

УДК 62-:658.589

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА АЛГОРИТМА САМОНАСТРОЙКИ ПРИБОРА ОГРАНИЧИТЕЛЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ОГШ ДЛЯ МОСТОВЫХ КРАНОВ

В.А. Рошин¹, С.Д. Иванов², Н.Л. Михальчик²

¹ ЗАО «Инженерно-Технический Центр «КРОС», г. Ивантеевка,
Россия ² МГТУ им Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящей статье описывается разработанная авторами математическая расчетная модель самонастройки прибора безопасности мостовых кранов типа ограничителя грузоподъемности широкого применения (ОГШ) с целью уменьшения времени настройки прибора и иных материальных и трудовых затрат для выполнения требований Федеральных норм и Правил (ФНП) по защите мостовых кранов от перегруза.

Материалы и методы. Для расчетной модели программы определены массодинамические характеристики крана (приведена масса привода, момент инерции, жесткость подвески, время отклика и пр.), обоснованы этапы подъема груза, на которых действуют совершенно различные динамические нагрузки и которые описываются системами дифференциальных уравнений с разными начальными и краевыми условиями. Используются численные методы для решения систем дифференциальных уравнений с использованием экспериментальных данных.

Результаты. Введены и обоснованы допущения и краевые условия в расчетной модели самонастройки прибора ОГШ для практического применения в разработке и конструировании данного типа приборов. Реализован расчетный алгоритм, и прибор ОГШ запрограммирован в соответствии с расчетным алгоритмом. Проведены натурные эксперименты и испытания с прибором ОГШ с разработанным алгоритмом самонастройки.

Результаты экспериментов подтвердили возможность применения алгоритма самонастройки прибора ограничителя грузоподъемности ОГШ для получения необходимых на данном кране параметров работы и выполнения требований ФНП при работе мостового крана.

Обсуждение и заключение. Указанный в статье алгоритм программы самонастройки прибора безопасности (ПБ) ограничителя грузоподъемности обеспечил выполнение требований ФНП, сокращение времени настройки прибора, большее удобство и простоту настройки ПБ ОГШ, снижение динамических нагрузок на привод. Данный алгоритм будет рекомендован к применению во всех новых ПБ ОГШ, производимых ИТЦ КРОС для мостовых кранов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прибор безопасности ОГШ, защита мостового крана от перегруза, пороги срабатывания ограничителя, динамические характеристики крана, двухмассовая система «кран-груз» начальные условия, алгоритм самонастройки прибора, время отклика, запас по нагрузке, снижение динамических нагрузок.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы статьи выражают благодарность сотрудникам кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э.Баумана и генеральному директору ЗАО ИТЦ «КРОС» В.А. Потапову за их помощь в проведении экспериментов, советы, рекомендации, ценные замечания и критику.

© В.А. Рошин, С.Д. Иванов, Н.Л. Михальчик



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DEVELOPMENT AND EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE SELF-ADJUSTMENT ALGORITHM OF THE OGSH LOAD LIMITER FOR BRIDGE CRANES

V.A. Roshchin¹, S.D. Ivanov², N.L. Mikhalechik²

¹Engineering and Technical Center "KROS", Ivanteevka, Russia

²Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, Moscow, Russia

ABSTRACT

Introduction. *The mathematical self-adjustment model of the safety device for bridge cranes, which is developed by the authors as the limiter of loading capacity of broad application (OGSh) for the purpose of time reduction for device setup and of other material and labor inputs for requirements implementation of the Federal Norms and Rules (FNP) on protection of bridge cranes against overload, is described in the article.*

Materials and methods. *Mass and dynamic characteristics of the crane (the specified mass of the drive, the inertia moment, rigidity of a pendant, response time and etc.); various stages of the loads lifting, on which absolutely various dynamic loadings impact and which are described by the systems of the differential equations with various entry and regional conditions, were proved in the research. Numerical methods for the solution of the differential equations systems with the usage of experimental data were also applied.*

Results. *Assumptions and regional conditions in settlement model of self-adjustment of the OGSh device for practical application in development and designing of this type of devices are used and proved. Moreover, the settlement algorithm is realized and the OGSh device is programmed according to such settlement algorithm. Natural experiments and tests with the OGSh device on the developed self-adjustment algorithm are made.*

Thus, the results of experiments have confirmed the possibility of the algorithm application of self-adjustment model as the limiter of the OGSh loading capacity for obtaining work parameters and implementation of FNP requirements, which are necessary for such crane during the operation.

Discussion and conclusion. *The algorithm of the self-adjustment model of the safety device (SD) as the limiter of loading capacity provides the implementation of the FNP requirements, the reduction of time of the device setup, bigger convenience and simplicity of SD control on the OGSh; decrease in dynamic loads of the drive. Therefore, such algorithm would be recommended for application in all new SD of the OGSh made by ITTs KROS for bridge cranes.*

KEYWORDS: *Safety device of the OGSh, protection of the bridge crane against overload, thresholds of the limiter operation, dynamic characteristics of the crane, two-mass "crane-freight" system, algorithm of the device self-adjustment, response time, reservation on loading, decrease in dynamic loadings.*

ACKNOWLEDGEMENT

The authors of the article express their gratitude to the employees of the Lifting and Transport Systems Department of the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman and to the General Director of the Engineering and Technical Center "KROS", V.A. Potapov for helping in experiments conduction, for advice, recommendations, valuable comments and criticism.

