

(1989), p. 173-182.

13. **Аксенова О.А.** Фрактальное моделирование шероховатой поверхности при аэродинамическом расчете в разреженном газе // *Аэродинамика*. – СПб: С.-Петербург. университет, 2000. – С. 120-129.

14. **Сутягин О.В., Болотов А.Н., Рачишкин А.А.** Компьютерное моделирование контактного взаимодействия шероховатых поверхностей // *Трение и износ*. – 2015. – Т. 36. – № 5. – С. 536-545.

15. **Левыкин Д.А.** Математическая

модель электрического контакта шероховатых поверхностей // Программные продукты и системы. – 2011. – № 4. – С. 178-180.

16. **Пашовкин С.А.** Модель контакта шероховатых поверхностей с учетом маслостойкости в зоне контакта // *Известия вузов. Машиностроение*. – 2008. – №12. – С. 67-72.

17. **Bhushan B., Peng W.** Contact mechanics of multilayered rough surfaces. *Appl. Mech. Rev.* 2002, vol. 55, no. 5, p. 435-480.

18. **Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С.** Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.

19. **Демкин Н.Б., Рыжов Э.В.** Качество поверхности и контакт деталей машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.

А.М. Ромашко.

E-mail: romash.am@mail.ru

С.Т. До.

E-mail: Xuanthanhb2012@gmail.com



СТЕНДОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С РЕЛЬСАМИ КРАНОВЫХ КОЛЕС С ДЕМПФИРОВАНИЕМ СЪЕМНЫХ РЕБОРД

Борис Николаевич АБРАМОВ, канд. техн. наук, доцент

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Предложена конструкция кранового колеса со съемными составными ребордами и промежуточным демпфирующим элементом (амортизатором). Проведены сравнительные стендовые исследования взаимодействия с кольцевым рельсом ходовых колес с амортизатором и без него. Определены показатели демпфирования бокового усилия в зависимости от величины перекоса, радиальной (нормальной) нагрузки и наличия смазки.

Ключевые слова: крановые колеса, реборда, износ, смазка, стенд.

При работе механизма передвижения мостовых кранов на их несущие конструкции и подкрановый путь действуют как вертикальные, так и горизонтальные нагрузки высокой интенсивности. Практический интерес представляют максимальные значения горизонтальных нагрузок, вызванные неблагоприятными условиями взаимодействия контактной пары колесо-рельс и приводящие к интенсивному износу реборд и боковых поверхностей головки рельса. По этой причине до 90-95% крановых колес и 80-90% рельсов выходят из строя.

С целью разработки методов и средств снижения динамических нагрузок и давлений в пятне контакта реборд

крановых колес и рельсов, а также конструктивного совершенствования колес произведены экспериментальные исследования на специально разработанном стенде, особенностью которых является имитация эксплуатационных условий испытываемого узла при работе его в составе силовой цепи стенда. От качества имитации в решающей степени зависят результаты испытаний. При этом они позволяют осуществлять более качественный контроль работы узла за счет применения стационарных регистрирующих приборов и доступности к точкам контроля.

Среди известных способов повышения долговечности ходовых колес и рельсов за счет уменьшения интенсив-

ности изнашивания реборд и боковых поверхностей головки рельсов [1, 2, 3] важными и часто наиболее эффективными являются смазывание и снижение динамики взаимодействия реборд и подкрановых рельсов при движении крана с перекосом. Подбор смазочного материала и подача его в зону контакта реборды и рельса достаточно сложны из-за специфики эксплуатации кранового оборудования и трудности проведения экспериментов [4]. Кроме того, жидкие сорта смазочных средств не оказывают желаемого эффекта, так как в результате разогрева при трении стекают с боковой поверхности головки рельса, выдавливаются из зоны трения, создавая в местах контакта недостаток смазки. Силовое взаимодействие колес с рельсами при движении крана с перекосом в момент касания реборды рельса носит характер ударного с последующим развитием высокочастотных фрикционных автоколебаний, особенно в режиме сухого трения [5]. Это увеличивает скорость износа контактирующей пары реборда-рельс.

