

М440922
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

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

На правах рукописи
УДК.621.874

РУНОВ МИХАИЛ МИХАЙЛОВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ТОРМОЗНЫХ РЕЖИМОВ
КРАНОВЫХ ТЕЛЕЖЕК С ГИБКИМ ПОДВЕСОМ ГРУЗА

Специальность 05.05.05 - Подъемно-транспортные машины

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
В.С. ПОЛКОВНИКОВ

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
зав. сектором А.А. ЗАРЕЦКИЙ
кандидат технических наук,
доцент Д.Н. СПИЦНА

Ведущее предприятие - ИМПРОНИМАВИАПРОМ

Защита диссертации состоится " 20 " января 1986 г.
на заседании специализированного совета К.053.15.10 МВТУ имени
Н.Э. Баумана по транспортному машиностроению по адресу:
107005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ имени
Н.Э. Баумана.

Автореферат

Отзывы в
высылать по у

М440922

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работ. В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года" отмечена необходимость дальнейшего роста и совершенствования подъемно-транспортной техники на основе неуклонного повышения эффективности и качества машин.

Мостовые краны общего назначения, оборудованные тележками с гибким подвесом груза, являются одним из средств механизации погрузочно-разгрузочных работ во многих отраслях промышленности. В условиях интенсификации погрузочно-разгрузочных работ требуемое повышение производительности крановых тележек может быть получено путем сокращения потерь времени на обеспечение точной остановки и успокоение колебаний груза. Однако существующие методы расчета тормозных режимов, основывающиеся либо на допущении равнозамедленного движения тележки с раскачивающимся грузом в процессе торможения, либо рассматривающие вопросы достижения точности остановки и успокоения колебаний груза независимо друг от друга, не позволяют комплексно решить вопросы повышения производительности крановых тележек.

Для повышения производительности крановых тележек необходимо исследовать влияние гибкого подвеса груза на движение тележки в процессе торможения и на этой основе обеспечить точную остановку груза при исключении его колебаний. Последнее обеспечивает снижение интенсивности работы и утомляемости крановщика в управлении механизмом передвижения тележки при обработке грузов.

Цель работы. Целью настоящей работы является совершенствование методики расчета тормозных режимов крановых тележек на основе теоретических и экспериментальных исследований процессов торможения с учетом специфических особенностей рельсовых механизмов передвижения и влияния гибкого подвеса груза, а также разработка:

- уточненной методики расчета процесса торможения крановой тележки;
- методики расчета времени и пути сдвиги тележки под действием раскачивающегося груза;
- методики расчета тормозных моментов, замедлений, пути торможения тележки для предлагаемого режима ступенчатого торможения, позволяющего стабилизировать пути торможения и исключить раскачивание груза после остановки тележки.

I

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1440922

Рунов М.М. Совершенствовани



Методы исследования. Для решения сформулированных динамических задач, описывающих процесс торможения крановой тележки с гибким подвесом груза, использовались аппараты теории дифференциальных уравнений, теории механических колебаний и численные методы решения дифференциальных уравнений. При экспериментальном исследовании на модели процесса повторного движения тележки под действием раскачивающегося груза применен аппарат теории подобия и анализа размерности.

Научн. и новизна. В работе приведен подробный анализ существующих методик расчета тормозных режимов крановых механизмов передвижения с учетом специфических особенностей процессов торможения крановых тележек с гибким подвесом груза, а также способов гашения колебаний груза. В качестве обобщенного критерия сравнения существующих методик расчета принято расчетное замедление. Использование при той динамической модели крановой тележки с учетом влияния гибкого подвеса груза показало, что допущение о равнозамедленном движении тележки с грузом в процессе торможения не является правомерным. Установлено, что неравномерность движения тележки определяется влиянием гибкого подвеса груза и зависит от соотношения массы груза и приведенной массы тележки. Получены формулы для расчета кинематических параметров (путь, скорость и замедление) движения тележки в процессе торможения, а также времени торможения тележки.

Впервые исследован процесс повторных движений тележки под действием раскачивающегося груза. Показано, что для соотношения сопротивлений покоя и движения, составляющего I, I тележка совершает только одно повторное движение, в результате которого осуществляется частичное подавление колебаний груза; приведены формулы расчета времени и пути сдвижки тележки, а также амплитуды остаточных колебаний груза. Впервые предложен и исследован достаточно простой в практической реализации способ ступенчатого торможения крановой тележки с целью гашения колебаний груза на постоянных путях торможения независимо от массы и длины подвеса перемещаемого груза.

