

ПРУЖИННО-ШАРИКОВОЕ БУФЕРНОЕ УСТРОЙСТВО ЛИТЕЙНЫХ КРАНОВ

Литейные краны мостового типа, применяемые в мартеновских, электроплавильных и кислородно-конверторных цехах металлургического производства, предназначены для транспортирования, заливки или разливки расплавленного металла.

Для повышения безопасности эксплуатации литейных кранов на главных балках устанавливают пружинные буферы, а на вспомогательных – тупиковые упоры [1]. Эти устройства ограничивают ход тележек (главной и вспомогательной) и позволяют уменьшить динамические нагрузки на металлоконструкцию кранов и грузовых тележек.

Применяемые на этих кранах пружинные буферные устройства для поглощения кинетической энергии движущихся масс имеют большие габариты и большую отдачу. Наиболее совершенные по своим возможностям и характеристикам гидравлические буферы не имеют отдачи и позволяют поглотить вдвое большую энергию чем пружинные, при одинаковых усилиях и ходе штока [2]. Однако гидравлические буферы не нашли широкого применения на металлургических кранах из-за высоких требований к качеству обслуживания при эксплуатации [1].

Для устранения указанных недостатков предлагается буферное устройство пружинно-шарикового типа (рис.1).

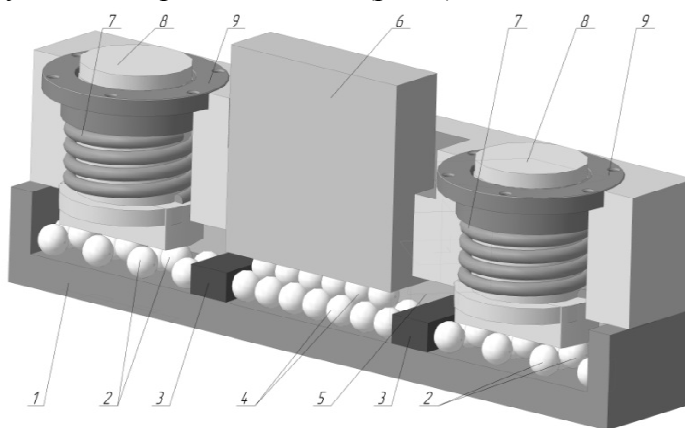


Рисунок 1 - Пружинно-шариковое буферное устройство литейных кранов: 1 - корпус, 2 – шарики дополнительных наборов, 3 – промежуточные упоры, 4 – шарики основного набора, 5 – боковые

направляющие, 6 - ползун, 7 - пружины, 8 – упоры, 9 – опорные крышки

Основой этого устройства является шариковый передаточный механизм [3], который состоит из последовательно расположенных комплектов шариков (рис. 2), при этом каждый комплект имеет один верхний и четыре нижних шарика. Каждый верхний шарик расположен между нижними шариками и контактирует с каждым из них. Характерной особенностью этого механизма есть то, что необходимая уравновешивающая сила, которая прикладывается к нижним шарикам крайних комплектов тем меньше, чем больше последовательно расположенных комплектов шариков.

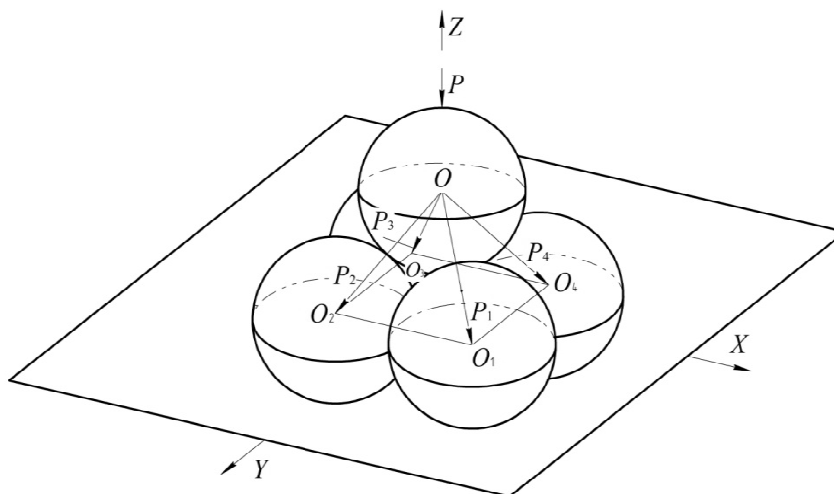


Рисунок 2 - Комплект шариков, состоящий из верхнего и четырех нижних шариков

В данной конструкции буферного устройства пружинно-шарикового типа помимо основного набора шариков 4, который состоит из 6 комплектов, буферное устройство оснащено двумя дополнительными наборами шариков 2, каждый из которых состоит из трех комплектов шариков. Все шарики основного и дополнительного наборов имеют одинаковые диаметры.

