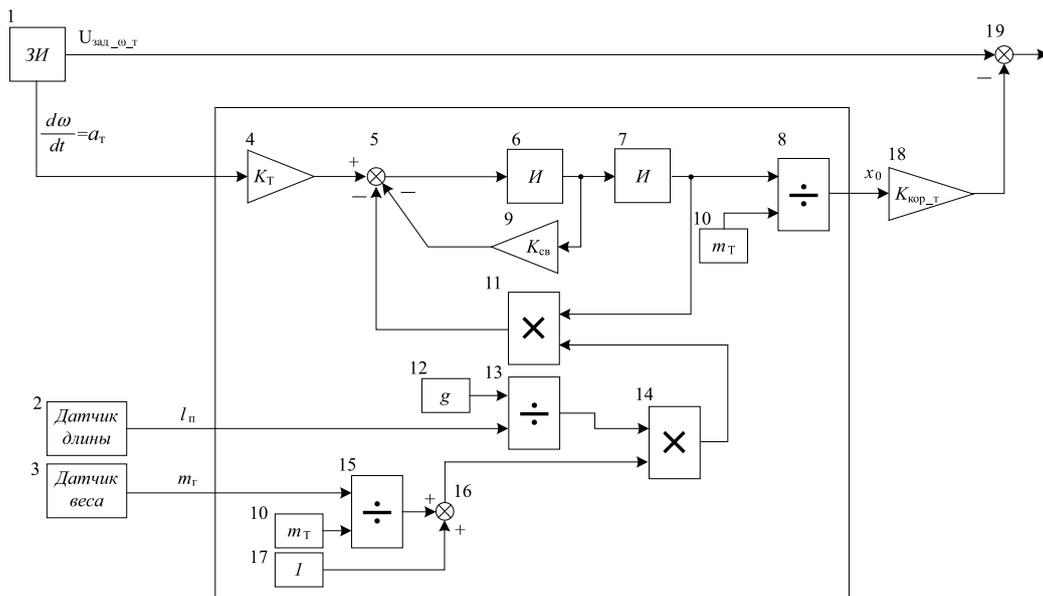


Рис. 1. Функциональная схема определения угла отклонения груза в плоскости движения тележки