Достоверность получаемых результатов обеспечивается применением научно обоснованных методов динамики грузоподъемных машин, а также теории подобия и моделирования. Допущения, принятые при решении поставленных задач, не выходили за рамки обычных допущений.

ний, принимаемых для исследования динамических моделей грузовых машин с гибким подвесом груза. Достоверность результатов численных решений, выполненных в работе, устанавливалась путем сопоставления расчетных данных с результатами экспериментальных исследований, полученных как в предшествующих работах, так и приведенных в диссертационной работе.

Практическая ценность работы. На основе анализа процесса торможения крановой тележки с учетом влияния гибкого подвеса груза разработаны: уточненная методика и программа расчета на ЭКМ времени, пути торможения, а также амплитуды колебаний груза относительно вертикали, проходящей через точку его подвеса; методика расчета времени торможения тележки с целью ограничения амплитуды остаточных колебаний груза; методика расчета пути и времени однократного торможения тележки при ее повторном движении с целью расширения зоны выбора времени торможения тележки без существенного нарушения точности остановки груза; методика расчета параметров процесса ступенчатого торможения тележки с целью гашения колебаний груза, стабилизации путей торможения и повышения точности остановки груза. Спроектированы и изготовлены: новый комплекс аппаратуры и оснастки для измерений угла отклонения груза, пути торможения, тормозного момента, стенд для модельных испытаний крановых тележек. Разработаны и изготовлены двойной двухколесный тормоз и релейный блок управления тормозом, обеспечивающие практическую реализацию способа ступенчатого торможения на крановой тележке КТГ-20Г грузоподъемностью 2 т. Предложенные уточненные методики расчета тормозных режимов могут быть использованы в проектных и конструкторских организациях при проектировании и расчете мостовых кранов с гибким подвесом груза.

Реализация результатов работы. Результаты работы использованы ВНИИПТМАШ при разработке ОСТ "Основные положения расчета механизмов мостовых и козловых кранов" и МВТУ им. Н.Э. Баумана в учебном процессе кафедры ПТМ.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и неоднократно обсуждались на научных семинарах кафедры "Подъемно-транспортные машины и оборудование" МВТУ им. Н.Э. Баумана (1971-1985г.г.); на научно-технической конференции молодых ученых и специалистов МВТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, февраль 1976г.; на Всесоюзной конференции "Научно-технический прогресс в машиностроении и приборостроении", Москва, июнь 1980г.; на Всесоюзной научной

конференции "Нравое в подъемно-транспортной технике", Москва, май, 1985г.

Публикации. По материалам исследований опубликовано 10 статей, в которых изложены основные положения диссертации, получено авторское свидетельство.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, основных выводов и рекомендаций, списка литературы. Она содержит 150 страниц машинописного текста, 11 таблиц, 46 рисунков, список литературы из 192 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении к диссертации обоснована актуальность темы, изложена цель работы и дано ее краткое содержание.

В первом разделе рассмотрены особенности процессов торможения механизмов передвижения кранов и тележек с гибким подвесом груза, приведен качественный анализ методов гашения колебаний груза и сформулированы задачи исследований.

Отмечается, что разработке методов расчета тормозных режимов крановых механизмов передвижения при отсутствии полезного груза посвящены работы ряда видных отечественных и зарубежных исследователей: Р.К.Алексеева, М.П.Алексадрова, С.А.Казака, Л.Г.Кифера, Б.С.Ковальского, П.З.Петухова, Х.Веттера, М.Шеффлера, Е.Штратхуэна, Х.Ульбрихта, Х.Эрнста и др.

Анализ методов расчета тормозных режимов позволил выявить три основных методики определения тормозного момента: по минимально допускаемой величине пути торможения; по допускаемой величине максимального замедления; по запасу сцепления затормаживаемых ходовых колес с рельсами.

На выбор расчетных замедлений крановых тележек, транспортирующих груз на гибком подвесе, накладывается ряд ограничений, учитывающих сохранение сцепления заторможенных колес с рельсами, динамические особенности механизма передвижения и влияние раскачивания груза в процессе торможения. К таким ограничениям относятся также и нормативные требования, учитывающие вид транспортируемого груза и особенности технологических процессов, обслуживаемых краном, а также изложенное в работах В.А.Гербста условие отсутствия повторных движений тележки под действием раскачиваемого груза. Отмечается, что уменьшение раскачивания груза только путем снижения расчетных замедлений не является полностью обо-

снованным, поскольку отклонение груза относительно вертикали, проходящей через точку его подвеса, в конце торможения, как правило, не достигает своего максимального значения даже при минимально возможных длинах подвеса. Таким образом, задача выбора замедления тележки с целью ограничения амплитуды колебания груза требует специального рассмотрения.