Шарики верхнего ряда каждого дополнительного набора контактируют с упорами 8. Между упорами 8 и опорной крышкой 9 расположена цилиндрическая пружина сжатия 7.

В исходном состоянии, до наезда крана или грузовой тележки на буферное устройство, верхние шарики основного набора контактируют между собой. Шарики дополнительного набора разведены так, что отрезки прямых, соединяющие центр шарика

верхнего ряда с центром любого шарика нижнего ряда, входящие в один комплект, составляет угол больше угла трения скольжения для материала, из которого они изготовлены. После наезда крана или тележки на буферное устройство пружинно-шарикового типа с дополнительными наборами шариков, соответствующий элемент металлоконструкции входит в контакт с ползуном 6, и буферное устройство начинает срабатывать.

От ползуна нагрузка передается на верхние шарики, а затем на нижние шарики основного набора. Каждый из комплектов шариков начинает двигаться, изменяя свою геометрию. Верхние шарики опускаются вниз, катятся по поверхности ползуна вправо (влево) в направлении ближайшего промежуточного упора 3 и проскальзывают между 4-мя нижними шариками, которые входят с ними в один комплект.

Нижние шарики катятся по днищу корпуса 1 вправо (влево) в направлении ближайшего промежуточного упора 3 и скользят по боковым направляющим 5 корпуса. Два шарика нижнего ряда, находящиеся на равном удалении от промежуточных упоров остаются все время неподвижными.

В процессе срабатывания основного набора шариков, нижние шарики крайних комплектов передают нагрузку на промежуточные упоры 3, которые скользят по днищу корпуса и передают усилие на нижние шарики дополнительных наборов, которые также начинают перемещаться. Нижние шарики катятся по днищу корпуса в направлении края корпуса, а верхние шарики, проскальзывая между нижними шариками, составляющими с ними один комплект, катятся по поверхности упора 8, поднимая его.

Силовой поток от промежуточных упоров 3 передается на нижние шарики, переходит на верхние шарики, от них к упорам 8, а от последних к пружинам 7.

Таким образом, сила $P_{ном}$ движущегося крана, от ползуна 6 преобразуется в силу сжатых пружин $R_{пр}$. При этом основной набор комплектов шариков из начального состояния, когда верхние шарики контактируют между собой, переходит в состояние срабатывания, когда шарики максимально раздвигаются. Дополнительные наборы из максимально раздвинутого положения шариков перемещаются в вертикальном направлении и переходят в начальное состояние, то есть проходят этап восстановления.

Определим зависимость между номинальным усилием срабатывания $P_{ном}$ и усилием в пружинах $R_{пр}$ для буферного

устройства пружинно-шарикового типа с дополнительными наборами шариков.

Для этого воспользуемся расчетной схемой (рис. 3) и рассмотрим последовательно равновесие всех элементов с учетом характера их движения при срабатывании буферного устройства. Так как конструкция буферного устройства симметрична относительно вертикальной оси Z , которая проходит через середину основного набора шариков и силовой поток поровну перераспределяется между дополнительными наборами шариков, то в расчетной схеме рассмотрена только правая часть буферного устройства.

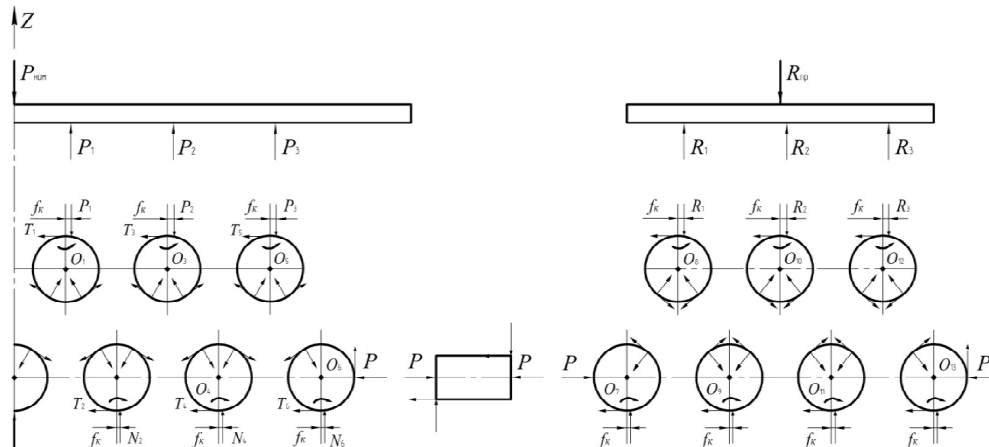


Рисунок 3 - Расчетная схема для определения зависимости между силами $P_{ном}$ и $R_{пр}$

