

**ПРОЦЕССЫ ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ В ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ  
МАШИНАХ****Лубенец С. В.**

Представлены результаты анализа силового взаимодействия кранов с эстакадами. Рассмотрены: физическая сущность процессов формирования боковых горизонтальных сил в контакте колесо-рельс при качении колеса крана по подкрановым рельсам; влияние смазки в контакте на силу сцепления колеса с рельсом; причины периодичности изменения горизонтальных боковых сил; процесс передачи энергии от привода передвижения трением в контакте колесо-рельс; физическая сущность трения без смазки (сухого трения), жидкостного трения, граничного трения; влияние процессов трения и процессов передачи энергии на долговечность крановых конструкций.

Представлені результати аналізу силової взаємодії кранів з естакадами. Розглянуті: фізична суть процесів формування бічних горизонтальних сил в контакті колесо-рейка при коченні колеса крана по підкранових рейках; вплив мастила в контакті на силу зчеплення колеса з рейкою; причини періодичності зміни горизонтальних бічних сил; процес передачі енергії від приводу пересування тертям в контакті колесо-рейка; фізична суть тертя без мастила (сухого тертя), рідинного тертя, граничного тертя; вплив процесів тертя і процесів передачі енергії на довговічність конструкцій кранів.

The results of the analysis of force interaction of the cranes with the flyovers. The physical nature of the formation of lateral horizontal forces in the contact wheel-rail while rolling wheels of a crane on crane rails; the influence of the lubricant in the contact on the force of adhesion of wheel with the rail, the causes of periodic changes of horizontal lateral forces, the transfer of energy from the friction movement the contact of wheel-rail in, the physical nature of friction without lubrication (dry friction), eiquid friction, boundary friction and the influence of friction and energy transfer processes on the life of crane structures are considered are considered.

Лубенец С. В.

научный сотрудник ЛТД ДГМА  
ltd\_kran\_dgma@mail.ru

УДК 621.874

Лубенец С. В.

### ПРОЦЕССЫ ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ В ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИНАХ

Вопросы буксования и скольжения колес [1] были рассмотрены при движении тележек и кранов, т. е. при движении за счет сцепления колес с рельсами. При этом необходимо учитывать сочетание нагрузок [2] и расчетные схемы приложения нагрузок [3].

Силовое взаимодействие кранов с эстакадами вызывает усталостные повреждения крановых мостов и подкрановых балок. Результаты исследований, проведенные в лаборатории эксплуатационной надежности крановых металлоконструкций ДГМА, позволяют выразить этот процесс в энергетической форме.

Цель данных исследований заключается в выяснении физической сущности процессов формирования боковых горизонтальных сил в контакте колесо-рельс при качении колеса; установлении влияния смазки в контакте на силу сцепления колеса с рельсом; установлении причины периодичности изменения горизонтальных боковых сил.

Установлены следующие закономерности: работа привода передвижения крана может быть представлена как передача энергии от тела энергоносителя (крана) на контртело (подкрановую эстакаду) в процессе их силового взаимодействия при относительном перемещении, сопровождающимся скольжением (трением) в местах контактирования колес с рельсами (кинематических парах). Процесс передачи энергии от привода передвижения трением в контактах колесо-рельс при совместном относительном перемещении систем с упругими звеньями происходит дискретно и сопровождается циклическими упругопластическими деформациями как звеньев, так и площадок их контактирования.

Схематически взаимодействие крана с подкрановой эстакадой можно представить в виде системы, состоящей из трех контуров (рис. 1): верхнего / (тело-энергоноситель), нижнего 2 (контртело) и промежуточного 3 (кинематические пары с силовым замыканием). Верхним контуром является кран, контртелом – основание, по которому он перемещается. Система представляет совокупность двух контуров (крана и эстакады), взаимодействующие детали которых (колеса и рельсы) соединяются промежуточным контуром (пятна контакта), т. е. имеем кинематические пары с силовым замыканием [4].