После окончания процесса торможения нередки случаи, когда тележка под действием раскачивающегося груза совершает дополнительные перемещения — повторные движения. Повторные движения тележки нарушают точность остановки груза над местом посадки. Однако до настоящего времени количественно процесс повторных движений тележки не рассматривался. В связи с этим разработка методики расчета путей и числа повторных движений представляет актуальную и практически важную задачу.

Общепринятые методики расчета тормозных режимов крановых тележек с грузом базируются на допущении равнозамедленного движения тележки с грузом в процессе торможения. Исключение составляет исследование В.А.Гербста, в результате которого рекомендовано вести расчет тормозного момента механизма передвижения тележки с учетом влияния гибкого подвеса груза. Однако проведенное исследование не позволяет оценить границы применимости весьма простых формул равнозамедленного движения для расчета тормозного режима крановой тележки с гибким подвесом груза.

Анализ литературных источников и патентов позволил выявить основные направления в исследованиях и разработках средств, позволяющих исключить или эффективно гасить колебания перемещаемых грузов.

Приведена оценка приемлемости рассмотренных способов и устройств подавления колебаний груза для промышленной реализации на тележках кранов общего назначения. Отмечено, что в настоящее время практически отсутствуют достаточно простые универсальные средства гашения колебаний груза, а их разработка ведется, как правило, для определенных типов кранов и условий эксплуатации.

Рассмотренные способы и средства гашения колебаний груза не являются исчерпывающими, поэтому целесообразно проведение исследований с целью создания простых в эксплуатации систем, обеспечивающих гашение колебаний груза в процессе торможения и остановки тележки на постоянных путях торможения. Такой комплексный подход к решению задачи о подавлении колебаний груза при одновременной

стабилизации путей торможения позволит значительно облегчить условия работы крановщика по управлению тележкой, в частности при определении момента начала торможения.

Исходя из проведенного анализа методик расчета тормозных режимов крановых механизмов передвижения, а также средств уменьшения или полного исключения колебаний груза к моменту остановки тележки, определены следующие задачи исследований:

- исследование процесса торможения крановой тележки с учетом влияния гибкого подвеса груза и разработка методики расчета пути и времени торможения, замедления тележки и амплитуды колебаний груза как в процессе торможения, так и после остановки тележки;
- разработка методики количественной оценки границ применения общепринятой методики расчета для использования в расчете тормозного режима крановой тележки с гибким подвесом груза;
- теоретическое и экспериментальное исследование повторных движений тележки под действием раскачивающегося груза и разработка методики определения путей и количества повторных движений;
- теоретическое и экспериментальное исследование процесса ступенчатого торможения тележки, позволяющего к моменту остановки тележки подавлять колебания груза на постоянном пути торможения, и разработка методики расчета тормозных моментов, времени их воздействия, замедлений и путей торможения.

Второй раздел диссертации посвящен исследованию процесса торможения крановой тележки с гибким подвесом груза.

На основе принятых и оцененных допущений крановая тележка с полиспастным подвесом груза на параллельных канатах представляется двухмассовой односвязной динамической моделью, которая описывается системой из двух дифференциальных уравнений. Преобразование системы уравнений позволило получить два известных независимых уравнения движения, описывающих абсолютное перемещение тележки

$$S^{IV} + \omega^2 \ddot{S} = Fg/m_1 l \quad (1)$$

и груза относительно вертикали, проходящей через точку его подвеса

$$\ddot{\chi} + \omega^2 \chi = -F/m_1. \quad (2)$$

В уравнениях (1) и (2) обозначено F - замедляющее усилие, равное сумме тормозного усилия, приведенного к ободу ходового колеса, и сопротивлению передвижению; l - длина подвеса груза; m_1 - масса вращающихся частей, приведенная к поступательному перемещению тележки и масса тележки; S - перемещение тележки с момента начала торможе-

ния; χ - отклонение груза относительно вертикали, проходящей через точку его подвеса; ω - частота колебаний груза, подсчитываемая по формуле

$$\omega = \sqrt{\left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right) \frac{g}{l}} \quad (3)$$

где: g - ускорение свободного падения; m_2 - масса груза и грузозахватного органа.

Для решения уравнений (1) и (2) сформулированы начальные условия, отражающие наиболее характерные в эксплуатации случаи торможения крановых тележек.