© V.A. Roshchin, S.D. Ivanov, N.L. Mikhalechik



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно требованиям ФНП¹ подъемные краны оснащаются ограничителями грузоподъемности. Задача такого прибора безопасности (ПБ) – обеспечить подъем номинального груза и не допустить отрыва от основания груза, составляющего 125% от номинального. Приборы различных фирм-производителей² основаны на разных алгоритмах определения «перегрузки». Воздействие ПБ на работу крана заключается в подаче сигнала на исполнительные механизмы крана (электродвигатель подъема, тормоз и прочие) для подъема номинального груза и для остановки процесса подъема при массе груза свыше 125% номинального.

В данной статье рассмотрен принцип работы ограничителя грузоподъемности для мостовых кранов грузового типа ОГШ (производства ЗАО «ИТЦ «КРОС» (г. Ивантеевка Московской обл.) [1,2,3].

Ограничители грузоподъемности кранов мостового типа ОГШ предназначены для выполнения требований ФНП по защите крана от перегруза. Принцип работы прибора основан на кратковременном отключении двигателя механизма подъема крана при достижении нагрузкой установленного в ПБ ОГШ промежуточного порога срабатывания. В связи с тем что все краны различаются по своим динамическим характеристикам (приведенной массе привода, моментам инерции, реальной скорости подъема груза и прочим), при установке данного прибора необходимо произвести его точную настройку под конкретные динамические параметры каждого крана [4,5].

Как показали проведенные исследования [6], алгоритм, программно реализованный в ОГШ, вместе с выполнением требований ФНП по запрету подъема груза позволяет снизить динамические нагрузки на кран, что обеспечивает большее время эксплуатации и повышает безопасность работы крана.

Корректная настройка прибора безопасности для исключения ложных срабатываний, «демпфирования» колебательных динамических процессов при отрыве номинального груза и при его останове при перегрузе – весьма

трудоёмкий процесс, связанный со значительными временными, материальными и трудовыми затратами высококвалифицированного персонала. Для их сокращения был разработан модифицированный прибор ОГШ с функцией высокоточной записи сигналов с датчика нагрузки и разработана программа обработки полученных данных, на основе которых определяются оптимальные параметры настройки прибора под конкретный кран. На основании алгоритма программы, аппаратно-реализованного в приборе ОГШ, происходит самонастройка прибора под конкретный мостовой кран для обеспечения выполнения требований ФНП.

Настраиваемыми параметрами ПБ ограничителей нагрузки являются: предварительный порог срабатывания; время остановки двигателя; порог запрета по максимальной нагрузке; порог запрета по средней нагрузке; порог разрешения подъема; показания прибора при нулевой нагрузке «0»; показания прибора при номинальной нагрузке «1».

В актуальной разработанной версии прибора ОГШ с алгоритмом самонастройки порог запрета по средней нагрузке не работоспособен в связи со значительным повышением частоты опроса датчика нагрузки по сравнению со временем осреднения.

Данные параметры ПБ рассчитываются программой самонастройки на основе данных, полученных по нескольким (минимум двум) предварительным записям подъемов пустой крюковой подвески и груза известной массы, и ряда паспортных данных крана. На основании записанных данных при предварительных подъемах груза определяются:

- жесткость крана c ;
- время отклика системы на сигнал отключения $T_{откл}$;
- настройки «0» и «1», соответствующие пустой подвеске и номинальному грузу m_n ;
- реальная скорость подъема груза двигателем подъема крана.

Функция записи прибора ОГШ сохраняет в памяти прибора все значения нагрузки (в кодах аналогово-цифрового преобразователя АЦП) в течение 6,8 с с частотой опроса датчика 250 Гц.

¹ Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12.11.2013 г. № 533. URL: <http://legalacts.ru/doc/prikaz-rostekhnadzora-ot-12112013-n-533-ob/> (дата обращения: 10.10. 2017)

² ООО «Арзамасский электромеханический завод. ОГРАНИЧИТЕЛИ НАГРУЗКИ для МОСТОВЫХ и КОЗЛОВЫХ кранов URL: <http://aemp.ru/stuff/12-onk-160m> (дата обращения: 05.06. 2018) / ЗАО ИТЦ «КРОС». Ограничители грузоподъемности. URL: <http://itc-kros.ru/category/ogranichiteli-gruzopodemnosti> (дата обращения: 05.06. 2018)

Алгоритм настройки ПБ ограничителя грузоподъемности ОГШ заключается:

1) Произвести запись подъема груза известной массы при заводских настройках 2 раза: без включения исполнительного реле ограничителя грузоподъемности в электрическую схему механизма подъема и с включенным исполнительным реле.

2) Внести в программу расчёта необходимые паспортные данные мостового крана (номинальную скорость подъема груза V_n), а также определенные на основании записей 2-х испытаний момент инерции J и тормозной момент двигателя M_T .

3) Программно рассчитать: период собственных колебаний системы T ; жесткость системы c и время отклика системы $T_{откл}$ по графикам без включения исполнительного реле ограничителя грузоподъемности в электрическую схему механизма подъема и с включенным исполнительным реле (рисунок 1).

4) Самонастройка прибора ОГШ согласно заданного разработанного программного алгоритма.