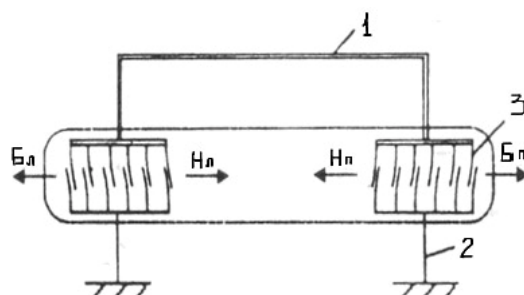


Рис. 1. Схема взаимодействия крана с путями в виде системы, состоящей из трех элементов:

1 – кран; 2 – подкрановая эстакада; 3 – контактирующие поверхности колесо-рельс;

$B_{л}$ ,  $B_{п}$  – соответственно левое и правое боковое давление колеса на рельс;  $H_{л}$ ,  $H_{п}$  – левое и правое усилие от рельса на колесо

В контактном контуре на приводные колеса действуют силы реакций: вертикальных, а также горизонтальных – продольных (силы продольного скольжения, реализующие поступательное движение или торможение) и поперечных (паразитные силы поперечного скольжения, вызываемые перекосом колес в горизонтальной плоскости).

В крановом контуре в процессе увеличения деформации от 0 до  $\delta_{max}$ , накапливается энергия упругая, а подводимая в контакты приводных колес затрачивается на совершение работы сдвиговых деформаций вдоль и поперек пути, а также упругой деформации моста, вызывая при этом развитие усталостных повреждений.

Колесо крана будет катиться прямолинейно (рис. 2) в плоскости своего диска, что приводит к образованию и постепенному увеличению боковой силы  $P_2$ , а конструкция крана будет упруго деформироваться под действием этой силы. Проскальзывание колеса поперек рельса происходит, когда сила упругой деформации крана превысит силу трения в контакте колесо-рельс, т. е.  $P_2 > f_0 P_6$ . Колесо под действием сил упругости скачком возвращается в начальное положение, и процесс повторяется.

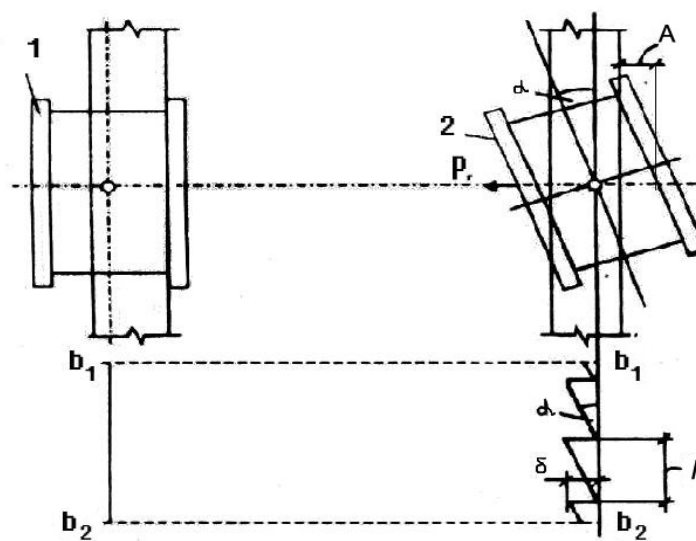


Рис. 2. Траектория проскальзывания колеса поперек рельса:

1 – колесо; 2 – колесо, совершающие периодические поперечные колебания;  $\alpha$  – угол перекоса колеса;  $\delta$  – наибольшее отклонение центра колеса 2 при срыве зацепления в контакте;  $b_1$  и  $b_2$  – траектория движения центров колес 1 и 2

*Движение колеса при «сухом» контакте*

Движение колеса при «сухом» контакте, без посторонних помех, происходит по периодическому закону с амплитудами «пилообразной» формы (рис. 2). При сухом контакте величина коэффициента трения больше, чем при контакте со смазкой. Проскальзывание колеса поперек рельса меньше, но нагрузка на металлоконструкцию крана больше по величине, чем в контакте колесо-рельс со смазкой [5].