Полученные решения уравнений (1) и (2) показывают, что движение тележки и абсолютное движение груза складываются из равнозамедленного движения χ_A центра масс системы "тележка-груз"

$$\chi_A = V_0 t - \frac{F t^2}{2(m_1 + m_2)} \quad (4)$$

и колебательных движений масс m_1 и m_2 относительно центра масс. Амплитуды колебаний масс m_1 и m_2 пропорциональны их расстояниям от центра масс системы. В уравнении (4) обозначено: V_0 - скорость тележки к моменту начала торможения; t - текущее время.

Исследование уравнения движения груза (1) показало, что в процессе торможения груз совершает гармонические колебания относительно среднего отклонения

$$\chi_{cp} = F / (m_1 \omega^2). \quad (5)$$

Максимальное отклонение груза в процессе торможения равно удвоенному значению (5). Показано, что максимальный угол отклонения зависит от среднего расчетного замедления $a = F / m_1$ тележки и соотношения масс

$$\alpha_{max} = \arctg 2 \frac{a}{g} \cdot \frac{1}{1 + (m_2/m_1)} \quad (6)$$

Максимальное отклонение груза χ_{1max} после остановки тележки подсчитывается по выражению

$$\chi_{1max} = \frac{F}{m_1 \omega^2} \sqrt{(1 - \cos \omega t_r)^2 + [1 + (m_2/m_1)] \sin^2 \omega t_r} \quad (7)$$

где t_r - время торможения.

Время торможения t_r тележки определяется из уравнения

$$\omega t_r + (m_2/m_1) \sin \omega t_r = \omega V_0 (m_1 + m_2) / F. \quad (8)$$

Решению уравнения (8) в зависимости от соотношения масс удовлетворяют от одного до трех корней, причем реальному времени торможения t_r соответствует наименьший корень. На основе построения уравнения (8) разработана программа расчета времени тор-

можения на ЭВМ, одновременно позволяющая проводить расчеты пути торможения S_T , максимального отклонения груза $X_{1\max}$ при различных массах m_2 и длинах l подвеса груза.

Расчеты показали, что время торможения тележек с гибким подвесом груза в общем случае существенно отличается от времени торможения, подсчитанного из условия равнозамедленного движения. Так, например, увеличение времени торможения тележки грузоподъемностью 5 т при транспортировке груза массой $m_2 = 2,5$ т на длине подвеса $l = 10$ м оставляет 33 %.

Анализ процесса раскачивания груза после остановки тележки позволил предложить безразмерную зависимость для выбора времени торможения t_T тележки с целью получения заданной амплитуды остаточных колебаний груза

$$\frac{X_{1\max}}{X_0} = \sqrt{[1 + (m_2/m_1)] \frac{(1 - \cos \omega t_T)^2 + [1 + (m_2/m_1)] \sin^2 \omega t_T}{\omega t_T + (m_2/m_1) \sin^2 \omega t_T}}, \quad (9)$$

где $X_0 = V_0/\omega_1$ — отклонение груза при мгновенной остановке тележки; $\omega_1 = \sqrt{l/g}$ — частота свободных колебаний груза. Для удобства практического использования зависимость (9) представлена в графическом виде для различных соотношений масс m_2/m_1 . Путь торможения S_T тележки с учетом влияния гибкого подвеса груза в общем случае определяется решением уравнения (1)

$$S_T = V_0 t_T - \frac{F t_T^2}{2(m_1 + m_2)} - \frac{F l}{(m_1 + m_2)g} \frac{m_2}{(m_1 + m_2)} (1 - \cos \omega t_T). \quad (10)$$

Для установления границ правомерности применения формул, отражающих равнозамедленное движение тележки, проведен сравнительный анализ путей торможения тележек с гибким и жестким подвесом груза. На основе исследования соотношения пути торможения S_T тележки с гибким подвесом и пути торможения $S_{Tж}$ тележки с жестким подвесом груза

$$\frac{S_T}{S_{Tж}} = \frac{m_2}{m_1} \frac{\omega t_T \sin \omega t_T - 2(1 - \cos \omega t_T)}{\omega t_T [\omega t_T + (m_2/m_1) \sin \omega t_T]} \quad (11)$$

получены графические зависимости, наглядно иллюстрирующие границы применимости расчета пути торможения из условия равнозамедленного движения тележки в процессе торможения. Показано, что при соотношении масс $m_2/m_1 \leq 0,5$ относительное отклонение пути торможения тележки, вычисленное из условия ее равнозамедленного движения, от пути торможения, подсчитанного по (10); не превышает — 23 %. В остальных случаях расчет пути торможения тележек с гибким подвесом груза должен проводиться по уравнению (10).