Так как основной набор комплектов шариков 4 представляет собой пружинно-шариковый передаточный механизм, работа которого подробно рассмотрена в [3], то мы можем записать выражение для силы P , с которой крайние шарики основного набора действуют на промежуточные упоры:

$$P = \frac{P_{ном}}{2} \frac{1 - \left(\frac{A}{B}\right)^2}{1 - \left(\frac{A}{B}\right)^n} \frac{A}{(\cos \alpha + f \sin \alpha)[f(r - f_k) + r]} \frac{\left(1 + \frac{A}{B}\right)^{n-2}}{\left(1 + \frac{B}{A}\right)^{n-1}}, \quad (1)$$

или без учета трения качения шариков

$$P = P_{ном} \frac{(\sin \alpha - 2f \cos \alpha - f^2 \sin \alpha) \cos \beta}{2n(\cos \alpha + f \sin \alpha)(1 + f \cdot f_1)}, \quad (2)$$

где f – коэффициент трения скольжения между шариками,
 f_l – коэффициент трения скольжения между шариками и промежуточными упорами,

f_k – коэффициент трения качения между верхними шариками и ползуном, а также между нижними шариками и дном корпуса,

n – количество комплектов шариков основного набора,

α – угол контакта между шариками одного комплекта,

β – угол между сечениями I-I и II-II, в которых расположены силы взаимодействия шариков верхнего и нижнего рядов одного комплекта и направлением действия силы P (рис. 4),

A и B – коэффициенты, определяемые из выражений:

$$\begin{aligned} A &= b \sin \alpha \cos \beta - (a + f_k) \cos \alpha - (a + f_k) f \sin \alpha - fb \cos \alpha \cos \beta, \\ B &= b \sin \alpha \cos \beta - (a - f_k) \cos \alpha - f(a - f_k) \sin \alpha - fb \cos \alpha \cos \beta, \\ a &= r \sin \alpha, \quad b = r(1 + \cos \alpha), \end{aligned} \quad (3)$$

r – радиус шариков,

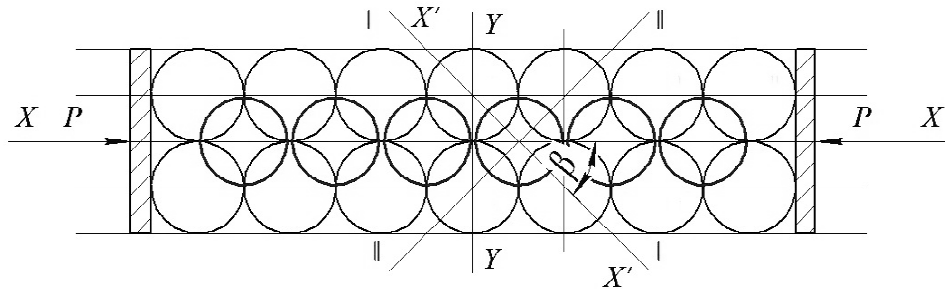


Рисунок 4 - Схема для определения положения сечений I-I и II-II, в которых расположены силы взаимодействия шариков верхнего и нижнего рядов

Если пренебречь трением скольжения промежуточных упоров о днище и боковые направляющие корпуса, то сила P из выражений (1) и (2), может рассматриваться как силовой фактор, который воздействует на нижние шарика дополнительных наборов.

Рассмотрев условия равновесия каждого шарика дополнительного набора, определим силы R_1 , R_2 и R_3 с которыми верхние шарика этих наборов действуют на упоры 8 после завершения этапа восстановления геометрических характеристик.

$$R_1 = \frac{R[r - f_1(r + f_k)]}{2B_1} \left(1 + \frac{A_1}{B_1} \right) (\cos \alpha - f \sin \alpha) \quad (4)$$

$$R_2 = \frac{1}{2} R[r - f_1(r + f_k)] \frac{A_1^2}{B_1^3} \left(1 + \frac{A_1}{B_1}\right) (\cos \alpha - f \sin \alpha), \quad (5)$$

$$R_3 = \frac{1}{2} R[r - f_1(r + f_k)] \frac{A_1^4}{B_1^5} \left(1 + \frac{A_1}{B_1}\right) (\cos \alpha - f \sin \alpha), \quad (6)$$

