

М 162452

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

В. П. ЗАПЯТОЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ
ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ МОСТОВЫХ КРАНОВ
(05.186 — Подъемно-транспортные машины)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена
Трудового Красного Знамени высшем техническом училище
им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель—
к. т. н., доцент Лобов Н. А.

Официальные оппоненты:
д. т. н., профессор Волков Д. П.,
к. т. н. Алексеев Р. К.

Ведущее предприятие — завод ПТО им. Кирова, г. Ленин-
град.

Автореферат разослан . . . 4 мая . . . 1972 г.

Защита диссертации состоится . . . 5 июня . . . 1972 г.

на заседании С . . . уль-
тета МВТУ им. . . 005,
2-я Бауманская

С диссертаци . . . ВТУ
им. Н. Э. Баум

Ваши отзыв . . . аве-
ренные печат . . . ресу.

Ученый секр . . . Н.
к. т. н., доц

M162452



1162452

Запятой В.П. Исследование

В в е д е н и е

ных задач государственной технической политики, определенной директивами XXIV съезда КПСС, является увеличение производительности труда в промышленности. Это обеспечивается высокой степенью механизации и автоматизации труда, резким сокращением потерь рабочего времени и непроизводительных затрат, применением надежных и безопасных в эксплуатации машин.

Безаварийная, четкая, без нарушения ритма технологического процесса, работа мостовых кранов может быть обеспечена работоспособными, обладающими высокой точностью устройствами безопасности - ограничителями грузоподъемности.

Ограничитель грузоподъемности - устройство, которое осуществляет автоматическую защиту крана от опасных перегрузок посредством отключения механизма подъема при попытках поднять груз, превышающий допустимую для данного крана величину.

"Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов", утвержденными в 1970 году, впервые предписано оснащение мостовых кранов ограничителями грузоподъемности. Необходимость этого диктуется повышенными требованиями эксплуатации и подтверждается результатами проводимых в последние годы исследований работы кранов. Однако, применяемые в настоящее время ограничители не обеспечивают надежного предохранения мостовых кранов от перегрузок.

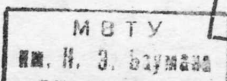
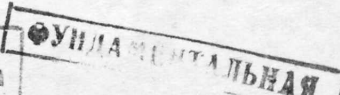
Основной задачей настоящего исследования является вскрытие механизма работы ограничителей грузоподъемности с учетом динамических явлений при подъеме груза.

Конечная цель - разработка рекомендаций по созданию работоспособного, надежного в эксплуатации, простого в обслуживании, обладающего высокой точностью ограничителя для мостовых кранов.

Г л а в а I

Критический анализ существующих ограничителей
грузоподъемности и методов их исследования

I. Показано, что все существующие ограничители кранов с постоянной грузоподъемностью выполняются по двум приведенным схемам: а) по схеме без преобразователя; б) по схеме с преобразователем.



Ограничитель без преобразователя содержит передаточный механизм, уравнивающий элемент и исполнительный механизм. Ограничитель с преобразователем, кроме перечисленных составных частей, содержит устройство, преобразующее перемещение выходного элемента передаточного механизма в электрический сигнал.

Приводится краткое описание некоторых схем и конструкций применяемых ограничителей грузоподъемности.

2. Вопросы, связанные с работой ограничителей и ограничительных устройств подъемных механизмов, освещены в трудах Д.С.Асвадурова, И.Д.Анохина, А.М.Виницкого, А.Х.Гехт, З.И.Головки, Г.В.Гонского, Н.И.Ерофеева, Н.Н.Копейкиной, В.А.Кружкова, М.Г.Лобановского, В.И.Папанова, В.И.Перемысловского, Я.В.Рось, В.Б.Рябинина, М.И.Хрисанова, С.С.Щедровицкого и многих других авторов. Среди зарубежных исследований необходимо отметить труды Гейфферта Г., Дрезига Г., Кастена М., Ригера У. Однако, авторы подавляющего большинства работ ограничиваются лишь описанием определенных конструкций ограничителей грузоподъемности преимущественно для стреловых свободно стоящих кранов.

Наиболее полно анализируются работы Д.С.Асвадурова и Г.В.Гонского, поскольку в трудах этих авторов заложены основные положения теории работы ограничителей. Основное внимание в них уделено исследованию статической погрешности ограничителей грузоподъемности.