Замедление тележки a при торможении в зависимости от соотношения масс m_2/m_1 может равняться нулю или даже изменять знак, т.е. тележка в отдельные периоды процесса торможения под действием раскачивающегося груза может двигаться как замедленно, так и ускоренно. В моменты времени, соответствующие отвесному положению груза под точкой подвеса, замедление тележки равно замедлению тележки без груза. Однако допускаемое замедление $[a]$, которое может быть реализовано при торможении тележки с грузом и отсутствии проскальзывания заторможенных ходовых колес по рельсам, рассчитывается по формуле

$$[a] = [a]_0 [1 + (m_2/m_1')], \quad (I2)$$

где $[a]_0$ — допускаемое замедление тележки без груза; m_1' — масса тележки.

Среднее расчетное замедление a тележки с грузом определяется по зависимости

$$a = \omega V_0 / [\omega t_r + (m_2/m_1) \sin \omega t_r]. \quad (I3)$$

Сравнение замедлений тележек с гибким и жестким подвесами груза, приведенное в графическом виде, позволило установить применимость расчета замедления тележки при соотношении масс $m_2/m_1 \leq 0,5$ и допущении ее равнозамедленного движения в процессе торможения с погрешностью, не превышающей 30 %. Во всех остальных случаях замедление тележки должно рассчитываться по (I3).

В третьем разделе на основе рассмотрения влияния гибкого подвеса груза на заторможенную тележку сформулирована задача о повторных движениях тележки под действием раскачивающегося груза. При рассмотрении задачи принято, что в момент начала движения тележки из состояния покоя сила сопротивления мгновенно изменяет свое значение. Соотношение между силами сопротивления покоя F_0 и движения F принимается равным

$$\xi = F_0/F = 1,1. \quad (I4)$$

Значение ξ было получено в результате статистической обработки замеров, проведенных на тележке крана грузоподъемностью 2т. Ходовые колеса тележки установлены на подшипниках качения, а фрикционные накладки тормоза изготовлены из материала 6Л3Ю.

Решение задачи о повторных движениях тележки под воздействием раскачивающегося груза проводится последовательным рассмотрением двух этапов:

- неподвижного состояния тележки после ее остансовки в течение периода времени, когда горизонтальная составляющая усилия в канатах достигает значения силы сопротивления покоя F_0 ;

- повторного движения тележки в течение периода времени, когда замедляющее усилие, действующее на тележку, принимается равным силе сопротивления движению F .

Численное решение задачи ведется по первому и второму этапам до тех пор, пока максимальная горизонтальная составляющая усилия в канатах, вычисленного по результатам решения этапа повторного движения, не будет равна или меньше силы сопротивления покоя F_0 . Поскольку горизонтальная составляющая усилия в канатах пропорциональна отклонению груза относительно вертикали, проходящей через точку подвеса, то решение задачи ведется в отклонениях груза.

На первом этапе определяется время t_0 , за которое отклонение груза $x(t_0)$ становится равным отклонению груза x_{cd} , соответствующему началу сдвиги тележки из состояния покоя. Время t_0 определяется методом подбора для удовлетворения равенства

$$x_{\max} \sin(\omega_1 t_0 + \delta) = \frac{\varepsilon V_0 \omega l (m_1 + m_2)}{[\omega t_r + (m_2/m_1) \sin \omega t_r] m_2 g}, \quad (I5)$$

где $x_{\max}$ - амплитуда свободных колебаний груза; δ - начальная фаза колебаний

$$x_{\max} = \sqrt{[x(0)]^2 + [\dot{x}(0)/\omega_1]^2}, \quad t_g \delta = \omega_1 x(0)/\dot{x}(0). \quad (I6)$$

В выражениях (I6) обозначено: $x(0)$, $\dot{x}(0)$ - соответственно отклонение и скорость груза в конце процесса торможения тележки.

На втором этапе определяются кинематические параметры движения тележки и груза. Для этого рассмотрены решения уравнений движения тележки (I) и груза (2) при воздействии замедляющего усилия F . Время повторного движения t_{cd} тележки определяется из равенства нулю скорости движения тележки

$$\dot{x}_{cd} \frac{m_2}{m_1 + m_2} (1 - \cos \omega t_{cd}) + \frac{m_2}{m_1 + m_2} \omega (x_{cd} - \frac{F}{m_1 \omega^2}) \sin \omega t_{cd} - \frac{F}{m_1 + m_2} t_{cd} = 0, \quad (I7)$$

где $\dot{x}_{cd}$ - скорость груза к моменту начала сдвиги тележки.