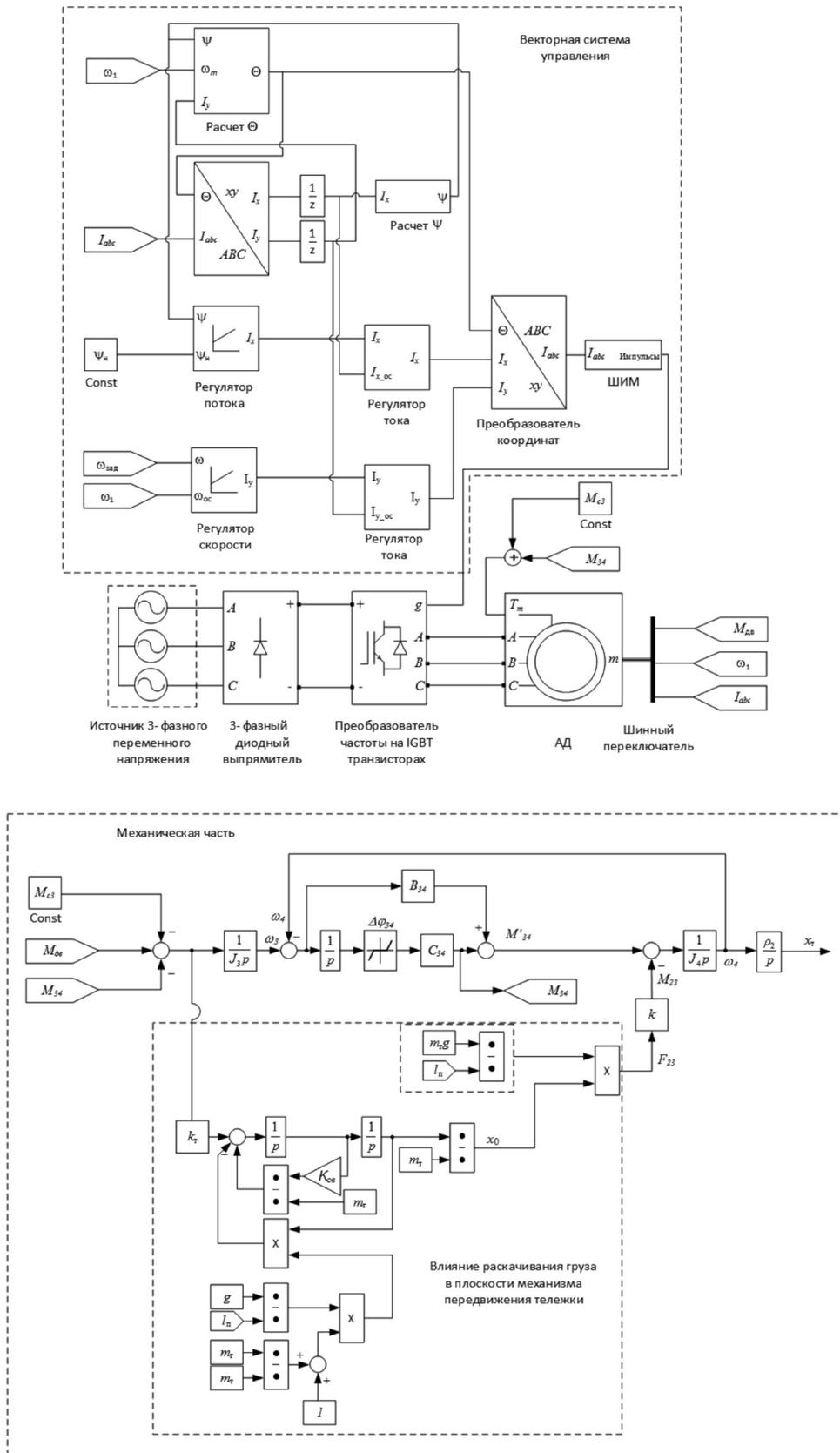


Рис. 2. Функциональная схема трехмассовой электромеханической системы механизма передвижения тележки с косвенной ориентацией по вектору потокосцепления ротора асинхронного двигателя

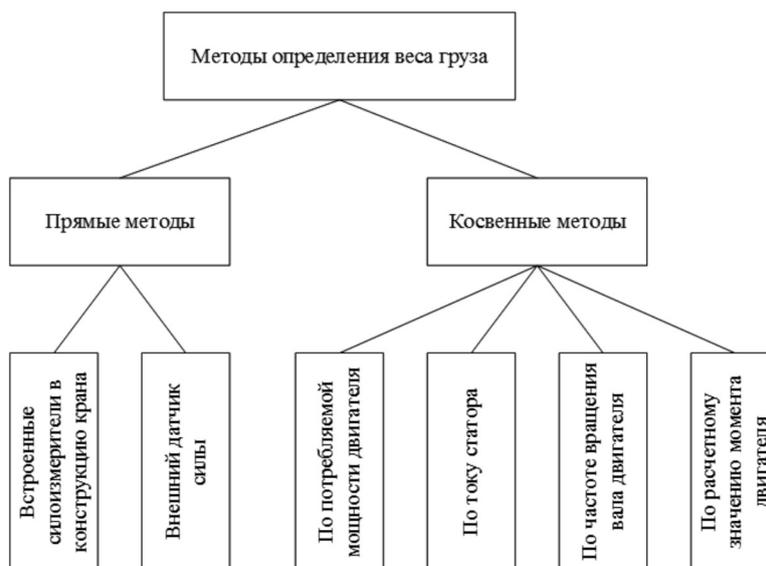


Рис. 3. Способы определения веса груза

Полученное значение угла отклонения груза от вертикальной оси в плоскости движения тележки поступает на вход пропорционального усилителя 18 с коэффициентом масштабирования  $K_{кор.г}$ . Сигнал с выхода усилителя вычитается из сигнала задания на скорость. Разница поступает на вход регулятора скорости и является заданием скорости (рис. 1).