Снизить динамику ударного взаимодействия может амортизация, эффективность которой зависит от

упругих и демпфирующих свойств материала, используемого в качестве амортизатора. Перспективным является применение для этой цели упруго-пористого материала металлорезина (МР) – металлического аналога резины [6], представляющего собой однородную капиллярно-пористую массу, полученную холодным прессованием определенной способностью уложенной дозированной по весу спирали из металлической проволоки различных марок. Он обладает высокими упругими свойствами, которые можно изменять в широком диапазоне, отличается повышенным демпфированием, нечувствительностью к высоким и низким температурам и агрессивным средам, широко используется для целей демпфирования и амортизации [7-9].

Распространение получили в основном две модификации МР: с хаотической укладкой спирали, разработанные А.М. Соифером и В.Н. Бузицким в Куйбышевском авиационном институте [10], с ориентированной укладкой спирали по винтовой линии [11]. Последняя модификация для целей демпфирования и амортизации более эффективна – она обеспечивает повышенную стабильность параметров, возможность автоматизации процесса изготовления и достаточно точный расчет упруго-демпфирующих характеристик [12]. Для улучшения рабочих характеристик деталей из МР обеих модификаций используются ряд технологических операций: термообработка [13], пропитка полимерными составами [14] и т.д.

Капиллярно-пористая структура позволяет использовать материал МР в качестве фильтрующих элементов [15] и как аккумулятор (резервуар) для смазки. В ходовом колесе это позволяет совместно решить две отмеченные выше задачи – обеспечить амортизацию реборд и их смазывание в наиболее важные периоды взаимодействия реборды с рельсом, не вызывая при этом негативных последствий прямой подачи жидкой смазки. За основу пред-

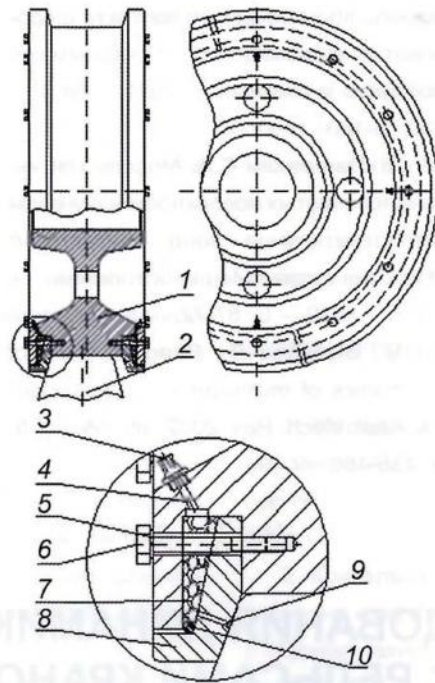


Рис. 1. Крановое колесо с внутренним демпфированием съёмных реборд

лагаемой конструкции (рис. 1) принято известное техническое решение кранового колеса со съёмными ребордами [16], применение которых возможно, как при изготовлении новых составных, так и при ремонте обычных крановых колес, находящихся в эксплуатации.

Предлагаемая конструкция состоит из собственного обода колеса 1, в котором выполнены кольцевые канавки (с двух сторон обода). В канавках установлены съёмные реборды 8 и демпфирующие прокладки 7 из материала МР, выполненные в виде полуколец, и закрепленные в ободке винтами 6 с пружинными шайбами 5. Перед установкой демпфирующие прокладки пропитываются смазкой. Для пополнения смазки в процессе эксплуатации предусмотрены пресс-масленки 3. Для подачи смазки в зону контакта реборды 8 с боковой поверхностью головки рельса 2 предусмотрены отверстия 9 (расположенные по окружности с определенным шагом). Количество этих отверстий может варьироваться (например, в зависимости от типоразмера колесной установки) и располагаться по нескольким концентрическим окружностям со сдвигом

(в шахматном порядке) для более равномерного распределения смазки по контактной поверхности.

При движении крана, реборда 8 колеса вступает в контакт с боковой поверхностью головки рельса 2, при этом под действием поперечной (боковой) силы реборда отходит в сторону, сжимая демпфирующую прокладку 7. В результате обеспечивается снижение динамических нагрузок, действующих на ходовую часть крана и их демпфирование. При этом происходит вытеснение смазочного материала из демпфирующей прокладки 7. Выделенная смазка, проходя через канал 4 в реборде, попадает на трущуюся поверхность реборды в зону ее соприкосновения с головкой рельса, обеспечивая уменьшение сил трения и износа трущейся пары. Для исключения попадания смазки на подкрановые балки и их загрязнения предусмотрено уплотнительное кольцо (резиновая манжета) 10.