*Движение колеса при контакте со смазкой*

При обильной смазке в контакте прямолинейное движение колеса по рельсу переходит в колебательный процесс с асимметричным циклом.

Возникновение колебаний можно объяснить местным изменением коэффициента трения в контакте, вызываемого нагартовкой масляной пленки при поперечном скольжении, когда местное скопление смазки приводит к уменьшению сцепления колеса с рельсом, и частичным поперечным проскальзыванием контактирующих деталей. Таким образом, качение перекошенного колеса на участке рельса с масляной пленкой может сопровождаться уменьшением поперечной (распорной) силы до  $P_2 = 0,1P_6$  и упругими колебаниями поперек рельса. Эти высокочастотные колебания накладываются на низкочастотные, вызываемые поперечными смещениями от его монтажного перекоса на угол  $\alpha$ .

*Физическая сущность процессов трения в контакте рельс-колесо*

В основе действия сил трения лежит атомно-молекулярное строение материи (металлов). Поэтому полностью избавиться от действия сил трения в узлах машин невозможно, однако знание законов трения позволяет управлять этим процессом, т. е. свести к минимуму его вредное воздействие, например, в контактах скольжения [6].

ГОСТ № 16429-70 «Трение и изнашивание в машинах. Основные термины и определения» дает следующую классификацию видов трения по наличию смазки: трение без смазки (сухое); жидкостное трение и граничное трение. Вид трения оказывает определяющее влияние на характер и скорость изнашивания контактирующих поверхностей.

Трение без смазки, или сухое трение – это трение двух твердых тел *А* к *Б* (рис. 3) при отсутствии на поверхностях трения смазочного материала (жидкого, консистентного или твердого).

Твердые смазки, оставляя трущиеся поверхности «сухими», создают трение, отличное от трения без смазки, поэтому термин «сухое трение» менее точен, чем термин «трение без смазки».

Трение без смазки является также внешним трением, поскольку скольжение тел происходит по внешним поверхностям. В режимах трения без смазки работают следующие узлы трения подъемно-транспортных машин: гусеничные звенья, тормозные пары, фрикционные пары (сухие), пары колесо-рельс. Трение без смазки характеризуется большими значениями коэффициентов трения и скоростями повреждения (изнашивания) трущихся поверхностей.

Жидкостное трение – это такое трение, при котором трущиеся поверхности тел *А* и *Б* (рис. 4) полностью разъединены слоем жидкости (масла), обладающим объемными свойствами, а также свойством прилипаемости и вязкости.

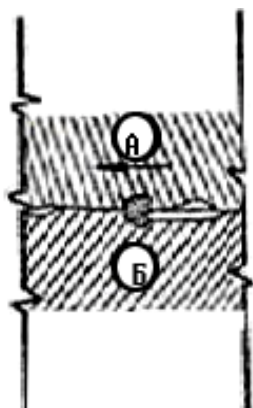


Рис. 3. Трение без смазки (сухое)



Рис. 4. Жидкостное трение

В результате граничный слой масла прочно соединяется с поверхностью твердого тела, и при относительном перемещении тел *А* и *Б* происходит скольжение слоев жидкости друг по другу (внутреннего трения жидкости) и скольжения слоя масла по твердой поверхности не наблюдается.

Граничное трение – это такое трение, при котором трущиеся поверхности разделены весьма тонким адсорбционным (поверхностным) слоем смазки, обладающим особыми свойствами. Это, во-первых, прочное сцепление, прилипание к поверхностям твердых тел и, во-вторых, высокая прочность слоя (пленки).

Первый ряд молекул поверхностно-активных веществ (рис. 5, а) образует монослой («молекулярный ворс»). При контакте 2-х поверхностей *А* и *Б* со слоями контактировать будут не металлические поверхности, а метильные группы (хвосты) молекул (рис. 5, б). Разъединение трущихся поверхностей только двумя монослоями в 6–7 раз снижает величину коэффициента трения.