Путь сдвиги s_{cd} тележки за время t_{cd} повторного движения определяется по формуле

$$s_{cd} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} (x_{cd} - \frac{F}{m_1 \omega^2}) (1 - \cos \omega t_{cd}) + \dot{x}_{cd} \frac{m_2}{m_1 + m_2} (t_{cd} - \frac{\sin \omega t_{cd}}{\omega}) - \frac{F t_{cd}^2}{2(m_1 + m_2)}. \quad (I8)$$

Дополнительные повторные движения тележки будут отсутствовать, если

$$x_{1\max} = \sqrt{x_1^2 + (\dot{x}_1/\omega)^2} \leq x_{\text{сд}}, \quad (19)$$

где $x_1, \dot{x}_1$ — соответственно отклонение и скорость груза в конце повторного движения тележки.

Анализ приведенного алгоритма решения на ЭВМ показал, что при соотношении масс $m_2/m_1 = 1,22 \dots 3,0$ и $\xi = 1,1$ крановая тележка совершает только одно повторное движение на пути сдвижки, определяемом по (18).

Экспериментальная проверка теоретического решения проводилась на стенде, оснащенном измерительной аппаратурой. Объектом испытаний являлась модель тележки, параметры которой вычислялись на основе теории подобия. Сравнение расчетных и экспериментально полученных данных показало достаточную точность разработанной методики расчета отклонения груза, пути и времени сдвижки при повторном движении модели тележки. Установлено, что повторное движение тележки оказывает демпфирующее влияние на амплитуду раскачивания груза.

Четвертый раздел посвящен исследованию процесса гашения колебаний груза при ступенчатом торможении крановой тележки.

Процесс торможения крановой тележки с гибким подвесом груза подразделяется на три этапа: I — торможение тележки замедляющим усилием $F_1/2$ продолжительностью t_1 ; II — торможение тележки замедляющим усилием F_1 продолжительностью t_2 ; III — торможение тележки до полной остановки замедляющим усилием $F_1/2$ продолжительностью t_3 .

Предварительный анализ уравнения движения груза (2) на АВМ показал, что продолжительности первого и третьего этапов торможения равны полупериоду колебаний груза и составляют $t_1 = t_3 = T/2 = \pi/\omega$. Последовательное решение уравнения (2) с учетом изменения замедляющего усилия на каждом этапе торможения позволило установить, что в конце первого этапа торможения отклонение груза достигает максимального значения, на втором этапе торможения сохраняется постоянным, а в конце третьего этапа торможения в момент остановки тележки груз возвращается в положение статического равновесия.

При различных комбинациях масс и длин подвеса груза предложено время торможения t_1 тележки принять постоянным и равным периоду колебаний $T_{\max}$ незагруженного грузозахватного органа на

максимальной длине подвеса, определяемой условиями эксплуатации крановой тележки. В последнем случае торможение тележки производится только постоянным замедляющим усилием F продолжительностью $t_T = T_{\max}$.

Определение замедляющих усилий F и F_1 соответственно в случаях торможения тележки постоянным тормозным моментом и ступенчато изменяющимся тормозным моментом проводится на основе рассмотрения изменения кинетической энергии системы "тележка-груз". При торможении тележки постоянным тормозным моментом замедляющее усилие F и среднее расчетное замедление a_{cp} тележки рассчитываются по формулам

$$F = V_0(m_1 + m_2 \min) / T_{\max}, \quad (20)$$

$$a_{cp} = V_0 / T_{\max} = F / (m_1 + m_2 \min). \quad (21)$$

В случае ступенчатого торможения получены следующие выражения для подсчета замедляющих усилий F_1 и замедлений $a_{cp1,3}$ тележки на первом и третьем этапах торможения

$$F_1 / 2 = (m_1 + m_2) V_0 / (2 T_{\max} - T), \quad (22)$$

$$a_{cp1,3} = [V_0 / T_{\max}] [1 / (2 T_{\max} - T)] = a_{cp} \cdot K, \quad (23)$$

где: K — безразмерный коэффициент. Отметим, что замедляющее усилие F_1 и замедление a_{cp2} на втором этапе торможения равны удвоенному значению, подсчитанному соответственно по (22) и (23).