Основная задача стендовых исследований заключалась в испытаниях ходовых колес с внутренней амортизацией съёмных реборд. Для изучения в лабораторных условиях поведения их в работе разработан и изготовлен универсальный стенд (рис. 2). Принцип действия стенда основывается на передаче движения от приводного электродвигателя ведущему колесу 1 (традиционной конструкции), которое через бесконечный кольцевой рельс 4 приводит в движение испытуемое колесо 5 (с внутренним демпфированием реборды). Ступица кольцевого рельса свободно вращается на оси, концы которой закреплены на П-образной раме нажимного устройства. Концы рычагов нажимного устройства шарнирно связаны с двумя вертикальными стойками 2 опорной рамы стенда. На поперечине П-образной рамы с противоположной стороны закреплена подвеска с наборными грузами 6, позволяющие регулировать величину нажимного усилия R . Грузовое нажимное устройство является в данном слу-

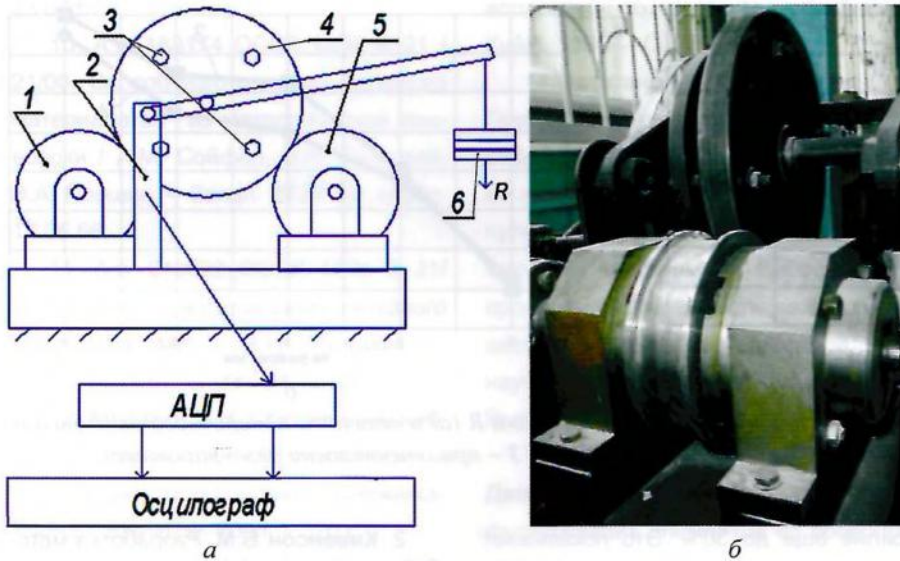


Рис. 2. Схема (а) и вид (б) стенда для исследования взаимодействия крановых колес и рельса

чае массоимитатором. В отличие от винтовых и пружинно-винтовых нажимных устройств, использованных в известных стендах подобного назначения [16, 17, 18], грузовое натяжное устройство создает силовое возмущение, определяемое влиянием приведенных масс системы и усилием привода. Винтовое нажимное устройство обуславливает кинематический способ возмущения, исключая влияние обратной связи с отмеченными факторами.

Другой особенностью стенда является шарнирное соединение дискового рельса с несущей осью посредством шарообразного подшипника. На этой же оси на некотором расстоянии от диска, имитирующего бесконечный рельс, жестко посредством шпонки установлен второй (базовый) диск (см. рис. 2, б, на схеме рис. 2, а он не показан). Оба дисковых элемента связаны между собой посредством четырех шпилек 3, расположенных по окружности. При ослаблении их зажимных гаек создается возможность свободно отклонять дисковый рельс относительно вертикального положения базового диска. Таким образом, задавая при помощи регули-

ровочных шпилек 3 необходимые зазоры между ребордами двух испытываемых колес и боковой поверхностью дискового рельса можно одновременно проводить сравнительные испытания силового взаимодействия с рельсом двух колес разной конструкции (с жесткой ребордой и ребордой с внутренним демпфированием) при различных значениях угла перекоса рельса.