Влияние корректирующих сигналов на систему регулирования механизмами горизонтального перемещения мостового крана определяется величиной коэффициента коррекции.

Функциональная схема системы с ограничением колебаний груза представлена на рис. 2. Она отображает простую систему управления, включающую в себя только систему ограничения колебаний груза [6].

Для корректной работы предложенного устройства подавления колебаний необходимо знать вес груза и длину подвеса. Рассмотрим способы определения указанных величин.

Руководящие документы Ростехнадзора [8] регламентируют необходимость установки ряда приборов безопасности на грузоподъемные краны. К этой категории относятся ограничители предельной нагрузки кранов (или ограничители грузоподъемности – ОГП). ОГП являются приборами безопасности и предназначены для защиты конструкций и механизмов электрических грузоподъемных механизмов от перегрузки путем отключения привода механизма путем отключения привода механизма путем отключения привода механизма при нагрузке, превышающей 115% от номинальной. Как правило, ОГП состоят из датчиков силы,

микропроцессора и исполнительных реле. Обзор ограничителей грузоподъемности отечественного производства (ПС80, ОГМК «МОСТ-1», ОГМК «Волна», ОПН «Альфа-М»), показал, что отсутствует возможность передачи веса поднимаемых грузов в сторонние системы (наличие регистраторов позволяет сохранять информацию о режимах работы грузоподъемных механизмов, но считывание данных производится с помощью специальных устройств, имеющих возможность подключения к персональному компьютеру для обработки полученных данных).

Таким образом, ОГП не могут использоваться для определения веса груза в системе ограничения колебаний груза. Обзор способов определения веса груза представлен на рис. 3.

В системе можно использовать прямые методы измерения веса груза на крюке: встроенные силоизмерители в конструкции крана или внешние датчики силы. Тензометрические датчики имеют пределы взвешивания от нескольких граммов до сотен тысяч тонн. Как правило, тензодатчики состоят из цельного металлического упругого элемента, который одновременно является корпусом. В наиболее чувствительном месте такого элемента располагаются тензорезисторы, закрываемые снаружи, как правило, металлическими крышками. В корпусе датчика располагается разъем либо кабельный ввод для подключения к вторичной аппаратуре. Каждый такой тензодатчик обычно имеет четыре тензорезистора, включенных в мостовую схему [5]. Некоторые производители вклю-

чают в схему несколько дополнительных тензорезисторов, обеспечивающих температурную стабильность показаний датчика. Вывод с питающей и измерительной диагоналей моста подключается к вторичной аппаратуре.

Для подключения тензодатчика к программируемому логическому контроллеру (ПЛК) необходимо, чтобы ПЛК поддерживал функцию подключения тензомостов (в модульных ПЛК – наличие модуля для подключения тензодатчика). В случае отсутствия модулей подключения тензодатчиков можно использовать преобразователи (усилители), осуществляющие преобразование сигнала тензодатчика в нормированный электрический сигнал.

В косвенных методах, вес груза определяется на основании энергетических показателей электропривода механизма подъема (поскольку транспортировке груза всегда предшествует подъем груза с опоры). Принцип измерения веса груза, как силы, действующей на канатную систему от массы груза, состоит в определении его по заранее снятой зависимости одного или нескольких информационных параметров от веса поднимаемого груза [7]. Наиболее информативными параметрами асинхронного двигателя (АД) для измерения веса груза на крюке являются частота вращения вала АД, ток статора и потребляемая мощность.