Особенности работы ограничителей грузоподъемности мостовых кранов исследованы неполностью и в технической литературе должным образом не отражены.

3. Основной причиной неудовлетворительной работы ограничителей является их большая погрешность. Определено, что эта величина складывается из статической и динамической составляющих. Рассмотрены причины появления статической погрешности. Впервые, применительно к ограничителям грузоподъемности, сформулировано понятие динамической погрешности; показано, что она является определяющей величиной в общей погрешности ограничителя мостового крана и находится из выражения

$$\delta_{\text{дин}} = \frac{K_{\text{дин}} - K_{\text{стат}}}{K_{\text{дин}} \cdot K_{\text{стат}}} 100\%, \quad (1)$$

где значения коэффициентов динамичности составляют

$$K_{\text{дин}} = \frac{Q_{\text{ср}}}{Q_{\text{мин}}}, \quad K_{\text{стат}} = \frac{Q_{\text{ср}}}{Q_{\text{макс}}}, \quad (2)$$

$Q_{ср\text{об}}$ - значение груза, приложенного статически, при котором происходит срабатывание ограничителя; Q_{max} - наибольшая величина груза, при подъеме которого с опоры происходит срабатывание ограничителя, причем, подъем производится плавно, с минимальными динамическими нагрузками; Q_{min} - наименьшее значение груза, при подъеме которого ограничитель также срабатывает. При этом подъем производится с максимальными динамическими нагрузками.

4. На основании анализа рассмотренных конструкций и схем ограничителей установлено, что:

1). Срабатывание ограничителя грузоподъемности мостового крана происходит, когда груз, зачастую значительно превышающий допустимый, оторван от опоры и полностью воспринимается краном. Это является большим недостатком существующих ограничителей.

2). Рассмотренные ограничители рассчитаны из условий статического нагружения. Поэтому для них характерно большое значение динамической погрешности.

3). Недостатком подавляющего большинства применяемых ограничителей является их значительная статическая погрешность.

4). Применяемая с целью уменьшения погрешности в некоторых схемах ограничителей задержка времени их срабатывания для мостовых кранов неприемлема.

В результате, приходим к выводу, что для создания работоспособного ограничителя грузоподъемности мостового крана необходимо решить две основные проблемы:

1) Разработать способ надежного предохранения крана от опасных перегрузок в случаях подъема груза, превышающего допустимый; в связи с этим, разработать методику определения максимальных величин и характера изменения усилий в канатах, возникающих в процессе срабатывания ограничителя.

2) Определить пути существенного уменьшения динамической погрешности ограничителей грузоподъемности мостовых кранов; дать методику подсчета динамической погрешности для различных способов ограничения грузоподъемности.

Г л а в а П

Исследование процесса ограничения грузоподъемности мостового крана

1. Для исследования характера изменения усилий в канатах мостового крана при срабатывании ограничителя грузоподъемности в

качестве расчетного принят случай подъема груза с подхватом на самой жесткой характеристике электродвигателя механизма подъема. При этом делаются допущения:

- а) кран установлен на достаточно жестких опорах;
- б) массы металлоконструкции моста, тележки и электрооборудования приведены к одной точке;
- в) жесткость механизма подъема по кинематической цепи от электродвигателя механизма подъема до барабана является бесконечно большой;
- г) масса груза сосредоточена в одной точке, а сам груз находится на абсолютно жестком основании;
- д) время переходных процессов в обмотках электродвигателя механизма подъема и привода тормоза равно нулю.

Поскольку ограничитель грузоподъемности мостового крана должен обладать максимальным быстродействием срабатывания, нас интересует лишь начальный отрезок времени подъема - в пределах одного периода колебаний усилия в канатах после отрыва груза от опоры. Поэтому допускаем также, что длина подвеса груза в течение этого времени остается постоянной, а силы сопротивления, вызывающие затухание колебаний динамической системы, равны нулю.

Приведенная динамическая схема мостового крана в доотрывной стадии движения изображена на рис. I, в послеотрывной стадии - на рис. 2.

