

Машины и Установки проектирование, разработка и эксплуатация

Сетевое издание
МОО «Стратегия объединения»
<http://maplants-journal.ru>

Ссылка на статью:

//Машины и установки: проектирование,
разработка и эксплуатация.
МОО «Стратегия объединения»
Электрон. журн. 2023. № 01. С. 1 – 12.

DOI:

Представлена в редакцию: 19.01.2023
Исправлена: 25.01.2023

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 621. 86

Исследование влияния работы ограничителя грузоподъемности с промежуточными порогоми на безопасность кранов мостового типа

Назаров А.Н. *, Иванов С.Д.

* alexnazavr@yandex.ru

МГТУ им. Н. Э. Баумана (Москва, Россия)

Приведен анализ алгоритма работы существующих ограничителей грузоподъемности. Рассмотренный подход заключается в отключении механизма подъема при достижении одного предельного значения нагрузки. Для ряда кранов, отличающихся относительно высокими значениями коэффициентов динамичности, показана невозможность выполнения требований безопасности при использовании алгоритма с одним порогом.

Цель исследования заключалась в оценке влияния работы ограничителя грузоподъемности, использующего алгоритм работы с промежуточными порогоми срабатывания, на состояние безопасности кранов мостового типа.

Экспериментально подтверждена возможность выполнения требований нормативных и технических документов, касающихся защиты крана от перегрузки, на основе алгоритма ограничителя грузоподъемности с промежуточными порогоми.

Экспериментально исследовано влияние работы изучаемого алгоритма ограничителя грузоподъемности на коэффициент динамичности. Показано, что при подъеме околономинальных грузов (85 – 125% от номинального веса груза), значение коэффициента динамичности снижается на 9,2 – 29,4%.

Сделан вывод о применимости алгоритма с промежуточными порогоми для выполнения требований по защите крана от перегрузок, а также о снижении динамических нагрузок при подъеме околономинальных грузов, что увеличивает срок службы элементов крана

Ключевые слова: безопасность кранов, кран мостового типа, ограничитель грузоподъемности, алгоритм ограничителя грузоподъемности, динамика мостовых кранов, промежуточные пороги.

Благодарности: авторы статьи выражают свою благодарность сотрудникам кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана и коллективу ЗАО «ИТЦ «КРОС» за их помощь, рекомендации, ценные замечания и критику.

Введение

Для защиты грузоподъемных кранов от возможной перегрузки при подъеме груза предусмотрено использование специальных приборов безопасности – ограничителей грузоподъемности [1–3]. Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности введено требование автоматического отключения механизмов при достижении допустимой перегрузки, указанной в паспорте подъемного сооружения, но не превышающей 25% для кранов мостового типа. При этом не должно наблюдаться отрыва груза от земли¹. В то же время должна сохраняться возможность беспрепятственного подъема грузов в диапазоне от 0% до 100% от $Q_{\text{ном}}$.

Для обеспечения данных требований ограничители грузоподъемности подают в систему управления крана команду на отключение двигателя механизма подъема при достижении установленного порога в интервале нагрузок 105-115% [4;5].

Неприменимость такого алгоритма работы ограничителя грузоподъемности, фактически выполняющего функцию электронного концевого выключателя, обоснована динамическими процессами, протекающими на этапах натяжения канатов и остановки механизма подъема [6;7]. Нагрузка, действующая на кран в процессе подъема груза, складывается из статической и динамической составляющих. Если статическая составляющая определяется массой поднимаемого груза, то динамическая зависит также от реализуемого ускорения при движении груза, которое, в свою очередь, определяется динамическими характеристиками грузоподъемного крана и стилем работы оператора, и может изменяться в широких пределах. Таким образом, за счет динамической составляющей, реально действующее на кран усилие может превышать допустимую нагрузку даже при работе крана с грузами в пределах паспортной грузоподъемности.

Таким образом, несмотря на формирование команды останова при 105-115% $Q_{\text{ном}}$, ограничитель грузоподъемности не защищает кран. После подачи сигнала на отключение привода механизма подъема проходит время задержки размыкания электромагнитных контакторов, время задержки наложения колодочного тормоза и время торможения вращающихся масс, инерционность которых на порядок больше приведенной к валу электродвигателя массы груза [8]. Вследствие общего времени задержки остановки привода нагрузка после достижения порога отключения успевает возрасти, сильно превысив допустимое значение в 125% от номинальной, и груз недопустимой массы отрывается от основания. Этот факт обуславливает необходимость заблаговременного отключения привода, то есть отключение при меньшем уровне нагрузки на датчике усилия.