5) Произвести проверку рассчитанных алгоритмом программы порогов срабатывания прибора. Прибор должен предотвратить отрыв груза в 125% от номинального от основания и разрешить подъем номинального груза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Программа расчёта параметров самонастройки ПБ ограничителя грузоподъемности ОГШ основана на использовании двухмассовой модели «кран-груз» с упругой связью. Соответственно масса m_1 - приведенная масса вращающихся частей привода крана, масса m_2 - масса груза.

Расчетная модель предполагает первоначальное определение массодинамических характеристик крана на основании двух предварительных подъемов -пустой крюковой подвески и груза известной массы и определения на их основе приведенной массы привода, жесткости подвески, время отклика, реальной средней скорости подъема.

Далее в алгоритме программы предусмотрены решения дифференциальных уравнений (ДУ) на различных этапах подъема груза до момента срабатывания тормоза двигателя подъема, сопряжение краевых условий на различных этапах и построение модели самонастройки прибора.

К таким этапам относятся: этап разгона привода и выработки зазоров; этап отключения привода; этап отрыва груза; этап свободных колебаний груза. На различных этапах подъема груза действуют совершенно различные

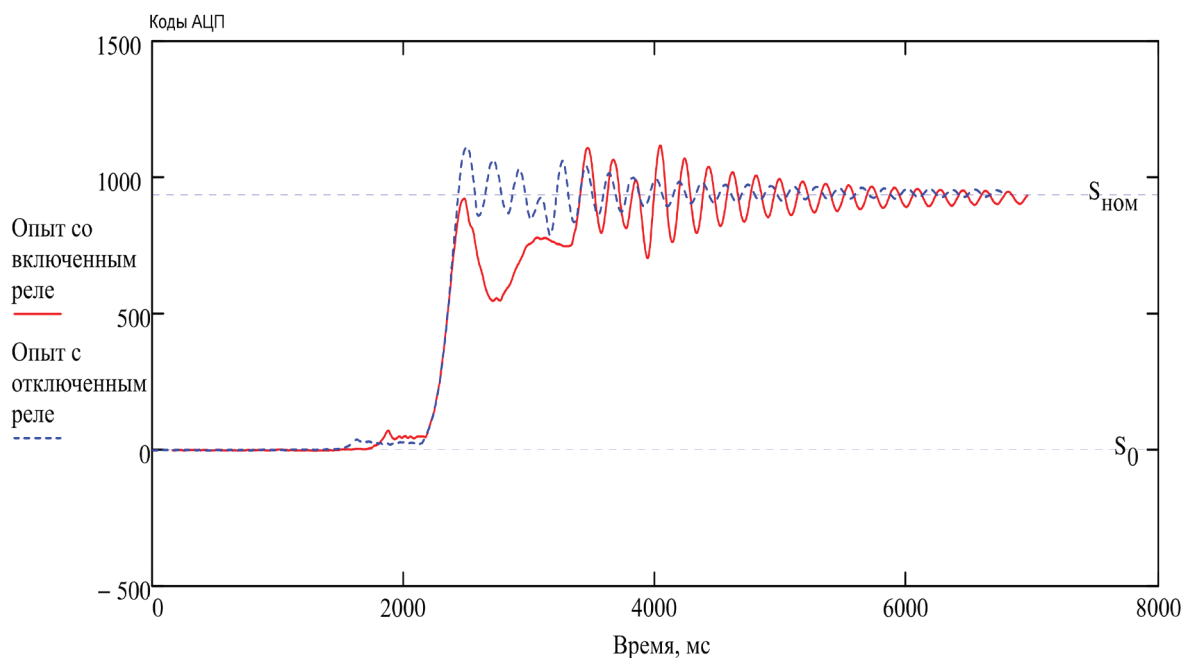


Рисунок 1 – Определение времени отклика системы $T_{откл}$ по двум экспериментальным графикам с выключенным и включенным реле ограничителя г/п

Figure 1 – Determination of the system response time according to two experimental charts with the switched off and on relay of the g/p limiter

динамические нагрузки на привод мостового крана, которые описываются системами ДУ с различными начальными и краевыми условиями.

Для решения этих систем ДУ применяются численные методы с использованием экспериментальных данных.

Параметры, которые определяются по экспериментальным данным при первичной настройке прибора - двух замерах при пустой крюковой подвеске и подъеме груза известной массы:

1. T , с - период собственных колебаний системы «кран-груз».

2. Масса номинального груза рассчитывается по формуле (1):

$$m_n = \frac{S_n - S_0}{S_{нз} - S_0} \cdot 1000, \quad (1)$$

где S_0 - нулевая настройка прибора; S_n - номинальная настройка прибора; $S_{нз}$ - значение нагрузки при подъеме груза известной массы $m_{нз}$, кг;

3. Затем алгоритмом программы определяется значение жесткости канатной подвески C (2):

$$C = \frac{4\pi^2 m_n}{T^2}. \quad (2)$$

4. Определяется реальная скорость подъема на основании временных замеров датчиками (4):

Реальная скорость подъема определяется на основании временных замеров датчиками при прохождении порогов в 20, 40, 60 и 80% нагрузки ($t_{20}, t_{40}, t_{60}, t_{80}$). В промежутках между порогом рассчитываются искомые величины. Для соседних точек i и j нагрузка S_i в %:

Тогда $S_i = (S - S_0) \cdot i + S_0$. Из чего следует, что путь $x_{\Delta i}$, проходимый грузом между i и j % нагрузки, составляет:

$$x_{\Delta i} = \frac{(S_j - S_i) m_{нз} g}{(S_{нз} - S_0) C}, \quad (3)$$

где S_i, S_j - нагрузка, соответствующая значению порогом нагрузки i и j %;

а $S_{нз}, S_0$ - нагрузка, соответствующая номинальному грузу и пустой крюковой подвеске.