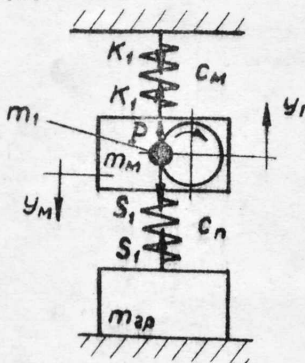


Рис. I

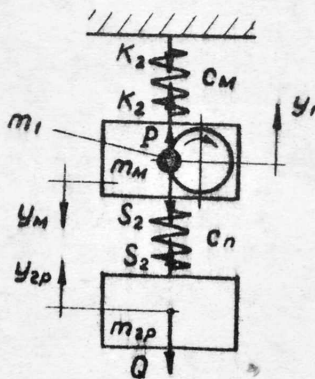


Рис. 2

Здесь m_m - масса моста крана; $m_{гp}$ - масса груза; m_1 - масса вращающихся частей механизма подъема, приведенная к перемещению груза; c_m - жесткость моста в месте расположения тележки; c_n - жесткость подвеса груза с учетом жесткости ограничителя;

y_m - перемещение массы моста, отсчитываемое от его статического положения при условии отсутствия груза на крюке; y_{ep} - перемещение груза; y_1 - перемещение приведенной массы вращающихся частей механизма подъема относительно моста; P - приведенное к перемещению груза усилие привода механизма подъема; S_1 , κ_1 - усилия в упругих связях динамической системы до отрыва груза от опоры; S_2 , κ_2 - усилия в упругих связях после отрыва груза от опоры; Q - вес поднимаемого груза.

Движение динамической системы условно разделяется на 5 этапов.

I этап - с начала возрастания усилия в канатах до момента, пока нагрузка не достигнет значения S_{om} , соответствующего моменту отключения электродвигателя механизма подъема в результате срабатывания ограничителя. Уравнения движения

$$\begin{cases} m_m \ddot{y}_m + (c_m + c_n) y_m - c_n y_1 = 0, \\ m_1 \ddot{y}_1 + \beta \dot{y}_1 + c_n y_1 - c_n y_m = P_0, \end{cases} \quad (3)$$

где β - коэффициент жесткости механической характеристики, а P_0 - приведенное усилие электродвигателя при числе оборотов, равном нулю. При этом допускается, что характеристика в области номинального момента прямолинейна. Начальные условия, при которых усилия в канатах будут иметь наибольшее значение

$$t_1 = 0. \quad y_m = 0; \quad \dot{y}_m = 0; \quad y_1 = 0; \quad \dot{y}_1 = (\dot{y}_1)_0, \quad (4)$$

где $(\dot{y}_1)_0$ - скорость массы m_1 , соответствующая скорости холостого хода электродвигателя. Условие перехода к II этапу движения

$$(S)_1 = S_{om}.$$

II этап - движение динамической системы с момента отключения электродвигателя до момента, когда груз отрывается от опоры.

Уравнения движения

$$\begin{cases} m_m \ddot{y}_m + (c_m + c_n) y_m - c_n y_1 = 0, \\ m_1 \ddot{y}_1 + c_n y_1 - c_n y_m = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Начальные условия настоящего этапа

$$t_2 = 0. \quad y_m = (y_m)_1; \quad \dot{y}_m = (\dot{y}_m)_1; \quad y_1 = (y_1)_1; \quad \dot{y}_1 = (\dot{y}_1)_1. \quad (6)$$

Переходное условие к III этапу движения

$$(S)_2 = Q.$$

III этап - с момента отрыва груза от опоры до момента

наложения тормоза механизма подъема. Уравнения движения системы

$$\begin{cases} m_m \ddot{y}_m + (c_m + c_n) y_m - c_n y_1 + c_n y_{2p} = 0, \\ m_1 \ddot{y}_1 + c_n y_1 - c_n y_m - c_n y_{2p} = 0, \\ m_{2p} \ddot{y}_{2p} - c_n y_1 + c_n y_m + c_n y_{2p} = -Q. \end{cases} \quad (7)$$

Начальные условия данного этапа

$$\underline{t_3 = 0.} \quad y_m = (y_m)_2; \quad \dot{y}_m = (\dot{y}_m)_2; \quad y_1 = (y_1)_2; \quad (8) \\ \dot{y}_1 = (\dot{y}_1)_2; \quad y_{2p} = 0; \quad \dot{y}_{2p} = 0.$$

Переходное условие к IV этапу

$$(t)_3 = t_{c.m.} - t_2, \quad (9)$$

где $t_{c.m.}$ - время срабатывания тормоза механизма подъема; t_2 - продолжительность II этапа движения динамической системы.