С другой стороны, при подъеме груза, масса которого близка к номинальной, но не превышает ее, вследствие протекания динамического процесса, обусловленного колебанием усилия в канатах и в металлоконструкции крана, нагрузка на датчике может превысить установленный для ограничителя грузоподъемности порог срабатывания [9;10]. В этом случае оказывается невыполненным требование нормативных и технических документов беспрепятственного подъема грузов до 100% от $Q_{\text{ном}}$.

Таким образом, проблема заключается в невозможности одновременного обеспечения неотрыва недопустимого груза от основания (из-за наличия времени задержки остановки привода) и возможности беспрепятственного подъема околономинальных грузов (из-за динамической составляющей нагрузки).

¹ п.262 приказа Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 ноября 2020 г. № 461 "Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения"

Для решения данной проблемы разработано новое поколение ограничителей грузоподъемности. Микропроцессорный блок таких приборов реализует алгоритмы управления скоростью (при наличии такой возможности), остановки и пуска электродвигателя механизма подъема в зависимости от текущего уровня нагрузки [11;12].

Будучи подключенным при помощи исполнительного реле в цепь управления краном, ограничитель грузоподъемности сам начинает оказывать влияние на протекание динамических процессов. При этом воздействие определяется применяемым алгоритмом.

Целью исследования является экспериментальная оценка влияния работы ограничителя грузоподъемности, использующего алгоритм с промежуточными порогами срабатывания, на состояние безопасности кранов мостового типа.

Задачи исследования:

- определение значений настроечных параметров алгоритма с промежуточными порогами срабатывания, обеспечивающих выполнение требований нормативных и технических документов;
- количественная оценка изменения характера протекания динамического процесса при подъеме груза.

Материалы и методы

В работе изучалось влияние на динамические процессы работы ограничителя грузоподъемности серии ОГШ-2 производства ЗАО «ИТЦ «КРОС». Исследуемый прибор реализует алгоритм с тремя промежуточными порогами срабатывания и одним порогом безусловного запрета. При этом необходимыми для выполнения приведенных выше требований к ограничителю грузоподъемности являются один промежуточный порог (порог предварительного срабатывания) и порог безусловного запрета.

При достижении порога предварительного срабатывания привод механизма подъема кратковременно отключается для выработки решения о продолжении подъема. Величина промежуточного порога рассчитана так, чтобы к моменту остановки привода нагрузка на датчик не превысила значения, соответствующего грузу массой 124% от номинального (порог безусловного запрета). Иллюстрация работы алгоритма представлена на рис. 1.

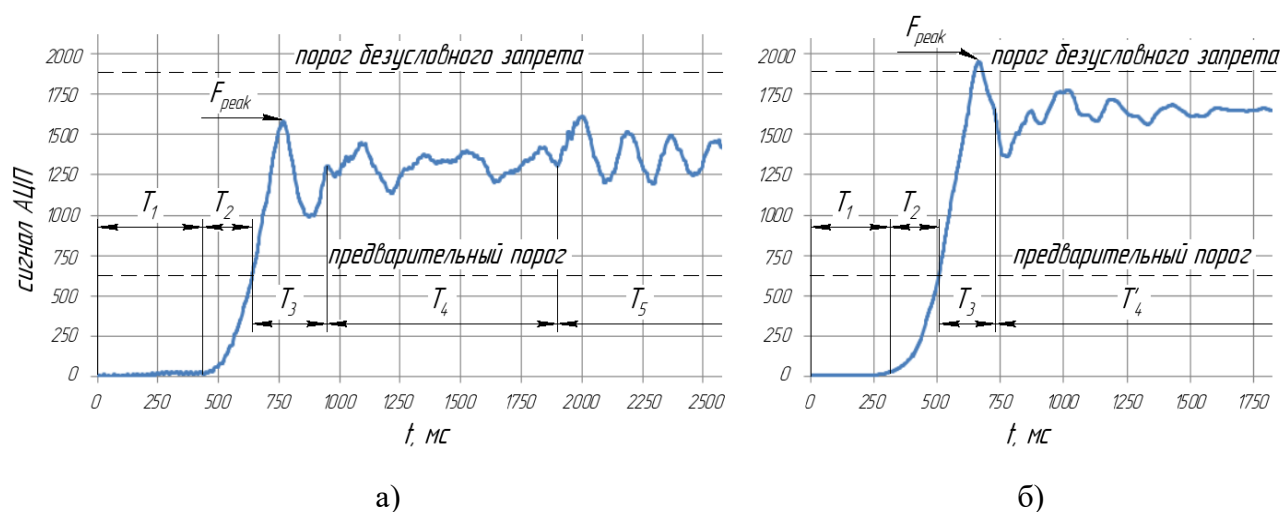


Рис. 1. а) подъем груза допустимой массы; б) попытка подъема груза недопустимой массы.
 F_{peak} – пиковая нагрузка; T_1 – время выбора слабины канатов; T_2 – время натяжения каната до величины, соответствующей порогу предварительного срабатывания; T_3 – время отключения привода; T_4 – время принятия решения о возможности продолжения подъема + запуск привода; T'_4 – время принятия решения о возможности продолжения подъема + запрет подъема; T_5 – подъем