где f_k - коэффициент трения качения между шариками верхнего ряда и упором 8 и шариками нижнего ряда и дном корпуса,

A_1 и B_1 - коэффициенты, определяемые из выражений:

$$A_1 = b \sin \alpha \cos \beta + f b \cos \alpha \cos \beta + f(a + f_k) \sin \alpha - (a + f_k) \cos \alpha, \quad (7)$$

$$B_1 = b \sin \alpha \cos \beta + f b \cos \alpha \cos \beta + f(a - f_k) \sin \alpha - (a - f_k) \cos \alpha.$$

Из условия равновесия упоров 8, получим зависимость между силой P и силой пружин R_{np} :

$$R_{np} = \frac{2P(\cos \alpha - f \sin \alpha)[r - f_1(r + f_k)]}{B_1} \left(1 + \frac{A_1}{B_1}\right) \frac{1 - \left(\frac{A_1}{B_1}\right)^{n'}}{1 - \left(\frac{A_1}{B_1}\right)^2}. \quad (8)$$

где n' - количество комплектов шариков дополнительных наборов.

Без учета трения качения шариков выражение (8) преобразуется к виду:

$$P_{np} = P \frac{(\sin \alpha + 2f \cos \alpha - f^2 \sin \alpha) \cos \beta}{2n'(\cos \alpha - f \sin \alpha)(1 - f \cdot f_1)}. \quad (9)$$

Подставив в выражение (8) значения для P из (1) получим:

$$R_{np} = P_{ном} \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2, \quad (10)$$

$$\kappa_1 = \frac{1}{2} \frac{1 - \left(\frac{A}{B}\right)^2}{1 - \left(\frac{A}{B}\right)^n} \frac{A}{(\cos \alpha + f \sin \alpha)[f(r - f_k) + r]} \frac{\left(1 + \frac{A}{B}\right)^{n-2}}{\left(1 + \frac{B}{A}\right)^{n-1}},$$

где

$$\kappa_2 = \frac{2(\cos \alpha - f \sin \alpha)[r - f_1(r + f_k)]}{B_1} \left(1 + \frac{A_1}{B_1}\right) \frac{1 - \left(\frac{A_1}{B_1}\right)^{n'}}{1 - \left(\frac{A_1}{B_1}\right)^2}.$$

Если пренебречь трением качения шариков, то выражение (10) преобразуется к виду:

$$R_{np} = P_{ном} \frac{n' (\cos \alpha - f \sin \alpha) (\sin \alpha - 2f \cos \alpha - f^2 \sin \alpha) (1 - f \cdot f_1)}{n (\cos \alpha + f \sin \alpha) (\sin \alpha + 2f \cos \alpha - f^2 \sin \alpha) (1 + f \cdot f_1)}. \quad (11)$$

Выражения (10) и (11) определяют зависимость между номинальным усилием срабатывания $P_{ном}$ и усилием в пружинах P_{np} для буферного устройства пружинно-шарикового типа с дополнительными наборами шариков с учетом и без учета трения качения шариков соответственно.

Эта зависимость показывает, что основные потери в передаче силового потока от ползуна к пружинам связано с трением качения и скольжения шариков основного и дополнительных наборов и геометрическими характеристиками этих наборов. Сила пружин тем меньше, чем большее количество комплектов шариков основного набора и меньшее количество комплектов шариков дополнительных наборов будет установлено.

ВЫВОДЫ

1. Предложена конструкция буферного устройства пружинно-шарикового типа, которое имеет существенно меньшие габариты и меньшую отдачу чем пружинные буферы, применяемые на литейных кранах.

2. Такое буферное устройство позволяет преобразовывать входящую силу в меньшую по величине силу в пружинах, которая действует в параллельном направлении к входной силе.

3. Сила в пружинах будет тем меньше, чем большее количество комплектов шариков основного набора и меньшее количество комплектов шариков дополнительных наборов будет установлено.

ЛИТЕРАТУРА

1. К.Д. Никитин, А.Ю. Смолин. Мостовые металлургические краны. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. -200 с.

2. М.П. Александров, Л.Н. Колобов, Н.А. Лобов и др. Грузоподъемные машины. М.: Машиностроение, 1988. – 400 с.

3. Семенюк В.Ф., Лингур В.Н. Особенности шарикового передаточного механизма // Праці Одеського політехнічного університету: Науковий та науково-виробничий збірник. – Одеса, 2012. – Вип. 2(39). – С. 55–60.