IV этап - с начала торможения массы m_1 тормозом до её полной остановки. При этом принимается ступенчатый закон изменения тормозного момента P_m . Уравнения движения

$$\begin{cases} m_m \ddot{y}_m + (c_m + c_n) y_m - c_n y_1 + c_n y_{2p} = 0, \\ m_1 \ddot{y}_1 + c_n y_1 - c_n y_m - c_n y_{2p} = -|P_m| \cdot \text{sign } \dot{y}_1, \\ m_{2p} \ddot{y}_{2p} + c_n y_{2p} - c_n y_1 + c_n y_m = -Q. \end{cases} \quad (10)$$

Начальные условия

$$\underline{t_4 = 0.} \quad y_m = (y_m)_3; \quad \dot{y}_m = (\dot{y}_m)_3; \quad y_1 = (y_1)_3; \quad (11) \\ \dot{y}_1 = (\dot{y}_1)_3; \quad y_{2p} = (y_{2p})_3; \quad \dot{y}_{2p} = (\dot{y}_{2p})_3.$$

Условием перехода к V этапу движения является равенство нулю скорости массы m_1 в конце IV этапа.

V этап - после остановки массы вращающихся частей механизма подъема. Уравнения движения динамической системы

$$\begin{cases} m_m \ddot{y}_m + (c_m + c_n) y_m + c_n y_{2p} = 0, \\ m_{2p} \ddot{y}_{2p} + c_n y_{2p} + c_n y_m = -Q. \end{cases} \quad (12)$$

Начальные условия

$$\underline{t_5 = 0.} \quad y_m = (y_m)_4; \quad \dot{y}_m = (\dot{y}_m)_4; \quad y_{2p} = (y_{2p})_4; \quad \dot{y}_{2p} = (\dot{y}_{2p})_4. \quad (13)$$

Рассмотренная задача решена на электронной моделирующей машине для мостового крана грузоподъемностью 2 т, пределом 8,74 м, с ограничителем грузоподъемности, осуществляющим простое отключение механизма подъема. Установлено, что при подъеме груза, превышающего допустимый, происходит отрыв его от опоры.

2. Рассмотрен случай, когда для подъема груза с опоры необходимо приложить усилие, многократно превышающее номинальное. Это может происходить при использовании кранов для демонтажа оборудования с фундаментов, а также в случаях, когда груз примерз, прилип, приварился к опоре. Возможен захват груза, находящегося не в свободном состоянии. Не исключена возможность задевания грузозахватным приспособлением или поднимаемым грузом элементов строений, подвижного состава и многое другое. Попытка поднять груз в данных условиях приводит к существенному превышению допустимых усилий в элементах крана, несмотря на то, что ограничитель грузоподъемности отключает механизм подъема. Весь процесс при этом происходит без отрыва груза от опоры.

Задача решена на электронной моделирующей машине для мостового крана 20/5 С Узловского машиностроительного завода. При этом определялся характер изменения усилия в канатах, а также его максимальное значение. В результате, получены отношения максимального усилия в канатах к усилию, соответствующему моменту отключения электродвигателя механизма подъема ограничителем, для следующих случаев подъема: а) в середине пролета при полной длине подвеса груза - 1,35; б) у опоры крана на подходе в 1,5 м и при длине подвеса 3,5 м - 2,44; в) у опоры крана на подходе в 1,5 м, при длине подвеса 3,5 м и при условии, что в схему подвеса груза введен дополнительный упругий элемент с приведенной к перемещению груза жесткостью, равной жесткости канатов при полной длине подвеса, - 1,34. Установлено также, что вследствие достаточно большого времени срабатывания тормоза механизма подъема (0,3 + 0,5 секунды для тормоза с электрогидравлическим толкателем), максимум усилия наступает до начала торможения массы вращающихся частей тормозом. Введение в схему подвеса груза дополнительного упругого звена позволяет существенно уменьшить максимальные усилия в канатах.

Как показывает анализ решений двух приведенных задач, простое отключение механизма подъема мостового крана ограничителем грузоподъемности не обеспечивает предохранения кранов от значительных перегрузок.

3. В работе предложен способ воздействия на механизм подъема, предусматривающий с целью защиты мостового крана от опасных перегрузок автоматический перевод электродвигателя после срабатывания ограничителя в режим противовключения. В случаях, если предпринимается попытка поднять груз, многократно превышающий номинальный, интенсивное электрическое торможение вращающихся частей механизма

подъема позволяет получить нагрузки в канатах, лишь незначительно превосходящие значение усилия срабатывания ограничителя.