При испытаниях непрерывно фиксировалось установленное отклонение рельса (угол перекоса) с помощью датчика перемещений тензометрического типа. Боковое усилие, возникающее при вращении колес и взаимодействии их реборд с рельсом, измерялось тензометрическим методом, при этом рабочий и компенсационный тензометрические датчики размещались на

вертикальной опорной стойке 2, воспринимающей осевую нагрузку при наезде реборды на рельс и имитирующей опорную часть концевой балки крана. Полученная информация обрабатывалась аналого-цифровым преобразователем АЦП и устройством вывода данных – осциллографом. Пример полученных осциллограмм приведен на рис. 3. Важно отметить характер изменения бокового усилия (нижняя осциллограмма). За один оборот кольцевого рельса при некотором поперечном его отклонении его выступающая часть последовательно входит в контакт с ребордами сначала опытного, а затем – стандартного колеса. Амплитуда бокового усилия в этот момент существенно больше.

Для решения поставленной задачи программа испытаний включала три этапа: исследование зависимости бокового усилия от величины перекоса и радиальной нагрузки, определение влияния демпфирования реборды на боковое усилие при различной величине перекоса, оценка влияния смазки на усилие перекоса. Число использованных в опытах различных режимов движения планировалось с таким расчетом, чтобы обнаруживаемые закономерности отражались графически не менее чем тремя-пятью экспериментальными точками. С учетом возможного разброса результатов эксперимента каждый опыт повторяли не менее трех раз. Последующая обработка

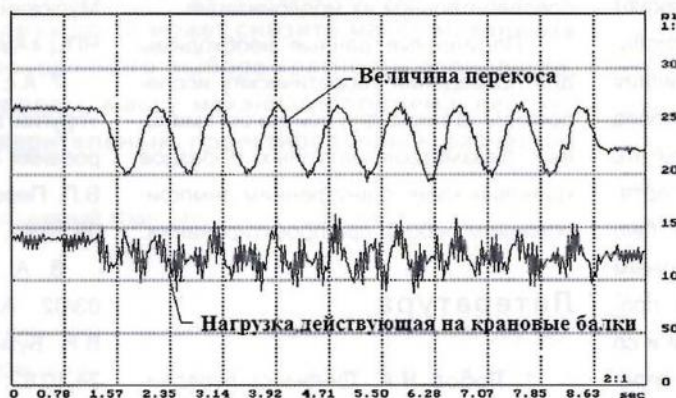


Рис. 3. Осциллограмма перекоса и боковой нагрузки, обусловленной взаимодействием реборд колес с имитатором рельса

заклучалась в осреднении результатов и представлении исследуемых зависимостей по средним результатам.

На рис. 4 показаны результаты обработки опытов. Представлены зависимости относительного бокового усилия от радиальной нагрузки R и перекоса. Видно, что первая из них (рис. 4, а) носит линейный характер. Эта тенденция сохраняется при изменении перекоса, что подтверждается дву-

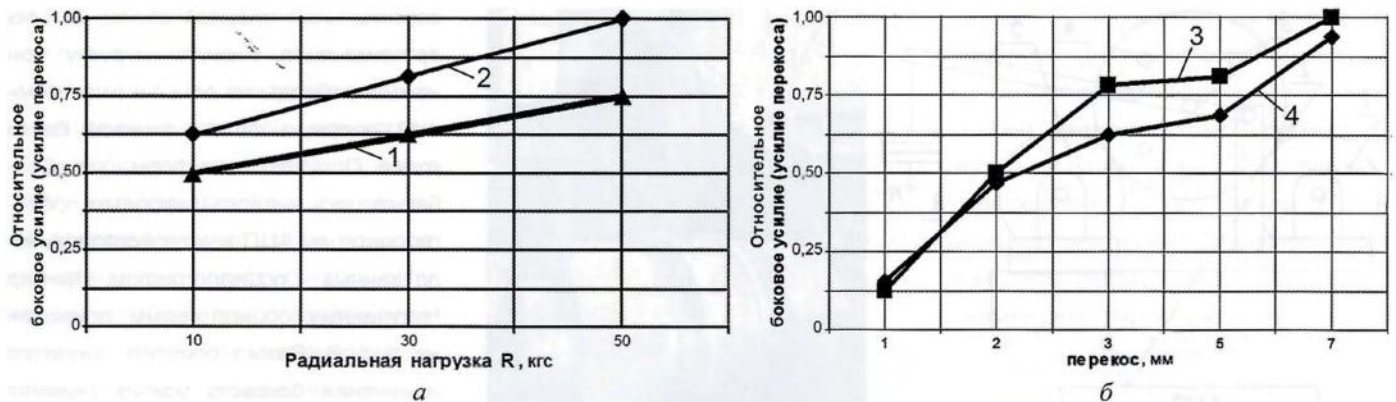


Рис. 4. Зависимость относительного бокового усилия от радиальной нагрузки R (а) и величины поперечного отклонения (перекоса) дискового рельса (б): 1 – перекос 2 мм; 2 – перекос 7 мм; 3 – при отсутствии демпфирования; 4 – с демпфированием

мя сериями экспериментов с различной его величиной 2 и 7 мм. С возрастанием величины перекоса боковое усилие растет интенсивнее.