C - жесткость подвески, $m_{нз}$ - груз известной массы.

Реальная средняя скорость на k -ом этапе (между i и j % нагрузки) определяется как (4):

$$v_{cp\Delta k} = \frac{x_{\Delta k} 1000}{t_j - t_i}, \quad (4)$$

где t_j, t_i - время, соответствующее i и j % нагрузке, $x_{\Delta k}$ - путь, проходимый грузом на k -том этапе.

5. Приведенная масса привода m_1 (5) определяется из равенства энергий:

$$m_1 = J \frac{\omega_0^2}{v_o^2}, \quad (5)$$

где $v_o = kv_n$ - скорость подъема груза при пустой крюковой подвеске; k - характеристика крана, v_n - номинальная скорость подъема груза; $\omega_0 = 2\pi n_0$ - максимальная скорость вращения двигателя при пустой крюковой подвеске; $n_0 = 1000 / 60$ - число оборотов при пустой крюковой подвеске; J - момент инерции подвижных частей крана.

6. Предварительно рассчитываем среднюю приведенную силу торможения F_T с учетом соображений и замечаний, изложенных в [7,8,9,10,11,12]:

$$F_T = m_1 \frac{v_n}{t_T}, \quad (6)$$

где t_T - время торможения, m_1 - приведенная масса привода крана, v_n - номинальная скорость подъема груза.

7. По графику двух замеров (см. рисунок 1) определяется время отклика системы $T_{откл}$.

Далее в алгоритме программы предусмотрены решения ДУ на различных этапах подъема груза до момента срабатывания тормоза двигателя подъема, сопряжение краевых условий на различных этапах и построение модели самонастройки прибора.

Этап 1.1. Разгон привода и выработка зазоров

Предполагается, что в момент включения двигателя грузовой канат не натянут, а также в приводе существуют значительные зазоры, за время выработки которых двигатель вместе с m_1 привода разгоняется до максимальной скорости вращения (ω_0). Значит в начальный момент времени для нашей модели ($T = 0, t = 0$) двигатель вращается с макси-

мальной скоростью и выработанными зазорами. Деформацию каната в этот момент также можно считать равной нулю.

Так как двигатель имеет не идеально жесткую механическую характеристику, его скорость вращения будет падать с ростом нагрузки. Исходя из того что привод работает в значениях моментов двигателя не более $1,3M_n$ (M_n - номинальный крутящий момент двигателя) положим характеристику линейной. Из нее выразим зависимость приведенной силы тяги привода $F_{np}(v)$, действующей со стороны привода на приведенную массу m_1 , от скорости привода (8):

$$v = v_0 - F_{np} \frac{v_0 - v_n}{F_n} \quad (7)$$

$$F_{np}(v) = \frac{(v_0 - v)m_n g}{v_0 - v_n}, \quad (8)$$

где v - реальная скорость подъема груза, а v_0, v_n - скорости, указанные в формуле (5).

Этап 1.2. Вытяжки каната до отрыва груза

На этом этапе происходит перемещение массы m_1 за счет деформации каната, вызывающее силу натяжения, которой в свою очередь противодействует возрастающая по механической характеристике приведенная сила тяги привода $F_{np}(v)$. Запишем ДУ по уравнению сил (7).

$$F_{np}\left(\frac{dx}{dt}\right) - cx_1 = m_1\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right). \quad (9)$$

Решение уравнения 9 ищется в виде (10) при начальных условиях $\dot{x}_1(0)=0$ и $x_1(0)=0$:

$$x_1(t) = x_{1OD} + x_{1n} = e^{\alpha t} (C_1 \sin(\beta t) + C_2 \cos(\beta t)) + D \quad (10)$$

$$\text{или } x_1(t) = e^{\alpha t} \left(\frac{\alpha}{\beta} \frac{v_0 m_n g}{c(v_0 - v_n)} \sin(\beta t) - \frac{v_0 m_n g}{c(v_0 - v_n)} \cos(\beta t) \right) + \frac{v_0 m_n g}{c(v_0 - v_n)}. \quad (11)$$

Из условия окончания этапа находим время переходного процесса t_{nn} . Условием является либо равенство силы упругости каната весу груза $m_2 = 1,25m_n$ (малый груз), либо достижение времени первого порога t_{nn1} . Первый предварительный порог ищется из рекомендаций работы [13]. Принимаем его значение для оценки снижения динамики, а также из соображений общего подхода к решению задачи, равным 30% от номинальной нагрузки. После этого сравниваем значения t_{nn1} и t_{nn} , выбираем дальнейший этап: если t_{nn} наступает первым, значит к концу первого этапа груз оторвался, если нет, значит привод выключился и необходимо рассматривать второй этап натяжения с выключенным приводом.

Этап 2. Этап отключения привода

Начало этапа соответствует времени $t_{\text{эл}}$. Первую часть груз доходит по инерции с первого этапа ($t < t_{nn}$). Для этого этапа ДУ по уравнению сил принимает вид (12):

$$-F_T - cx_2 = m_2\left(\frac{d^2x_2}{dt^2}\right). \quad (12)$$

Решение уравнения 12 ищется в виде (13) при начальных условиях $\dot{x}_2(t_{\text{эл}}) = v_I(t_{\text{эл}})$ и $x_2(t_{\text{эл}}) = x_1(t_{\text{эл}})$:

$$x_2(t) = x_{2OD} + x_{2n} = C_1 \sin(\beta t) + C_2 \cos(\beta t) + D \quad (13)$$

где C_1, C_2, D - константы, получаемые из решения задачи Коши.