Приводятся результаты решения на электронной моделирующей машине задачи по определению наибольших динамических усилий при ограничении грузоподъемности предложенным способом. Отношение максимального усилия в канатах S_{max} к усилию $S_{пр}$, соответствующему началу электрического торможения двигателя механизма подъема крана 20/5 С, составляет: а) при попытке поднять груз в середине пролета на наибольшей длине подвеса - 1,15; б) когда тележка находится на подходе в 1,5 м и при длине подвеса 3,5 м - 1,50; в) при подходе в 1,5 м, длине подвеса 3,5 м и при условии, что в схему подвеса включен дополнительный упругий элемент с приведенной к перемещению груза жесткостью, равной жесткости канатов при максимальной длине подвеса, - 1,17.

Сравнивая полученные результаты с итогами решения по определению усилий в канатах при простом отключении механизма подъема ограничителем (для одинаковых условий нагружения крана 20/5 С), можно сделать вывод о том, что предложенный способ воздействия достаточно эффективен. Отмечается также, что в любом случае полезно введение в схему подвеса груза дополнительного упругого звена; это позволяет существенно уменьшить величины возникающих в канатах усилий.

Глава III

Пути снижения динамической погрешности ограничителей грузоподъемности мостовых кранов

I. В главе приводится анализ двух методов уравнивания усилий в ограничителях: а) грузового и б) упругим уравнивающим элементом.

Установлено, что применение в ограничителе грузового уравнивания не может привести к снижению динамической погрешности.

Ограничители с упругим уравнивающим элементом (пружиной, рессорой, торсионом и пр.), будучи включенными в схему гибкого подвеса, несколько уменьшают его жесткость. Это приводит к уменьшению максимального коэффициента динамичности при подъеме груза с опоры, а, следовательно, и к уменьшению динамической погрешности ограничителя. Показано, насколько при этом уменьшается динамическая погрешность для ряда кранов производства Узловского машиностроительного завода. При этом получена формула для определения

жесткости канатного подвеса груза с учетом жесткости ограничителя

$$C_n = \frac{C_k}{1 + \frac{C_k}{C_1 \cdot i_{ог}^2 \cdot a^2}}, \quad (14)$$

где C_k - жесткость канатов крана; C_1 - жесткость упругого уравновешивающего элемента ограничителя; $i_{ог}$ - передаточное число ограничителя; a - кратность полиспаста механизма подъема.

2. Одной из основных задач при создании работоспособной конструкции ограничителя для мостовых кранов является значительное уменьшение его динамической погрешности.

Разработан ограничитель, работа которого основана на способе ограничения грузоподъемности, получившего наименование "способ временного сравнения". Сущность этого способа заключается в том, что для определения величины контролируемого параметра (в данном случае - веса груза) измеряют фактическую длительность превышения динамическим усилием в канате (изменяющимся с частотой колебаний динамической системы крана) заданного уровня и сравнивают её с установленной при настройке величиной времени, близкой к длительности полупериода колебаний усилия в канате.

При этом делается допущение, что усилие в канатах в начальный период времени после отрыва груза от опоры изменяется по закону, близкому к гармоническому, с низшей частотой колебаний динамической системы крана. Для определенной группы кранов это допущение справедливо, поэтому для них будет характерно относительное постоянство периода колебаний усилия в канатах.

Установлено, что динамическая погрешность ограничителя грузоподъемности "временного сравнения" зависит от следующих основных факторов: а) от различных способов подъема груза; б) от изменения частоты колебаний усилия в канатах.

Получена формула для определения динамической погрешности ограничителя "временного сравнения", зависящей от способа подъема

$$\delta_{дин,} = \left[\frac{(K_{дин\max} - 1) \sin \frac{\pi/p - t_c}{2} p}{1 + (K_{дин\max} - 1) \sin \frac{\pi/p - t_c}{2} p} - \frac{(K_{дин\min} - 1) \sin \frac{\pi/p - t_c}{2} p}{1 + (K_{дин\min} - 1) \sin \frac{\pi/p - t_c}{2} p} \right] 100\%, \quad (15)$$

где $K_{дин\max}$, $K_{дин\min}$ - значения максимального и минимального коэффициентов динамичности при подъеме предельного груза; p - низшая частота колебаний усилия в канатах; t_c - время срабатывания ограничителя, равное времени задержки отключения его исполнительного элемента.