При использовании предложенного способа ступенчатого торможения тележки одновременно осуществляется стабилизация путей торможения тележки. При всех возможных в эксплуатации сочетаниях масс и длин подвеса груза путь торможения S_T тележки одинаков и составляет

$$S_T = V_0 / T_{\max}. \quad (24)$$

Точность остановки груза над местом посадки определяется лишь колебаниями усредненных значений максимального и минимального тормозного момента и не зависит от скорости передвижения тележки, массы и длины подвеса груза.

В этом разделе приведены результаты экспериментального исследования процесса ступенчатого торможения крановой тележки КТТ-20Г грузоподъемностью 2 т, установленной на мостовом кране в лаборатории кафедры ПТМ МВТУ им. Н.Э.Баумана.

Экспериментальное исследование проводилось с целью: показать возможность практической реализации ступенчатого торможения для

гашения колебаний груза и стабилизации путей торможения на крановой тележке; подтвердить правомерность выводов и расчетных зависимостей, разработанных применительно к способу ступенчатого торможения. Для реализации рассмотренного способа торможения были разработаны и изготовлены датчики угла отклонения груза, пути торможения тележки, двойной двухколодный тормоз и релейный блок управления тормозом, а также динамометрическое устройство измерения затормаживающего момента.

Исследование проводилось для следующих случаев торможения тележки при воздействии:

- постоянного тормозного момента и перемещении незагруженной крюковой подвески массой $m_{2\min} = 40$ кг на длине подвеса $l = 5$ м;

- ступенчатого тормозного момента и перемещения крюковой подвески массой $m_{2\min} = 40$ кг на длине подвеса $l_{\min} = 2,5$ м, груза и крюковой подвески массой $m_{2\max} = 2040$ кг на длине подвеса $l_{\min} = 2,5$ м.

В результате исследований установлено, что применение способа ступенчатого торможения крановой тележки позволяет проводить гашение колебаний груза при одновременной стабилизации путей торможения. Сравнение расчетных и экспериментально полученных данных подтвердило достаточную точность методики теоретического расчета параметров, характеризующих процесс ступенчатого торможения.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. На основании анализа существующих методов расчета тормозных режимов крановых механизмов передвижения, норм и рекомендаций по выбору расчетных замедлений показано, что в настоящее время расчет процессов торможения крановых тележек проводится без учета гибкого подвеса груза, а ограничение амплитуды раскачивания груза $X_{\max}$ как в процессе торможения, так и после остановки тележки, осуществляется путем реализации нормативных замедлений, обусловленных технологическими требованиями для различных видов погрузочно-разгрузочных операций. Ограничение амплитуды остаточных колебаний груза без учета влияния гибкого подвеса в процессе торможения в общем случае не является обоснованным.

2. Проведен анализ и оценка приемлемости существующих методов и способов гашения колебаний груза с учетом специфики тормозных режимов тележек мостовых кранов общего назначения, на основе

которых впервые предложен достаточно простой в практической реализации способ ступенчатого торможения.

3. В общем случае движение крановой тележки с гибким подвесом груза не является равнозамедленным. Показано, что расчеты пути торможения s_T , замедления a и времени торможения t_T должны проводиться с учетом гибкого подвеса груза.

4. Установлено, что максимальный угол отклонения груза $\alpha_{\max}$ в процессе торможения при времени торможения $t_T \geq nT/2$, где $n = 1, 3, 5, \dots$, зависит от соотношения масс m_2/m_1 . При одинаковых замедлениях a максимальный угол отклонения $\alpha_{\max}$ тем больше, чем меньше соотношение m_2/m_1 .

5. Разработана методика выбора времени торможения t_T с целью ограничения амплитуды $X_{1\max}$ колебаний груза после остановки тележки. Показано, что полное гашение колебаний груза достигается при условии равенства или кратности времени торможения периоду колебаний груза.

6. Расчеты пути торможения s_T крановой тележки при соотношении масс $m_2/m_1 \leq 0,5$ могут проводиться по формуле пути равнозамедленного движения с погрешностью, не превышающей -23 %. В остальных случаях расчет пути торможения тележки должен проводиться по предложенной формуле.

7. Показано, что в процессе торможения крановых тележек с гибким подвесом груза в моменты времени, соответствующие отвесному положению груза, запас сцепления заторможенных ходовых колес с рельсами увеличивается пропорционально соотношению m_2/m'_1 , поэтому допускаемое по условию сцепления замедление $[a]$ в процессе торможения тележки может приниматься большим, чем при торможении тележки без груза.