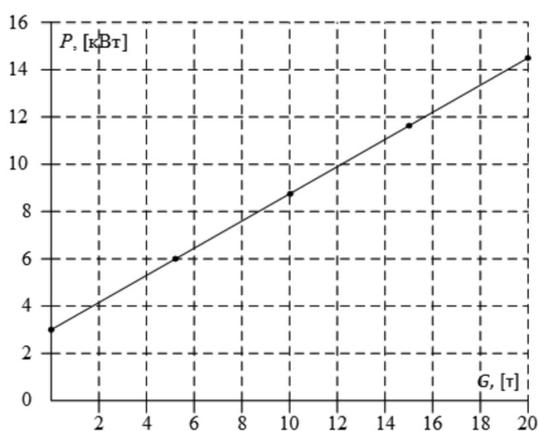


Рис. 4. Зависимость потребляемой мощности от массы поднимаемого груза

Использование частоты вращения вала АД в качестве информационного параметра усложняется установкой датчика частоты вращения на вал двигателя, что часто затруднительно и экономически не целесообразно. Такого недостатка лишены методы косвенного измерения массы груза по току статора и потребляемой мощности двигателя. Ток статора нелинейно зависит от веса

груза, поэтому при построении рабочей характеристики необходимо измерять ее по нескольким точкам, а для этого необходимо поднимать несколько грузов известных масс, что повышает трудоемкость работ [7]. Наиболее предпочтительным информативным параметром асинхронного двигателя является потребляемая мощность двигателя. Зависимость потребляемой мощности от веса поднимаемого груза представлена на рис. 4. Данная зависимость является линейной, что позволяет вводить ее в память ПЛК по двум точкам. При расчете веса поднимаемого груза необходимо учесть время переходного процесса при пуске АД, т.к. на данном участке времени информативные параметры не обеспечивают достоверность измерения веса груза.

Длину подвеса можно определять с помощью датчика угла поворота барабана или пересчитывать в соответствии со скоростью электропривода и конструктивных параметров механизма подъема. В процессе работы мостового крана, очевидно, будет накапливаться ошибка в определении длины подвеса. Корректировать ошибку можно с помощью ограничителя механизма подъема (грузозахватное устройство в верхнем положении) – при его срабатывании внести константу, равную минимальной длине подвеса. Максимальное значение длины подвеса можно определить в процессе наладки мостового крана, используя формулу периода колебаний математического маятника (справедлива для физического маятника при малых колебаниях)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l_n}{g}}$$

Замерив время периода колебания груза при максимальной длине подвеса, определим его длину:

$$l_n = T^2 \frac{g}{4\pi^2} \approx 0,25 T^2.$$

Или воспользуемся лазерным дальномером.

#### Список литературы

1. Инструкция по эксплуатации DRIVEPAC Anti-Sway Control for Cranes for T400 Technology Module in SIMOVERT MASTER DRIVES 6SE70/71 and SIMOREG DC-MASTER 6RA70. Siemens AG, 2002. – 363 с.
2. Инструкция по эксплуатации SIMOREG DC Master Серия 6RA70 Микропроцессорные преобразователи от 6 кВт до 1900 кВт для приводов постоянного тока с регулируемой скоростью. Siemens AG, 1998. – 716 с.
3. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 288 с.
4. Колмыков В.В., Сериков С.А. Математическая модель раскачивания груза в электротехнической системе мостового крана. – Автоматизированные системы управле-

ния на производстве / Материалы III международной научно-практической конференции. – Днепропетровск, 2006. – С. 110–116.

5. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.

6. Мешеряков В.Н., Колмыков В.В. Трехмассовая электромеханическая система тележки мостового крана / Современное общество, образование и наука: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, 31 марта 2015 г.: в 16 частях. Часть 2. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – 164 с.

7. Орлов Ю.А., Дементьев Ю.Н., Одинокопылов Г.И., Орлов Д.Ю., Одинокопылов И.Г., Столяров Д.П. Система защиты мостового крана на основе мониторинга параметров электропривода механизма подъема / Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312, № 4. – С. 119–124.