Показанные на рис. 4, б зависимости свидетельствуют, что демпфирование реборды дает существенное снижение величины бокового усилия в пределах 25%. Однако этот положительный эффект проявляется по-разному: при малых отклонениях рельса демпфирование почти не сказывается, а с увеличением перекоса свыше 5 мм эффективность его постепенно снижается. Полученные результаты хорошо согласуются с данными, полученными в работе [19], в которой приводится достаточно подробное исследование боковых поперечных сил взаимодействия ходовой части четырехколесного мостового крана, снабженного подпружиненными горизонтальными направляющими роликами.

Приведенные материалы отражают результаты исследований без использования смазки. При оценке влияния смазки на усилие перекоса (боковое усилие) не ставилась цель испытать какие-либо специальные ее сорта: демпфирующий элемент из МР был обработан (пропитан) стандартным индустриальным маслом. После проведения серии опытов без смазки и со смазкой при различной величине перекоса кольцевого рельса было установлено, что наличие смазки позволяет дополнительно уменьшить боковое

усилие еще до 30%. Это показывает двойную эффективность предлагаемого способа повышения долговечности крановых колес.

Заключение. Результаты проведенных экспериментальных исследований позволили оценить работоспособность предложенной конструкции крановых колес с внутренним демпфированием реборд с помощью элементов из упруго демпфируемого материала МР. Они подтверждают, что такой демпфирующий элемент в значительной степени гасит боковые нагрузки, возникающие при наезде реборды колеса на рельс.

Данную систему демпфирования с одновременной подачей смазки в зону контакта фрикционной пары реборда-рельс можно эффективно применять как для четырехколесных, так и для многоопорных конструкций ходовых частей мостовых кранов без какой-либо предварительной их модернизации.

Полученные данные необходимы для проведения теоретических исследований, а также для поиска оптимальных параметров натуральных образцов крановых колес с внутренним демпфированием реборд при проектировании.

Литература

1. Лобов Н.А. Динамика передвижения кранов по рельсовому пути: Учебное пособие. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 232 с.

2. Кивенсон Б.М. Разработка методов и средств снижения нагрузок на реборды крановых колес : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, 1990. – 6 с.

3. Спицына Д.Н., Юрин А.Н. Пути увеличения долговечности ходовых колес мостовых кранов // Подъемно-транспортное дело. – 2016. – № 1-2. – С. 2-7.

4. Анисеева Ф.Л. Повышение износостойкости крановых колес и подкрановых рельсов при применении твердой смазки // Тр. ВНИИПТМАШ. – 1970. – 6 (101). – С. 79-85.

5. Казак С.А. Основы проектирования и расчета крановых механизмов. – Красноярск: Краснояр. ун-т, 1987. – 184 с.

6. Конструирование рабочих органов машин и оборудования из упругополимерного материала МР : учеб.-справ. пособие. Ч. II / Д.Е. Чегодаев, О.П. Мулюкин, Е.В. Колтыгин. – Самара: НПЦ «Авиатор», 1994. – 100 с.

7. А.с.136608 СССР, МПК F16 f 16/ 10. Упругий элемент для систем демпфирования / А.М. Сойфер, В.Н. Бузицкий, В.П. Першин. – Заявл. 27.07.60; опубл. 09.10.61.

8. А. с.191280 СССР, МПК F 16 f 03/02. Амортизатор / А.М. Сойфер, В.Н. Бузицкий, В.П. Першин. – Заявл. 24.10.62; опубл.14.01.67.

9. А.с. 196490 СССР, МПК F 16 f 03/02. Амортизатор / Э.Н. Кузьмин, О.П. Романов. – Заявл. 15.09.65. Опубл.



23.07.67.