Из условия окончания этапа находим время переходного процесса t_{nn} . Условием окончания является либо равенство силы упругости каната весу груза m_2 , либо полная остановка привода. Сравниваем значения t_{nn2} и t_{nn} , выбираем дальнейший этап: если t_{nn} наступает первым, значит к концу второго этапа груз оторвался, и мы переходим к рассмотрению торможения с «оторванным» грузом; если нет, значит привод остановился и груз не оторвался.

3 Этап. Этап отрыва груза

На данном этапе происходит отрыв груза с отключенным приводом. Натяжение в канате начинает зависеть от двух координат одновременно. Вторая масса (груз) движется под действием силы упругости каната. Запишем систему ДУ по уравнениям сил для двух масс (14) и (15).

$$c(-x_4 + x_3) - m_2 g = m_2 \left(\frac{d^2 x_3}{dt^2} \right) \quad (14)$$

$$-F_T - c(x_4 - x_3) = m_1 \left(\frac{d^2 x_4}{dt^2} \right) \quad (15)$$

При начальных условиях $x_4(t_{32}) = x_2(t_{32})$, $\dot{x}_4(t_{32}) = v_2(t_{32})$, $x_3(t_{32}) = 0$ и $\dot{x}_3(t_{32}) = 0$

Решение системы линейных неоднородных дифференциальных уравнений находится численными методами Рунге-Кутты.

Момент времени t_{nn3} , когда скорость привода становится равной нулю, является граничным условием третьего этапа и начальным условием для четвертого этапа.

Этап 4. Этап свободных колебаний груза

Начало этапа соответствует времени t_{nn3} . ДУ по уравнению сил для этого этапа имеют вид (16):

$$c x_5 - m_2 g = m_2 \left(\frac{d^2 x_5}{dt^2} \right) \quad (16)$$

Решение уравнения 16 ищется в виде (17) при начальных условиях $\dot{x}_5(t_{nn3}) = v_3(t_{nn3})$ и $\dot{x}_3(t_{nn3}) = v_3(t_{nn3})$:

$$x_5(t) = x_{5OD} + x_{5н} = C_5 \sin(\beta t) + C_6 \cos(\beta t) + D \quad (17)$$

где C_5, C_6, D - константы, получаемые из решения задачи Коши.

Условием окончания этапа является окончание времени срабатывания $t_{nn} = t_{nn1} + t_{cp}$

Пример расчета изменения нагрузки при подъеме груза массой $1,25m_n$ для мостовых кранов приведен на рисунке 2.

Путем варьирования предварительного порога срабатывания с дискретным шагом в 1% определяется экстремальное (максимальное) значение нагрузки при граничном условии «неотрыва» груза массой $1,25m_n$. Полученное таким образом значение предварительного порога срабатывания является оптимальной настройкой ограничителя грузоподъемности.

Запас по нагрузке из условия «неотрыва» при $1,25m_n$ составил порядка 2,4-2,5%. Порог запрета по максимальной нагрузке устанавливается на уровне 1-2% меньше расчетного максимального значения.

Порог разрешения подъема устанавливается на 5% ниже минимального значения нагрузки в рабочем цикле с включенным реле ограничителя грузоподъемности.