8. ПБ10-382-00. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. [Текст]. – Утв. Постановлением Госгортехнадзора от 31.12.99 № 98. – М.: НПО ОБТ ГОСГОРТЕХНАДЗОР РОССИИ, 2001.

9. Устройство автоматического успокоения маятниковых колебаний груза, перемещаемого тележкой мостового крана / А.В. Щедринов, С.А. Сериков, В.В. Колмыков, А.А. Коврыжкин: пат. на полез. модель № 85890 Рос. Федерация, МПК В66С13/06. № 2009112243/22; заявл. 02.04.2009; опубл. 20.08.2009. Бюл. № 23.

### Referens

1. Instrukcija po jekspluatacii DRIVEPAC Anti-Sway Control for Cranes for T400 Technology Module in SIMOVERT MASTER DRIVES 6SE70/71 and SIMOREG DC-MASTER 6RA70. Siemens AG, 2002. 363 p.

2. Instrukcija po jekspluatacii SIMOREG DC Master Serija 6RA70 Mikroproces-sornyje preobrazovately ot 6 kVt do 1900 kVt dlja privodov postojannogo toka s reguliruemoj skorostju. Siemens AG, 1998. 716 p.

3. Kim D.P. Teorija avtomaticheskogo upravlenija. T. 1. Linejnye sistemy. M.: FIZMATLIT, 2003. 288 p.

4. Kolmykov V.V., Serikov S.A. Matematicheskaja model raskachivaniya gruzu v jelectrotehničeskoj sisteme mostovogo kрана. Avtomatizirovannye sistemy upravlenija na proizvodstve / Materialy III mezhdunarodnoj nauchno praktičeskoj konferencii. Dnepropetrovsk, 2006. pp. 110–116.

5. Levshina E.S., Novickij P.V. Jelectricheskie izmerenija fizicheskikh velichin. L.: Jenergoatomizdat, 1983. 320 p.

6. Meshherjakov V.N., Kolmykov V.V. Trehmassovaja jelectromehaničeskaja sistema te-lezhki mostovogo kрана / Sovremennoe obshhestvo, obrazovanie i nauka: sbornik nauchnyh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii, 31 marta 2015 g.: v 16 chastjah. Chast 2. Tambov: ООО «Konsaltingovaja kompanija Jukom», 2015. 164 p.

7. Orlov Ju.A., Dementev Ju.N., Odnokopylov G.I., Orlov D.Ju., Odnokopylov I.G., Stoljarov D.P. Sistema zashhity mostovogo kрана na osnove monitoringa parametrov jelectroprivoda mehanizma podjoma / Izvestija Tomskogo politehničeskogo universiteta. 2008. T. 312, no. 4. pp. 119–124.

8. PB10-382-00. Pravila ustrojstva i bezopasnoj jekspluatacii gruzopodemnyh kранov. [Tekst]. Utv. Postanovleniem Gosgortehnadzora ot 31.12.99 no. 98. M.: NPOOBT GOSGORTEHNADZOR ROSSII, 2001.

9. Ustrojstvo avtomaticheskogo uspokoenija majatnikovyx kolebanij gruzu, pereme-shhaemogo telezhkoj mostovogo kрана / A.V. Shhedrinov, S.A. Serikov, V.V. Kolmykov, A.A. Kovryzhkin: pat. na polez. model no. 85890 Ros. Federacija, MPK B66C13/06. no. 2009112243/22; zajavl. 02.04.2009; opubl. 20.08.2009. Bjul. no. 23.

### Рецензенты:

Сараев П.В., д.т.н., профессор, декан факультета автоматизации и информатики, Липецкий государственный технический университет, г. Липецк;

Кудинов Ю.И., д.т.н., профессор, зав. кафедрой информатики, Липецкий государственный технический университет, г. Липецк.