10. А.с. 183174 СССР, МПК В 21 f 21/00. Способ изготовления нетканого материала МР из металлической проволоки / А.М. Соيفер, В.Н. Бузицкий, В.А. Першин. – Заявл. 27.07.60; опубл. 17.06.66.

11. А.с. 248622 СССР, МПК В 21f 21/00. Способ изготовления нетканого материала МР / Э.Н. Кузьмин. – Заявл. 14.11.67; опубл. 24.12.69.

12. Кузьмин Э.Н. Обеспечение виброударостойкости оборудования и аппаратуры : монография. – Снежинск: РФЯЦ – ВНИИТФ, 2003. – 320 с.

13. Борисов В.А., Паровой Ф.В. Исследование термической деформации упругих элементов из материалов МР // Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных

аппаратов : сб. научн. тр. – Куйбышев: КуАИ, 1965. – С. 259-266.

14. Атаманов А.А., Никонова О.М. Повышение диссипативных свойств виброизолирующих устройств с упругими элементами из металлорезины (МР) путем пропитки их липко-вязким полимерным составом // Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов : сб. научн. тр. – Куйбышев: КуАИ, 1966. – Вып. 3. – С. 3-7.

15. Жижкин А.М., Лазуткин Г.В., Давыдов Д.П., Волкова Т.В. Расчет фильтрующих элементов из проволочного материала МР // Вестник машиностроения. – 2016. – №3. – С. 44-48.

16. А.с. 633789 СССР, МПК В 66с 9/08. Крановое колесо / Б.Н. Кивенсон. – Заявл. 27.06.77; опубл. 28.11.78.

17. А.с. 779847 СССР, МПК G 01 М 17/00. Стенд для исследования взаимодействия колеса и рельса / В.А. Ромащенко. – Заявл. 96. 12. 78; опубл. 15.11.80.

18. А.с. 473080 СССР, МПК G 01 М17/ 00. Стенд для исследования взаимодействия колеса и рельса / А.А. Камаев, А.Н. Николаев, И.И. Межуем и др. – Заявл. 24. 04. 73; опубл. 05.06.75.

19. Голошейкин В.А. Исследование боковых поперечных сил в ходовой части четырехколесного мостового крана с горизонтальными направляющими роликами : дис. канд. техн. наук. – Свердловск, 1981. – 318 с.

Б.Н. Абрамов.

E-mail: boris.abramov@outlook.com



УДК 621.873

ПАРАМЕТРЫ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА ЭЛЕКТРОТАЛИ БОЛЬШОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ

Игорь Вадимович ЛЕСКОВЕЦ, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой,

Вадим Иванович СЕМЧЕН, старший преподаватель,

Анатолий Евгеньевич НАУМЕНКО, канд. техн. наук, доцент

Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования

Белорусско-российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь

Одним из направлений развития современного краностроения является снижение массы механизма подъема. Проанализировано влияние кратности полиспаста на эту массу, как сумму масс блоков, каната и барабана. Расчетным путем установлено, что изменение кратности полиспаста от двух до 10 может снизить массу механизма подъема до 20%. Для обоснованного выбора кратности полиспаста, позволяющего минимизировать массу механизма подъема, необходимо производить предварительный проектировочный расчет по разработанной методике.

Ключевые слова: грузоподъемный кран, механизм подъема, кратность полиспаста.

Одной из тенденций современного краностроения является производство средних и тяжелых кранов мостового типа с электроталью в качестве механизма подъема, что позволяет произ-

водителю сократить номенклатуру грузоподъемных механизмов и снизить стоимость производства. Важным является установление параметров, позволяющих снизить массу металло-

конструкции электротали [1]. Согласно исследованиям авторов, для электроталей с грузоподъемностью до 5 т и высотой подъема груза до 20 м оптимальной является кратность полиспаста равная двум при использовании механизма подъема с одноканатной навивкой. При большей грузоподъемности рекомендуется использовать механизмы с двухканатной навивкой. Распространенная методика расчета параметров механизма подъема [2] позволяет выбрать параметры каната, блоков, барабана, редуктора и двигателя, но не определяет такие, при которых механизм будет обладать наименьшей массой. Авторами установлено, что масса двигателя и редуктора механизма подъема зависит от мощности, затрачиваемой на подъем и опускание груза т.е. от массы груза и скорости подъема. Перспективным является исследование возможности уменьшения массы блоков, канатов и бара-