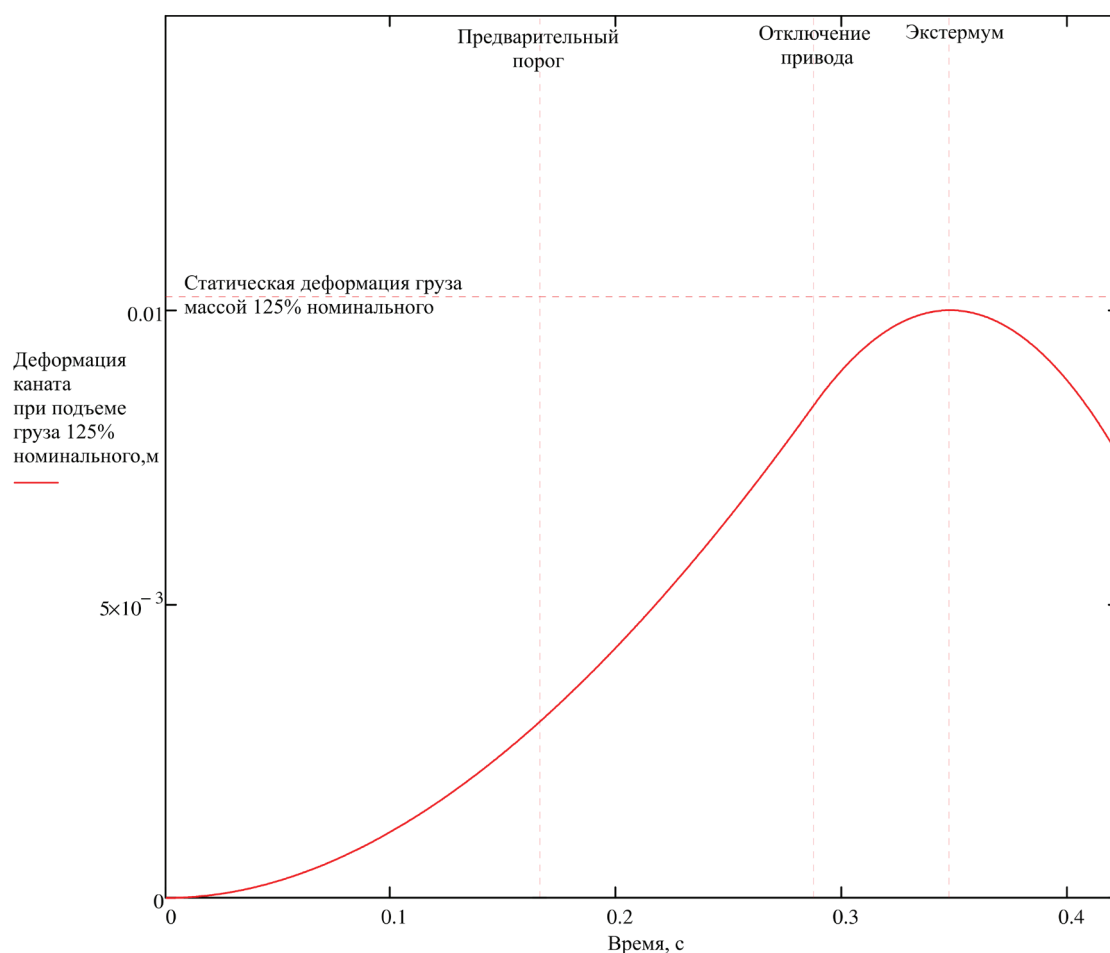


Рисунок 2 – Изменение деформации каната при подъеме груза массой $1,25m_n$,
Figure 2 – Change of the rope deformation by the weight lifting of $1,25m_n$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для подтверждения применимости расчётной модели и программы самонастройки ПБ были проведены испытания прибора на мостовом кране грузоподъёмностью 1,6 т. На основе записанных данных о подъеме пустой крюковой подвески и номинального грузом и паспортных данных крана были определены динамические характеристики крана и время отклика $T_{откл}$. Были теоретически определены предварительный порог срабатывания ограничителя грузоподъёмности ОГШ при неизменном времени срабатывания $t_{раб}$, составивший 30% от номинальной нагрузки, и порог запрета по максимальной нагрузке..

$t_{раб}$ - время срабатывания, предварительно установленное в приборе ОГШ. Так как в данном опыте время срабатывания не вли-

яет на основную функцию прибора, оно принято $t_{раб} = 4 \text{ с}$, что много больше времени полной остановки привода $t_{торм} = 0,15 \text{ с}$ и необходимо для успокоения колебаний груза после остановки двигателя.

Эксперименты подтвердили возможность применения разработанного алгоритма самонастройки прибора ОГШ для выполнения требований ФНП на данном кране - подъема номинального груза m_n и запрета подъема груза массой $1,25m_n$ и показали снижение максимальных динамических нагрузок на привод крана (рисунок 3).

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При разработанном алгоритме программы самонастройки ПБ ограничителя грузоподъ-

емности ОГШ для мостовых кранов работе с заданными параметрами и после проведения экспериментов по подъему груза мостовым краном были получены следующие результаты:

1) Выполнение требований ФНП по обеспечению защиты крана от перегруза: подъем номинального груза m_n и запрет подъема $1,25m_n$.

2) Сокращение времени настройки, большее удобство и простота настройки ПБ ОГШ и меньшие трудозатраты специалиста.

3) Снижение максимальных динамических нагрузок на привод крана.

4) Запас по нагрузке из условия «неотрыва» при $1,25m_n$ составил порядка 2,4-2,5%.

Введены и обоснованы допущения и краевые условия в расчетной модели самонастройки прибора ОГШ для практического применения в разработке и конструировании данного типа приборов. Реализован расчетный алгоритм, и прибор ОГШ запрограммирован в соответствии с расчетным алгоритмом.

Результаты экспериментов подтвердили возможность применения алгоритма самона-

стройки прибора ограничителя грузоподъемности ОГШ для получения необходимых на данном кране параметров работы и выполнения требований ФНП при работе мостового крана.

Результаты экспериментов также подтвердили удобство программы самонастройки и сокращение времени настройки ограничителя грузоподъемности ОГШ.

При дальнейшей модификации алгоритма программы следует учесть жесткость основания и демпфирование каната, что повысит запас по нагрузке и дополнительно еще снизит динамические нагрузки на канат и привод крана.

Планируется разработка и производство новой серии ограничителей грузоподъемности ОГШ (ЗАО ИТЦ «КРОС») с программой на основе алгоритма рассмотренного в настоящей статье.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимин Ю.Ф. Корников М.В. Применение ограничителей грузоподъемности типа ОГШ в составе кранов, эксплуатирующихся на гидро-