В качестве экспериментальной установки использовали двухбалочный мостовой кран КМГ-201 (г/п 2т, пролет 16 м). Использован наборный груз общей массой 2000 кг (10 грузов по 200 кг). Датчик нагрузки – накладной тензометрический датчик ДНК-1, установленный в холостой ветви грузовых канатов. Расположение элементов ограничителя грузоподъемности на экспериментальной установке представлено на рис. 2.

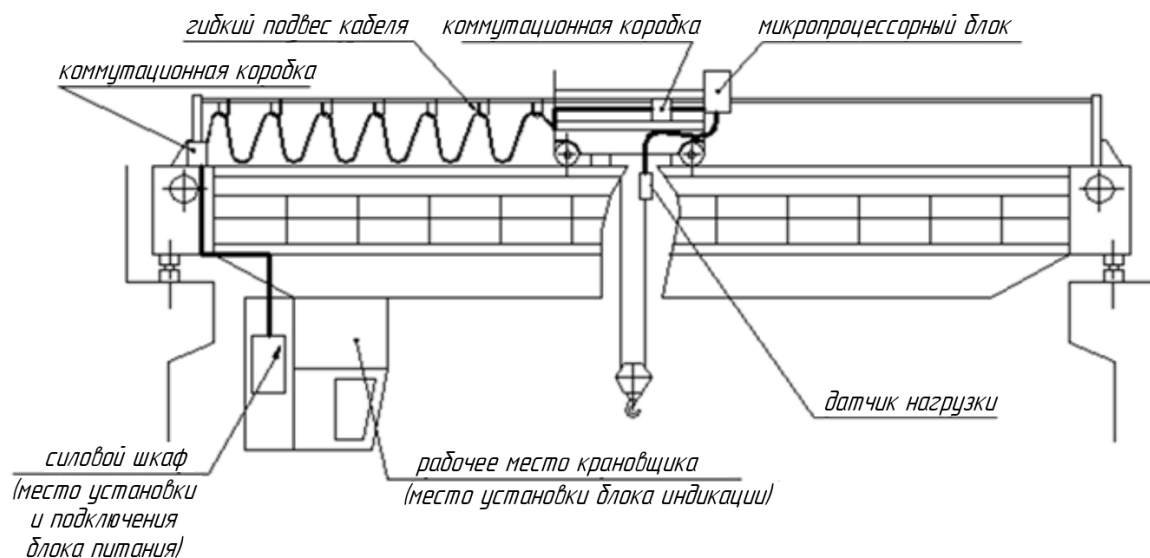


Рис. 2. Схема размещения элементов ограничителя грузоподъёмности на мостовом кране

Определение значения порога предварительного срабатывания проводилось экспериментальным методом. Прибор нормировали на «0» при пустой крюковой подвеске и на «1» при поднятом грузе 1,6 т, что соответствовало в данном исследовании номинальному грузу. Затем поднимали номинальный груз (1,6 т) при различных значениях порога предварительного срабатывания (5% ... 50% от $Q_{ном}$ с шагом 5%). При этом измеряли, на какую высоту поднялся груз при отрыве от основания после полной остановки привода. Далее по полученной на основе измерений характеристике определяли зону, соответствующую нулевому отрыву груза от основания. Эта зона определяет область допустимых настроек порога предварительного срабатывания.

Затем при ранее определенной настройке порога срабатывания исследовали влияние работы ограничителя грузоподъемности на характер протекания динамического процесса. Количественная оценка проводилась при помощи сравнения коэффициентов динамичности при подъеме грузов с неактивным исполнительным реле ограничителя грузоподъемности и с включенным в цепь управления механизма подъема в направлении «вир».

Эксперимент предусматривал подъем грузов массой от 1,4 т, 1,6 т, 1,8 т, 2,0 т, что соответствует 87,5%, 100%, 112,5% и 125% от $Q_{ном}$. Подъем осуществлялся с подхватом (пуск механизма при ослабленных канатах и на максимальной скорости), что является условием достижения максимальных динамических нагрузок.

Значение порога предварительного срабатывания было принято 30% от $Q_{ном}$, порога безусловного запрета – 124% от $Q_{ном}$.