Полученное выражение позволяет проследить, как изменяется динамическая погрешность ограничителя от величины времени срабатывания, по которой производится настройка. По формуле (15) построен график зависимости динамической ошибки $\delta_{\text{дин}1}$ от соотношения величины t_c к длительности полупериода колебаний усилия в канатах π/ρ для двух мостовых кранов. Из графика можно заключить, что в том случае, если при настройке ограничителя установлено значение времени срабатывания t_c , равное длительности полупериода колебаний усилия π/ρ , то динамическая погрешность, зависящая от способа подъема груза, будет равной нулю. В случае, если принять значение $t_c = 0$, то выражение (15) приводится к виду (1).

Установлена зависимость динамической погрешности ограничителя "временного сравнения" от частоты колебаний усилия в канатах, меняющейся при изменении положения тележки крана по длине пролета, а также при изменении длины подвеса груза

$$\delta_{\text{дин}2} = \left[\frac{\sin \frac{\pi/\rho - t_c}{2} \rho}{\frac{1}{K_{\text{дmax}}^{\text{ср}} - 1} + \sin \frac{\pi/\rho - t_c}{2} \rho} - \frac{\sin \frac{\pi/\rho_1 - t_c}{2} \rho_1}{\frac{1}{K_{\text{дmax}}^{\text{к}} - 1} + \sin \frac{\pi/\rho_1 - t_c}{2} \rho_1} \right] 100\%, \quad (16)$$

где $K_{\text{дmax}}^{\text{ср}}$, ρ - максимальный коэффициент динамичности усилия в канатах и низшая частота его колебаний при подъеме груза в середине пролета при полной длине подвеса; $K_{\text{дmax}}^{\text{к}}$, ρ_1 - максимальный коэффициент динамичности и низшая частота колебаний усилия в канатах для положения тележки в любой точке пролета, кроме его середины, и при любой длине подвеса; t_c - время срабатывания.

Динамическая погрешность, зависящая от изменения частоты колебаний усилия в канатах, имеет максимальное значение $\delta_{\text{дин}2}^{\text{max}}$, если величины $K_{\text{дmax}}^{\text{к}}$ и ρ_1 будут наибольшими. Это возможно в случае, если тележка находится у опор крана, а длина подвеса груза минимальна.

По формуле (16) построен график зависимости $\delta_{\text{дин}2}^{\text{max}}$ от соотношения t_c к π/ρ для двух мостовых кранов. Установлено, что оптимальное значение времени срабатывания ограничителя грузоподъемности "временного сравнения" находится в точке пересечения кривых изменения $\delta_{\text{дин}1}$ и $\delta_{\text{дин}2}^{\text{max}}$, построенных по выражениям (15) и (16). Подсчитано, что значение динамической погрешности ограничителя грузоподъемности "временного сравнения", полученное при выборе оптимального времени срабатывания t_c , меньше по сравнению с

динамической погрешностью ограничителя с воздействием на концевой выключатель: а) для крана грузоподъемностью 2 т, пролетом 8,74 м - в 4,34 раза; б) для крана грузоподъемностью 20 т, пролетом 22,5 м - в 2,39 раза.

3. Разработан ограничитель грузоподъемности, работа которого основана на способе сглаживания сигнала датчика усилия. Способ заключается в том, что усилие в канатах преобразовывается в электрическую величину; затем сигнал, изменяющийся с частотой усилия в канатах, с помощью RC-фильтра сглаживается и сравнивается с установленной при настройке ограничителя величиной срабатывания.

Согласно схеме электрической части ограничителя обмотка его исполнительного реле является сопротивлением нагрузки RC-фильтра. Закон изменения напряжения на выходе RC-фильтра отличается от изменения напряжения на входе, соответствующего изменению усилия в канатах. Уравнения для определения величины тока, протекающего через сопротивление нагрузки RC-фильтра, имеют вид:

а) До отрыва груза от опоры

$$\begin{cases} m_m \ddot{y}_m + K_1 - S_1 = 0, \\ m_1 \ddot{y}_1 + S_1 = P, \\ \tau \frac{di_n}{dt} + \frac{R+R_n}{R_n} i_n = \frac{U_1 - U_n}{R_n}, \\ K_1 = c_m y_m, \\ S_1 = c_n (y_1 - y_m), \\ U_1 = k S_1, \end{cases} \quad (I7)$$

где i_n - ток через сопротивление нагрузки RC-фильтра; U_1 - напряжение на входе фильтра; U_n - напряжение "подпора"; R - сопротивление RC-фильтра; R_n - сопротивление нагрузки фильтра; k - коэффициент преобразования усилия в канатах в напряжение электрического тока; τ - постоянная времени RC-фильтра.