8. Разработана методика определения и программа вычислений на ЭВМ времени торможения крановой тележки с учетом влияния гибкого подвеса груза. Показано, что решению уравнения (8) для определения времени торможения t_T в зависимости от соотношения масс m_2/m_1 удовлетворяют от одного до трех корней, из которых только наименьший корень соответствует реальному времени торможения.

9. Разработана методика расчета пути сдвигки и времени повторного движения крановой тележки под действием раскачивающегося груза. Установлено, что в зоне повторных движений тележки при соотношении сопротивлений покоя и движения $\zeta = 1,1$ тележка под

действием раскачивающегося груза совершает только одно повторное движение. Повторное движение тележки оказывает демпфирующее воздействие на колебание груза и может в соответствующих случаях рассматриваться как способ уменьшения раскачивания груза.

10. Создан стенд, измерительная аппаратура и разработана методика исследования повторных движений крановой тележки на модели, параметры которой вычислены с использованием метода динамического подобия. Сопоставление теоретических и экспериментальных данных модельных испытаний показало удовлетворительную точность (максимальная погрешность не превышает 5 %) теоретического расчета пути сдвиги и времени повторного движения, а также отклонения груза в процессе повторного движения тележки.

11. На основе энергетического метода разработана методика определения величин замедляющих усилий (тормозных моментов), замедлений и пути торможения крановой тележки для предложенного способа ступенчатого торможения.

12. Разработаны методика испытаний, спроектирован и изготовлен комплекс аппаратуры, обеспечивающий экспериментальную проверку практической реализации способа ступенчатого торможения на тележке крана КТГ-201 грузоподъемностью 2 т.

13. Сопоставление экспериментально полученных и теоретически рассчитанных данных показало достаточную точность (максимальная погрешность не превышает 12 %) разработанной методики расчета замедляющих усилий, путей торможения, скоростей и замедлений тележки, угла отклонения груза, а также подтвердило возможность практической реализации способа ступенчатого торможения для гашения колебаний груза.

14. Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов работы составляет 2100 руб./год на один кран. Социальный эффект определяется уменьшением интенсивности работы машиниста крана при обслуживании погрузочно-разгрузочных операций с применением способа торможения.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Рунов М.М. Разработайте систему гашения колебаний груза на гибком подвесе. - Изобретатель и рационализатор, 1970, № 10, с.33.

2. Рунов М.М. Гашение колебаний груза при торможении крановой тележки с гибким подвесом груза. - Изв. вузов. Машиностроение,

№ 12, 1970, с. 121-125.

3. Рунов М.М. Энергетический метод определения величины замедляющего усилия при торможении крановой тележки с гибким подвесом груза. - Изв.вузов.Машиностроение, 1971, № 2, с.123-129.

4. Рунов М.М. Определение пути торможения крановой тележки с гибким подвесом груза при ступенчатом изменении тормозного момента. - Подъемно-транспортные и горные машины. - Тула, 1972, вып. I, с. 81-83.

5. Рунов М.М. Датчик угла отклонения груза. - Подъемно-транспортные машины. - Тула, 1974, вып. 3, с.158-162.

6. Полковников В.С., Рунов М.М. Экспериментальное исследование гашения колебаний груза при ступенчатом торможении крановой тележки. - Труды/МВТУ им.Н.Э.Баумана, 1976, № 230, с.27-37.

7. А.С.531785 (СССР). Грузовая тележка консольного типа /М.М.Рунов, - Оpubл. в Бюллетене изобретений и товарных знаков, 1976, № 38.

8. Рунов М.М. Точность остановки груза при ступенчатом торможении крановой тележки. - Труды/МВТУ им.Н.Э.Баумана, 1977, № 255, с.25-30.

9. Рунов М.М. Повторные движения крановой тележки с гибким подвесом груза. - Вестник машиностроения, 1978, № 6, с.11-15.

10. Рунов М.М. Особенности расчета процесса торможения крановых тележек с гибким подвесом груза. - Научно-технический прогресс в машиностроении и приборостроении: Тез.докл.на Всесоюзной конференции. - М., 1980, с.32-33.

11. Рунов М.М. Совершенствование методики расчета тормозных режимов крановых тележек с гибким подвесом груза. - Новое в подъемно-транспортной технике: Тез.докл.на Всесоюз.научн.конф. - М., 1985, с.55-56.

М.М. Рунов

Заказ 14607

Объем 1 п.л.

Тираж 100 экз.

Л-97803 от 11/ХП-85 г. Типография МВТУ.