Каждый груз поднимали по три раза. Запись осциллограммы усилия в канате механизма подъема производилась непрерывно с помощью цифрового осциллографа Tektronix DPO 2014.

Каждый последующий подъем проводился после полного успокоения колебаний, вызванных предыдущим подъемом. Кран находился над колоннами рельсового пути, грузовая тележка – в крайнем положении, что обеспечивает наибольшую динамичность за счет увеличения общей жесткости системы.

Обработка результатов эксперимента заключалась в определении коэффициента динамичности с оценкой ошибки определения пиковой нагрузки. Коэффициент динамичности определяли как отношение пиковой нагрузки к величине статической нагрузки в данном эксперименте по формуле (1):

$$k_d = \frac{F_{peak}}{F_s}, \quad (1)$$

где k_d – коэффициент динамичности;

F_{peak} – пиковая нагрузка, соответствующая первому периоду колебаний усилия в канате;

F_s – статическая нагрузка, прямо определяемая из осциллограммы после затухания колебательного процесса.

Пиковую нагрузку в каждой серии экспериментов определяли как среднее значение величины первого пика колебательного процесса согласно формуле (2):

$$F_{peak} = \frac{\sum F_{peak_i}}{n}, \quad (2)$$

где k_d – пиковая нагрузка в i -м подъеме;

n – количество подъемов в серии.

Ошибку определения пиковой нагрузки оценивали как среднее квадратическое отклонение по формуле (3):

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum (F_{peak_i} - F_{peak})^2}{n - 1}}, \quad (3)$$

где Δ – среднее квадратическое отклонение.

Результаты

На рисунке 3 представлены результаты экспериментального определения зоны настройки промежуточного порога срабатывания. При значении порога 30% от $Q_{ном}$ отрыв груза от основания отсутствовал. Приблизительно можно выделить область корректной настройки порога: от 27% до 33%.

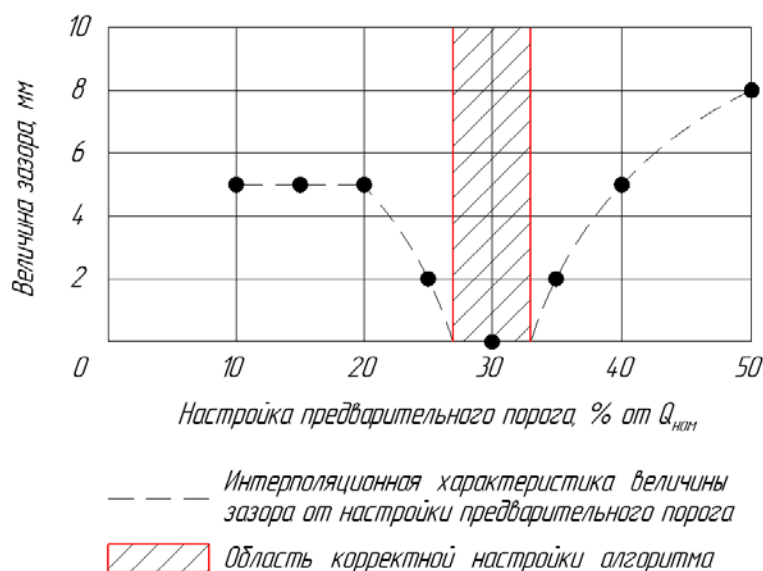


Рис. 3. Характеристика величины зазора между грузом и основанием после остановки механизма подъема от настройки порога промежуточного срабатывания

При ранее определенном значении порога промежуточного срабатывания (30% от $Q_{\text{НОМ}}$) и пороге безусловного запрета 124% от $Q_{\text{НОМ}}$ получены зависимости (рис. 4) натяжения канатов от времени, соответствующие подъемам грузов 87,5% ... 125% от $Q_{\text{НОМ}}$ с шагом 12,5% от $Q_{\text{НОМ}}$:

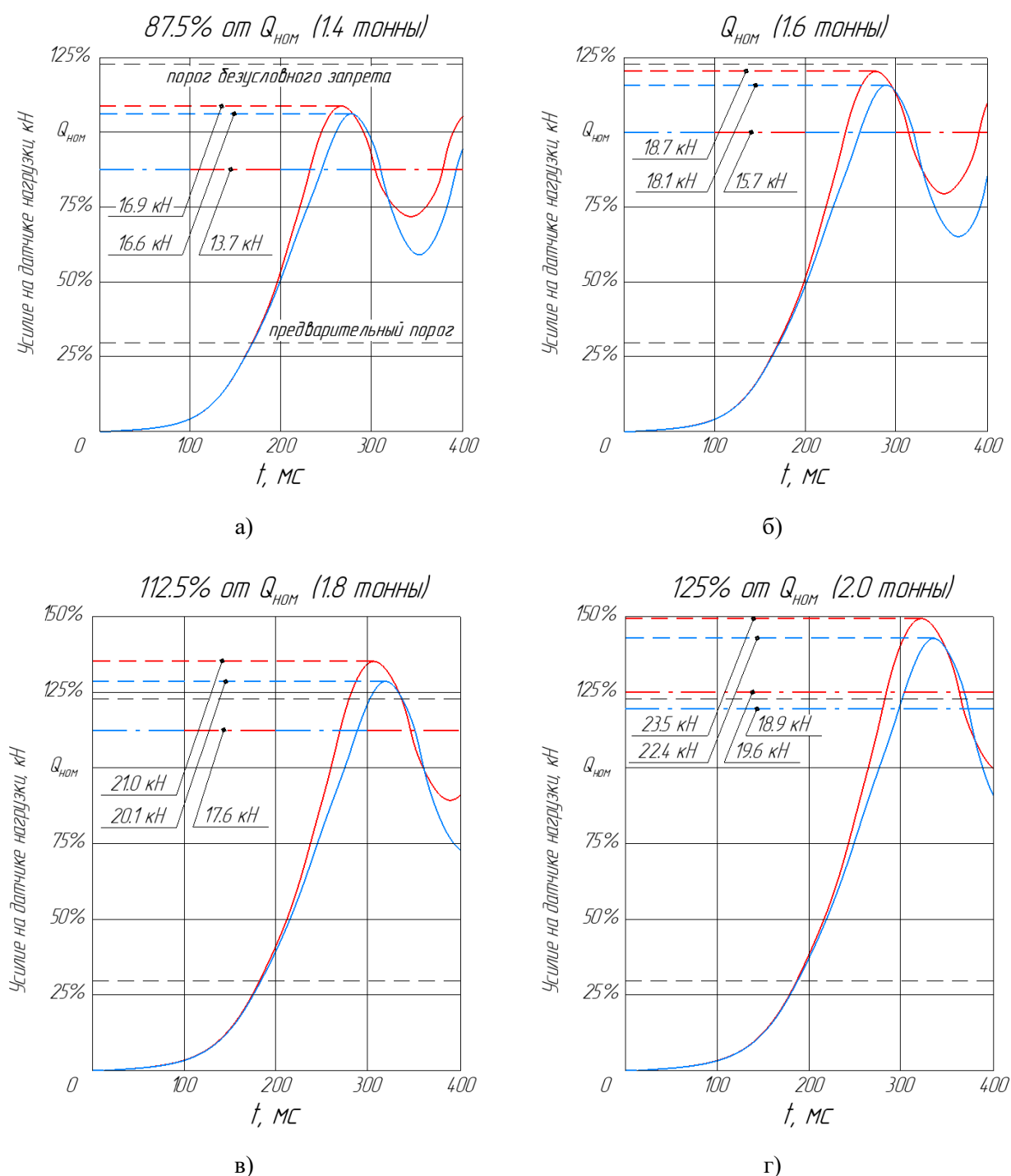


Рис. 4. Зависимости натяжения канатов от времени при подъеме грузов:

- а) 87,5% от $Q_{\text{НОМ}}$ (1,4 тонны); б) $Q_{\text{НОМ}}$ (1,6 тонны); в) 112,5% от $Q_{\text{НОМ}}$ (1,8 тонны);
г) 125% от $Q_{\text{НОМ}}$ (2,0 тонны)

Статистическая обработка серии экспериментов приведена в табл. 1. В ячейках зеленого цвета представлены результаты для работы крана без ограничителя грузоподъемности, в ячейках синего цвета – с использованием прибора ОГШ-2.

Таблица 1. Коэффициент динамичности при подъеме грузов без ограничителя грузоподъемности и с ограничителем

Параметр	87,5% от $Q_{\text{ном}}$ (1.4 тонны)	$Q_{\text{ном}}$ (1.6 тонны)	112,5% от $Q_{\text{ном}}$ (1.8 тонны)	125% от $Q_{\text{ном}}$ (2.0 тонны)
Коэффициент динамичности	22,7%	18,2%	20,7%	19,3%
	20,6%	15,6%	14,6%	16,3%
Максимальная действующая нагрузка, кН	16,9	18,5	21,3	23,4
	16,6	18,1	20,2	22,3
Среднее квадратичное отклонение, кН	0,13 (0,8%)	0,31 (1,7%)	0,37 (1,7%)	0,17 (0,7%)
	0,16 (1,0%)	0,08 (0,4%)	0,19 (0,9%)	0,13 (0,6%)

Заключение

В результате исследования процесса подъема груза двухбалочным мостовым краном КМГ-201, оснащенным ограничителем грузоподъемности ОГШ-2, показана возможность настройки прибора, обеспечивающей выполнение требований безопасности.