Начальные условия для подъема груза с подхватом, когда динамические усилия достигают наибольших значений

$$t_1 = 0. \quad y_m = 0; \dot{y}_m = 0; y_1 = 0; \dot{y}_1 = (\dot{y}_1)_0; i_n = 0.$$

"Мягкий" подъем груза с опоры можно обеспечить включением электродвигателя механизма подъема на ступень разгона, гарантирующую отрыв груза от опоры и подъем его с минимальной скоростью. При этом начальные условия

$$t_1 = 0. \quad y_m = 0; \dot{y}_m = 0; y_1 = 0; \dot{y}_1 = 0; i_n = 0.$$

Переходным условием к послеотрывной стадии движения динамической системы служит равенство усилия в канатах S_1 величине

поднимаемого груза Q .

б) После отрыва груза от опоры

$$\begin{cases} m_M \ddot{y}_M + K_2 - S_2 = 0, \\ m_1 \ddot{y}_1 + S_2 = P, \\ m_{2p} \ddot{y}_{2p} - S_2 = -Q, \\ \tau \frac{di_H}{dt} + \frac{R+R_H}{R_H} i_H = \frac{u_2 - U_n}{R_H}, \\ K_2 = c_M y_M, \\ S_2 = c_n (y_1 - y_M - y_{2p}), \\ u_2 = k S_2. \end{cases} \quad (18)$$

Начальные условия $t_2 = 0$, $y_M = (y_M)_1$; $\dot{y}_M = (\dot{y}_M)_1$; $y_1 = (y_1)_1$;

$\dot{y}_1 = (\dot{y}_1)_1$; $y_{2p} = 0$; $\dot{y}_{2p} = 0$; $i_H = (i_H)_1$, если к моменту отрыва груза от опоры $u > U_n$, или $i_H = 0$, если $u \leq U_n$.

В рассматриваемом ограничителе можно получить одинаковое наибольшее значение тока i_H через исполнительное реле при подъеме грузов различной величины в случаях, если эти грузы поднимаются с опоры различными способами. Динамическая погрешность этого ограничителя определяется выражением

$$\delta_{\text{дин}} = \frac{Q'_{\text{max}} - Q_{\text{min}}}{Q_c} 100\%, \quad (19)$$

где Q'_{max} - наибольшее значение груза, "мягкий" подъем которого вызывает ток i_H через исполнительное реле, равный току его срабатывания I_c ; Q_{min} - наименьшая величина груза, при подъеме которого рывком величина тока i_H также достигает значения I_c ; Q_c - груз, при статическом приложении которого через исполнительное реле ограничителя протекает ток величиной I_c ,

$$Q_c = \frac{U_n + I_c (R + R_H)}{k}. \quad (20)$$

Предложена методика выбора оптимальных параметров электрической части ограничителя (R , R_H и емкости C). Этим параметрам соответствует минимальное значение динамической погрешности ограничителя грузоподъемности со сглаживанием сигнала. Задача решена на электронной моделирующей машине. В результате, получено значение динамической погрешности ограничителя при выбранных оптимальных параметрах элементов его электрической части. Установлено, что это значение в 1,93 раза меньше величины динамической погрешности ограничителя с воздействием на концевой выключатель.

Г л а в а IV

Экспериментальное исследование ограничителей грузоподъемности мостовых кранов

1. В главе приводится описание оборудования и аппаратуры, использованной при испытаниях, устройства и принципа действия разработанных ограничителей грузоподъемности, а также методики проведения эксперимента.

2. Исследован процесс аварийного срабатывания ограничителя при попытках поднять краном груз, значительно превышающий допустимый. Экспериментально подтверждено, что простое отключение механизма подъема после срабатывания ограничителя не предохраняет мостовой кран от значительных перегрузок.