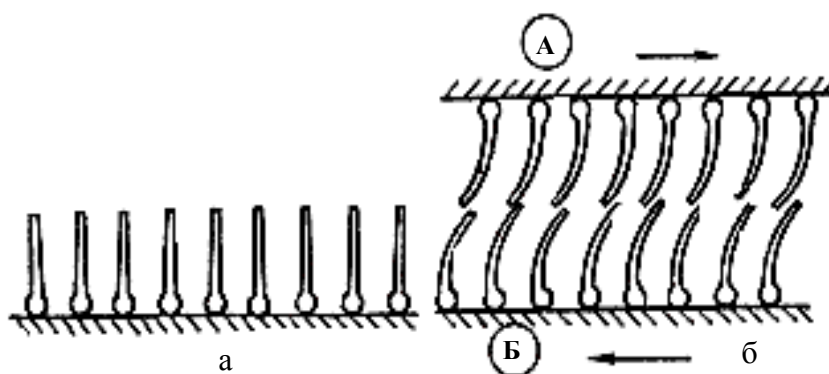


Рис. 5. Схема образования мономолекулярного слоя (а) и контактирования двух мономолекулярных слоев (б)

С метильными группами монослоя соединяются металлические группы следующего слоя молекул, и в результате образуются слои молекул, строгая ориентация которых нарушается пропорционально увеличению расстояния между металлической поверхностью и молекулами. Толщина граничного слоя, образованного этими молекулами, обычно меньше 0,1 мкм.

### ВЫВОДЫ

Работа различных механизмов, в том числе и системы кран-эстакада, может быть представлена как передача энергии трением при взаимодействии тела энергоносителя и контртела. Процесс передачи энергии трением при совместном относительном перемещении систем с упругими звеньями происходит дискретно и сопровождается циклическими упругопластическими деформациями как звеньев, так и площадок их контактирования.

Если конструкция моста или подкрановой эстакады упругоподатлива в направлении, поперечном к рельсам, то в процессе движения крана перекошенное колесо воздействует на них подобно клину, вызывая упругие поперечные деформации моста и эстакады. Последние тем больше, чем больше угол перекоса  $\alpha$  и путь, пройденный колесом.

С увеличением поперечных деформаций увеличивается распорная сила, которая, достигнув максимума  $P_2 = f_0 P_0$ , где  $f_0$  – коэффициент трения покоя при скольжении, вызывает проскальзывание колеса поперек рельса, а поперечная сила уменьшается до  $P_2 = 0$ , после чего процесс повторяется.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковальский Б. С. Грузоподъемные машины / Б. С. Ковальский. – Харьков, 1963. – С. 74–75.
2. Концевой Е. М. Ремонт крановых металлоконструкций / Е. М. Концевой, Б. М. Розенштейн. – Москва. : Машиностроение, 1979. – С. 155–162.
3. Казак С. А. Курсовое проектирование грузоподъемных машин / С. А. Казак. – Москва. : Высшая школа, 1989. – С. 116–122.
4. Силовое взаимодействие крана с путями, влияние поперечной жесткости моста на распределение энергии деформации и накопление усталостных повреждений / О. А. Емельянов, В. П. Шепотько, С. В. Лубенец, Ю. В. Пихота // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2001. – № 2. – С. 27–31.
5. Образование и кинетика поперечных двухчастотных нагрузок, действующих на сварной мост крана / О. А. Емельянов, В. П. Шепотько, С. В. Лубенец, Ю. В. Пихота // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2001. – № 1. – С. 13–18.
6. Кох П. И. Производство, монтаж, эксплуатация и ремонт подъемно-транспортных машин / П. И. Кох. – Киев-Донецк, 1977. – С. 204–208.

Статья поступила в редакцию 20.10.2011 г.