Выполнение требования – неотрыв от основания груза массой 125% от $Q_{\text{ном}}$, – обеспечивается предварительным отключением механизма подъема. Экспериментально установлено наличие области корректной настройки порога предварительного срабатывания ограничителя грузоподъемности. Опираясь на факт существования такой области для мостового крана КМГ-201, можно полагать, что и для других типов мостовых кранов существуют аналогичные области. Основанием для такого предположения является сходство физических процессов, протекающих в системе «груз – канатный подвес – механизм подъема – балка», а также сходство конструкции и технических характеристик. К основным из них относятся высокая жесткость металлоконструкций и канатного подвеса, наличие в механизме подъема системы управления с прямым пуском электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

Выполнение требования беспрепятственного подъема номинального груза также реализовано, так как динамическая составляющая нагрузки не превышает 16% от $Q_{\text{ном}}$ и суммарная сила не достигает порога безусловного запрета, установленного на уровне 124% от $Q_{\text{ном}}$.

Эксперименты, проведенные при настройке порога предварительного срабатывания ограничителя грузоподъемности на уровень 30% от $Q_{\text{ном}}$, достоверно показали, что при подъеме околономинальных грузов динамическая составляющая нагрузки на кран снижается на 9 – 29%.

Следует заметить, что в данной работе динамическая нагрузка определялась только по первому пику колебаний усилия в канате, соответственно вывод справедлив только для данного этапа динамического процесса. При повторном пуске механизма подъема в определенной фазе колебаний за счет вынуждающего усилия электродвигателя динамическая составляющая может превысить значение нагрузки первого пика. Это явление, кроме очевидного увеличения нагрузки на кран, может привести к некорректной работе ограничителя грузоподъемности. Так, при сложении статической составляющей нагрузки от номинального груза и повышенной динамической составляющей повторного пуска

результатирующая нагрузка может превысить порог безусловного запрета, что не позволит выполнить требование беспрепятственного подъема номинального груза. Описанное явление возможно компенсировать учетом в алгоритме работы ограничителя грузоподъемности фазы колебаний нагрузки в канатах и вычислением такого момента повторного пуска, при котором динамическая составляющая будет минимальна. Изучение данного вопроса представляется актуальной темой для дальнейшего исследования по совершенствованию алгоритмов работы электронных ограничителей грузоподъемности.

Список литературы

1. Петушков М. Ю. Создание безопасной работы кранов мостового типа на основе внедрения ограничителя грузоподъемности / М. Ю. Петушков, Д. Эпов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: Тезисы докладов 79-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 19–23 апреля 2021 года. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2021. – С. 259. – EDN LORENG.
2. Эпов Д. А. Использование приборов и устройств безопасности на подъемных сооружениях / Д. А. Эпов // Вестник современных исследований. – 2021. – № 3-5(41). – С. 12-15. – EDN LUJGBD.
3. Челночков Н. А. Совершенствование системы безопасности грузоподъемных кранов / Н. А. Челночков, А. П. Прокопьев, Е. С. Турышева // Актуальные вопросы строительства: взгляд в будущее: Сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 40-летию создания Инженерно-строительного института, Красноярск, 19–21 октября 2022 года. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2022. – С. 379-382. – EDN MUQONS.
4. Amr Refky, Yu.N. Dementyev, G. I. Odnokopylov, I. G. Odnokopylov, Yu.V. Krochta Microcontroller Carrying Capacity Limiter of the Electric Crane / Current Science International / Volume: 05; Issue: 02. 2016. pp 199-204.
5. Volodymyr T., Volodymyr S., Ihor S., Voleiry L., Oleksandr V. (2021). Features of Overload Protection for Bridge Type Cranes. In: Karabegović I. (eds) New Technologies, Development and Application IV. NT 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 233. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75275-0_19
6. Михальчик Н. Л. Определение динамических параметров крана для построения полуавтоматической системы настройки прибора-ограничителя грузоподъемности / Н. Л. Михальчик // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы: Сборник докладов XXIII Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 04 апреля 2019 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2019. – С. 543-546. – EDN UJMDRV.
7. Повышение надежности реагирования ограничителя грузоподъемности кранов / И. Р. Каюмов, А. А. Рукомойников, Э. И. Шавалеев, М. А. Лобанов // Современные технологии композиционных материалов: Материалы IV Всероссийской научно-практической молодежной конференции с международным участием, Уфа, 15 апреля 2019 года / отв. редактор: У.Ш. Шаяхметов. – Уфа: Башкирский государственный университет, 2019. – С. 150-152. – EDN ZEUCAP.
8. Аксаментов Д. Н. Исследование адаптивной системы управления мостового крана на экспериментальной установке / Д. Н. Аксаментов, С. П. Круглов, С. В. Ковыршин // Молодая наука Сибири. – 2021. – № 1(11). – С. 429-438. – EDN JVEZRY.