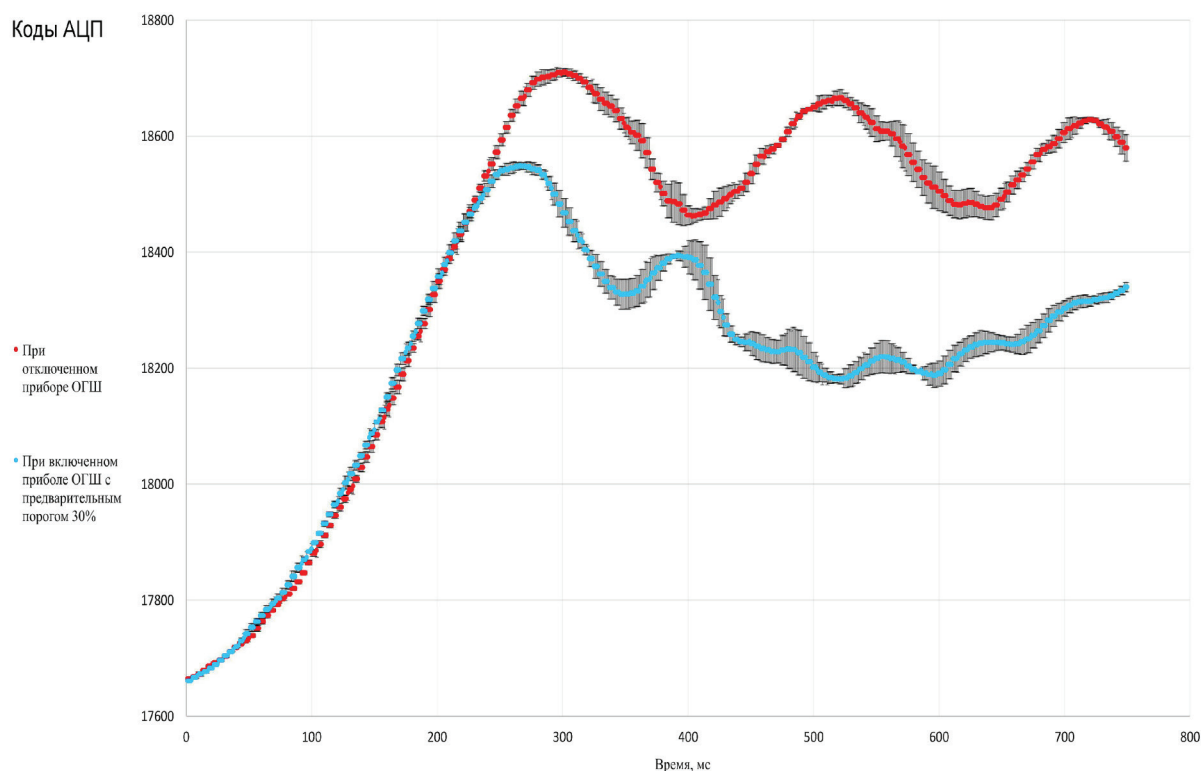


Рисунок 3 – Динамические нагрузки на канат при подъеме номинального груза m_n при включенном реле ограничителя и пороге 30% номинальной нагрузки и отключенном реле
Figure 3 – Dynamic load on the rope by the rated load m_n lifting when the limiter relay is switched on and the threshold of 30% of the rated load when the relay is disconnected.

технических сооружениях // Топэнергопром. 2014. № 5 (январь-февраль). С.32-33.

2. Тимин Ю.Ф. Горальчук П.П. Ограничители грузоподъемности для мостовых, козловых и порталных кранов // Федеральный строительный рынок. 2008. № 3(68) апрель. С. 28-30

3. Тимин Ю.Ф. Корников М.В. Ограничители грузоподъемности типа ОГШ: реалии и перспективы // Федеральный строительный рынок. 2010. № 5(85). С. 110-113.

4. Иванов С.Д. Обеспечение корректной работы ограничителей грузоподъемности кранов мостового типа // Механизация строительства. 2014. № 5. С. 23-25.

5. Иванов С.Д. Стенд для изучения работы ограничителя грузоподъемности и регистратора параметров работы мостового крана // Механизация строительства. 2012. № 8. С. 32-37.

6. Иванов С.Д. Экспериментальное исследование динамических нагрузок на мостовом кране, оборудованном ограничителем грузоподъемности // Механизация строительства. 2015. №6. С. 54-56

7. Носко А.Л. Федосеев В.Н. Энергоемкие автоматические стопорные тормоза с торсионным замыканием // Приводная техника. 1997. N 4.

8. Носко А.Л. Носко А.П. Исследование охлаждения тормозных устройств ПТМ // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2005. N 3. С. 88-99.

9. Носко А.Л. Носко А.П. Расчет нагрева тормозных устройств ПТМ // Строительные и дорожные машины. 2007. N 3. С. 38-43.

10. Носко А.Л. Исследования тормозных устройств кранов. Der Kran und sein Umfeld in Industrie und Logistik. // 19 Internationale Kranfachtagung. Magdeburg. 2011. P. 45-55.

11. Носко А.Л. Методика оценки изменения тормозного момента применительно к тормозам грузоподъемных машин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2017. № 5 (686). С. 37-44

12. Носко А.Л. Оценка эффективности тормозов при обеспечении безопасной работы грузоподъемных машин: монография М: Университетская книга. 2017. 136 с.

13. Шакаров К.К., Иванов С.Д., Носко А.Л. Определение параметров математической модели механизма подъема мостового крана, оснащенного ограничителем грузоподъемности // Механизация строительства. 2017. №6. С. 46-49.

REFERENCES

1. Timin YU.F. Kornikov M.V. Primenenie ogranicitelej gruzopod"emnosti tipa OGSh

v sostave kranov, ehkspluatiruyushchihsya na gidrotekhnicheskikh sooruzheniyah [Use of payload type OGSh limiters in the composition of the cranes operated by hydraulic structures]. *Topenergoprom*, 2014, no 5 (yanvar'-fevral'), pp.32-33. (in Russian).