Подтверждается эффективность разработанного способа воздействия ограничителя на механизм подъема крана. Показано, что максимальные динамические усилия в канатах при аварийном срабатывании ограничителя, установленного на мостовом кране грузоподъемностью 2 т, пролетом 8,74 м, составляет, в среднем, 0,925 от наибольших усилий при обычном подъеме того же груза краном без ограничителя. Установлено, что кран в результате аварийного срабатывания очень быстро, в течение $0,2 + 0,25$ секунды, автоматически освобождается от опасных перегрузок.

3. Проведены испытания ограничителя грузоподъемности "временного сравнения" в режиме "нормального" срабатывания, когда груз немногим превышает допустимое значение. Испытания проводились на мостовом кране грузоподъемностью 2 т, пролетом 8,74 м, а также на кране грузоподъемностью 20 т, пролетом 22,5 м. Установлено, что значение динамической погрешности ограничителя грузоподъемности "временного сравнения" меньше динамической погрешности ограничителя с воздействием на концевой выключатель: а) для крана грузоподъемностью 2 т - в 4,65 раза; б) для крана грузоподъемностью 20 т - в 2,97 раза.

4. На кране грузоподъемностью 2 т были проведены испытания ограничителя грузоподъемности со сглаживанием сигнала датчика усилия. В электрической части ограничителя были установлены элементы RC-фильтра с параметрами, которые определены в результате решения задачи, приведенной в III главе. Установлено, что динамическая погрешность испытанного ограничителя в 2,02 раза меньше величины динамической погрешности ограничителя с воздействием на концевой выключатель, определенной по (I). Это отношение немногим отличается

от значения, полученного в теоретической части работ.

В ы в о д ы

1. Общая погрешность ограничителя грузоподъемности мостового крана складывается из статической и динамической составляющих, причем, определяющей величиной является динамическая погрешность.

2. Показано, что применяемые ограничители с простым отключением механизма подъема при установке их на мостовые краны не обеспечивают надежной защиты от опасных перегрузок, а вследствие большой погрешности снижают производительность этих машин, нарушают ритм технологического процесса.

3. Надежное автоматическое предохранение мостового крана от возможных опасных перегрузок может быть обеспечено ограничителем, который в процессе срабатывания осуществляет быстрый автоматический перевод электродвигателя механизма подъема в режим противовключения.

4. Быстродействие ограничителя грузоподъемности в случаях опасных перегрузок крана должно быть максимальным. Это достигается за счет выбора элементов ограничителя с минимальной величиной времени срабатывания и наибольшим значением коэффициента возврата.

5. Существенного снижения динамической погрешности ограничителя можно достичь осуществлением рекомендованных способов ограничения грузоподъемности: а) способа "временного сравнения", позволяющего получить уменьшение динамической погрешности в сравнении с её значением для ограничителей с воздействием на концевой выключатель от 2 до 20 раз; б) способа сглаживания сигнала датчика усилия, позволяющего снизить динамическую погрешность в два раза.

6. С целью еще более значительного снижения динамической погрешности, а также некоторого уменьшения динамических усилий, возникающих в канатах при подъеме груза с опоры, в ограничителе целесообразно применять упругий уравнивающий элемент. При этом величина приведенной жесткости ограничителя должна быть возможно меньшей, а его передаточное число - равным единице.

7. В результате проведенных исследований установлено, что для мостовых кранов возможно создание ограничителей грузоподъемности, у которых суммарная погрешность, определяющая величину допустимой перегрузки крана, не превышает $10 + 15 \%$.

8. Применение предложенных ограничителей грузоподъемности позволит уменьшить величину нормативной перегрузки мостовых кранов, которая согласно правилам ГОСТОРТЕХНАДЗОРа равна 25 %.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Запятой В.П. Методика определения динамической ошибки ограничителей грузоподъемности кранов мостового типа. "Известия ВУЗов. Машиностроение", 1972, № 1.

2. Запятой В.П. Динамическая ошибка ограничителя грузоподъемности "временного сравнения", зависящая от изменения частоты колебаний усилия в подвеске груза. "Известия ВУЗов. Машиностроение", 1972, № 2.

3. Запятой В.П. Способ ограничения грузоподъемности мостового крана. Положительное решение о выдаче авторского свидетельства от 26 июля 1971 г. по заявке № 1474130/24-7 с приоритетом от 25 августа 1970 г.

4. Запятой В.П. Ограничитель грузоподъемности. Положительное решение о выдаче авторского свидетельства от 21 декабря 1971 г. по заявке № 1450727/21-II с приоритетом от 18 июня 1970 г.