9. Визуальное моделирование двухбалочного мостового крана как сложной динамической системы / Л. Н. Ахтулова, А. Л. Ахтулов, О. М. Кирасиров, В. А. Машонский // Каталог научных и инновационных разработок ФГБОУ ВО Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина: сборник материалов по итогам научно-исследовательской деятельности. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2021. – С. 61-63. – EDN RLWRUM.
10. Петренко В. Исследование динамики мостового крана с использованием мультивариантных расчетов / В. Петренко, П. Жевжиков // Проблемы безопасности на транспорте: МАТЕРИАЛЫ XI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ. В 2 частях, Гомель, 25–26 ноября 2021 года. – Гомель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет транспорта", 2021. – С. 53-54. – EDN UHOIKK.
11. Назаров А. Н. Экспериментальное и теоретическое определение частоты опроса датчика нагрузки для защиты механизма подъема крана от перегрузок / А. Н. Назаров, С. Д. Иванов // XXXIII Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения (МИКМУС - 2021): Труды конференции, Москва, 30 ноября – 02 2021 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, 2021. – С. 157-162. – EDN EUPIWD.
12. Рошин В.А., Иванов С.Д., Михальчик Н.Л. Разработка и экспериментальная проверка алгоритма самонастройки ограничителя нагрузки ОГШ для кранов мостового типа // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2018. №4. С. 514-524. DOI: 10.26518/2071-7296-2018-4-514-524 EDN: XYTRBR

АВТОРЫ

Назаров Александр Николаевич, аспирант, ассистент каф. «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, 105005, Россия, alexnazavr@yandex.ru, ORCID 0000-0002-8039-4331.

Иванов Сергей Дмитриевич, к.т.н., доцент каф. «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, 105005, Россия, ptm-diagnostika@yandex.ru, ORCID 0000-0002-7912-609X.

Machines & Plants Design & Exploiting

*Electronic journal
International Public Organization
“Integration strategy”
<http://maplants-journal.ru>*

*//Machines and Plants: Design and Exploiting.
2023. № 01. pp. 1 – 12.*

DOI:

Received: 19.01.2023

Revised: 25.01.2023

© International Public Organization “Integration strategy”

Influence of capacity limiter operation with tripping thresholds on the overhead cranes safety

Aleksandr N. Nazarov^{1*},
Sergey D. Ivanov¹

* alexnazavr@yandex.ru

¹ Bauman Moscow State Technical
University, Moscow, Russian Federation

The analysis of the operating algorithm of the existing lifting capacity limiters is given. The considered approach is to disconnect the hoisting mechanism when load limit value is reached. For a number of cranes, characterized by relatively high values of dynamism coefficients, it is shown that it is impossible to meet the safety requirements when using the algorithm with a single threshold.

The purpose of the study was to evaluate the effect of the load limiter, which uses an algorithm of operation with intermediate thresholds of operation, on the safety status of overhead cranes.

The algorithm of the capacity limiter operation with intermediate thresholds is described. The possibility of achieving the requirements of regulatory and technical documentation relating to the protection of the crane from overloading, based on the algorithm of the capacity limiter with intermediate thresholds is confirmed experimentally.

On the experimental basis, the effect of the studied capacity limiter algorithm on the dynamism coefficient is examined. It is shown that while lifting near-nominal loads (85–125% of nominal weight) the peak dynamic load on the crane is reduced by 9.2–29.4%.

It is concluded that the algorithm with intermediate thresholds is applicable to meet the requirements for protecting the crane from overloads. The reduction of dynamic loads during the lifting of near-nominal loads, which increases the lifetime of the crane components, is evaluated.