2. Timin YU.F. Goral'chuk P.P. Ogranichiteli gruzopod"emnosti dlya mostovykh, kozlovykh i portal'nykh kranov. [Limiters-duty bridge, gantry and portal cranes]. *Federal'nyj stroitel'nyj rynek*, 2008, no 3(68) aprel', pp. 28-30. (in Russian).

3. Timin YU.F. Kornikov M.V. Ogranichiteli gruzopod"emnosti tipa OGSH: realii i perspektivy [Limiters-duty OGSh type: realities and prospects]. *Federal'nyj stroitel'nyj rynek*, 2010, no 5(85), pp. 110-113. (in Russian).

4. Ivanov S.D. Obespechenie korrektnoj raboty ogranicitelej gruzopod"emnosti kranov mostovogo tipa [Ensuring the correct operation of the load limiters of bridge type cranes]. *Mekhanizaciya stroitel'stva*, 2014, No 5. pp. 23-25. (in Russian).

5. Ivanov S.D. Stend dlya izucheniya raboty ogranicitelya gruzopod"emnosti i registratora parametrov raboty mostovogo kрана [Stand for the study of the load limiter and the registrar of the parameters of the bridge crane]. *Mekhanizaciya stroitel'stva*, 2012, no 8, pp. 32-37. (in Russian).

6. Ivanov S.D. Ehksperimental'noe issledovanie dinamicheskikh nagruzok na mostovom kране, oborudovannym ogranicitelem gruzopod"emnosti [Experimental study of dynamic loads on the bridge crane equipped with a load limiter]. *Mekhanizaciya stroitel'stva*, 2015, no 6, pp. 54-56. (in Russian).

7. Nosko A.L. Fedoseev V.N. Energoemkie avtomaticheskie stopornye tormoza s torsionnym zamykaniem [Energy-intensive automatic brake with torsion lock]. *Privodnaya tekhnika*, 1997, No 4. (in Russian).

8. Nosko A.L. Nosko A.P. Issledovanie ohlazhdeniya tormoznykh ustrojstv PTM [Investigation of the cooling systems of the braking MMT devices]. *Vestnik MGTU im. N.EH. Bauman*, 2005. no 3, pp. 88-99. (in Russian).

9. Nosko A.L. Nosko A.P. Raschet nagreva tormoznykh ustrojstv PTM [Calculation of the heat of the braking MMT devices]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 2007, no 3, pp. 38-43. (in Russian).

10. Nosko A.L. Issledovaniya tormoznykh ustrojstv kranov [Studies of crane braking devices]. Der Kran und sein Umfeld in Industrie und Logistik - 19 Internationale Kranfachtagung. Magdeburg, 2011, pp. 45-55.

11. Nosko A.L. Metodika ocenki izmeneniya

tormoznogo momenta primenitel'no k tormozam gruzopod'emnyh mashin [The method of the change of the brake moment estimation in relation to brakes of load-lifting cars]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Mashinostroyeniye*, 2017, no 5 (686), pp. 37-44. (in Russian).

12. Nosko A.L. *Otsenka effektivnosti tormozov pri obespechenii bezopasnoy raboty gruzopod'emnyh mashin: monografiya* [Evaluation of the effectiveness of brakes while ensuring the safe operation of lifting machines]. Moscow, Universitetskaya kniga. 2017. 136 p.

13. SHakarov K.K., Ivanov S.D., Nosko A.L. *Opreделение parametrov matematicheskoy modeli mekhanizma pod'ema mostovogo krana, osnashchennogo ogranichitelem gruzopod'emnosti* [Determination of the mathematical model parameters of the bridge crane lifting mechanism, equipped with a load limiter]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva*, 2017, No 6. pp. 46-49. (in Russian).

Поступила 06.06.2018, принята к публикации 20.08.2018.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Рощин Виталий Андреевич – инженер ЗАО ИТЦ «КРОС» (Россия, г. Москва, e-mail: roshchinva@mail.ru).

Иванов Сергей Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные системы» Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э.Баумана (Россия, г. Москва, e-mail: rk4@bmstu.ru).

Михальчик Николай Леонидович – студент 4 курса кафедры «Подъемно-транспортные системы» Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана (Россия, г. Москва, e-mail: molotilkin@bk.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Roshchin Vitaly Andreevich – Engineer of the Engineering and Technical Center "KROS", Moscow, Russia (e-mail: roshchinva@mail.ru).

Ivanov Sergey Dmitrievich – candidate of technical science, Associate Professor of the Hoisting and Transport Systems Department, Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, Moscow, Russia (e-mail: rk4@bmstu.ru).

Michalchik Nikolay Leonidovich – 4th year Student of the Lifting and Transport Systems Department, Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, Moscow, Russia (e-mail: molotilkin@bk.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Иванов С.Д. теоретическое обоснование работы, общее руководство, анализ результатов экспериментов.

Рощин В.А. проведение экспериментов, анализ результатов экспериментов.

Михальчик Н. Л. проведение экспериментов, обработка результатов экспериментов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ivanov S.D. theoretical justification of the research, general management and analysis of the experiments' results.

Roshchin V. A. experimentation and analysis of the experiments' results.

Mikhalchik N.L. experimentation and processing of the experiments' results.