Keywords: crane safety, overhead crane, capacity limiter, capacity limiter algorithm, overhead cranes dynamics, tripping thresholds, capacity limiter adjustment

References

1. Petushkov M. Yu. Creating safe operation of overhead cranes based on the introduction of load-lifting limiter / M. Yu. Petushkov, D. Epov // Actual problems of modern science, technology and education: Abstracts of the 79th International Scientific and Technical Conference, Magnitogorsk, 19-23 April 2021. - Magnitogorsk: Magnitogorsk State Technical University. G.I. Nosov, 2021. - C. 259. - EDN LORENG.
2. Epov D. A. The use of devices and safety devices on lifting structures / D. A. Epov // Bulletin of Modern Studies. - 2021. - № 3-5(41). - C. 12-15. - EDN LUJGBD.
- Chelnochkov, N. A. Perfection of the safety system of cranes / N. A. Chelnochkov, A. P. Prokopyev, E. S. Turyшева // Actual questions of construction: a glance into the future: Collection

- of scientific articles on the materials of the All-Russian scientific-practical conference dedicated to the 40th anniversary of the Engineering and Construction Institute, Krasnoyarsk, October 19-21, 2022. - Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2022. - C. 379-382. - EDN MUQONS.
4. Amr Refky, Yu.N. Dementyev, G. I. Odnokopylov, I. G. Odnokopylov, Yu.V. Krochta Microcontroller Carrying Capacity Limiter of the Electric Crane / Current Science International / Volume : 05; Issue : 02. 2016. pp 199-204.
5. Volodymyr T., Volodymyr S., Iihor S., Voleiry L., Oleksanr V. (2021). Features of Overload Protection for Bridge Type Cranes. In: Karabegović I. (eds) New Technologies, Development and Application IV. NT 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 233. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75275-0_19
6. Mikhalechik N.L. Determination of dynamic parameters of a crane to build a semi-automatic tuning system device-limiter of load capacity / N.L. Mikhalechik // Lifting-transport, construction, road, track machines and robotic complexes : Collection of reports of XXIII Moscow International interuniversity scientific and technical conference of students, graduate students, postgraduates and young scientists, Moscow, April 04, 2019. - Moscow: National Research Moscow State Construction University, 2019. - C. 543-546. - EDN UJMDRV.
7. Increasing the reliability of crane load-limiter response / I. R. Kayumov, A. A. Rukumoynikov, E. I. Shavaleev, M. A. Lobanov // Modern technologies of composite materials : Materials of IV All-Russian scientific-practical youth conference with international participation, Ufa, April 15, 2019 / editor in chief: U. Sh. Shayakhmetov. - Ufa: Bashkir State University, 2019. - C. 150-152. - EDN ZEUCAP.
8. Aksamentov D. N. The study of the adaptive control system of an overhead crane on the experimental unit / D. N. Aksamentov, S. P. Kruglov, S. V. Kovyreshin // Young Science of Siberia. - 2021. - № 1(11). - C. 429-438. - EDN JVEZRY.
9. Visual modeling of a double-girder bridge crane as a complex dynamic system / L.N. Akhtulova, A.L. Akhtulov, O.M. Kirasirov, V.A. Mashonsky // Catalogue of scientific and innovative developments FGBOU VO Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin: collection of materials on the results of research activities. - Omsk : Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 2021. - C. 61-63. - EDN RLWRUM.
10. Petrenko V. Research of Bridge Crane Dynamics Using Multivariant Calculations / V. Petrenko, P. Zhevzhikov // Problems of Transport Safety : MATERIALS OF XI INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE. In 2 parts, Gomel, November 25-26, 2021. - Gomel: Institute of Education "Belarusian State University of Transport". 2021. - C. 53-54. - EDN UHOIKK.
11. Nazarov A. N. Experimental and theoretical determination of the sampling frequency of the load sensor to protect the crane lifting mechanism from overload / A. N. Nazarov, S. D. Ivanov // XXXIII International Innovative Conference of Young Scientists and Students on the problems of Mechanical Engineering (MIKMUS - 2021): Proceedings of the conference, Moscow, November 30 - 02 2021. - Moscow: Federal State Budgetary Scientific Institution A.A. Blagonravov Institute of Mechanical Engineering. A. Blagonravov Russian Academy of Sciences, 2021. - C. 157-162. - EDN EUPIWD.
12. Roshchin V.A., Ivanov S.D., Mikhalechik N.L. Development and experimental verification of the algorithm of self-tuning of the load limiter OGSB for bridge-type cranes // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. 2018. №4. C. 514-524. DOI: 10.26518/2071-7296-2018-4-514-524 EDN: XYTRBR

AUTHORS

Alexander N. Nazarov, post-graduate student, assistant of the department "Lifting and transport systems" of Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 2nd Baumanskaya str. 1, 105005, Russia, alexnazavr@yandex.ru, ORCID 0000-0002-8039-4331.

Sergey D. Ivanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department "Lifting and transport systems" of Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 2nd Baumanskaya str. 1, 105005, Russia, ptm-diagnostics@yandex.ru, ORCID 0000-0002-7912-609X.
