

О.А. Лускань, доктор технических наук,
доцент
А.Б. Федотов

Теоретические исследования движения тележек на инерционном конвейере в режиме транспортирования при ремонте боеприпасов

В статье рассматривается вопрос об обслуживании производственных циклов с помощью инерционного тележечного конвейера, предназначенного для транспортно-технологического обеспечения ремонта боеприпасов.

Ремонт артиллерийских и минометных выстрелов заключается в проведении комплекса технологических и контрольных операций (сортировка, вывинчивание головных взрывателей, разделка выстрелов на элементы и ремонт выстрелов и их элементов), в результате которых выстрелы или их элементы, имеющие те или иные дефекты, приводятся в состояние, обеспечивающее их длительную сохранность и постоянную готовность к боевому применению.

Проведенный авторами анализ ремонта боеприпасов создал предпосылки по возможному использованию поточных линий в виде гибкой производственной системы (ГПС), а в качестве основного транспортно-технологического средства механизации – разработанную конструкцию инерционного тележечного конвейера¹, который обеспечивает транспортирование и ориентирование (поворот, разворот) изделия в плоскости его транспортирования.

Конструкция конвейера (рисунок 1) представляет собой приводную, с возможностью возвратно-поступательного перемещения по неподвижному основанию направляющую раму 1, установленную на опорных катках 2, привода 3 рамы, ловителей 4 тележек 5, выполненных в виде поворотной платформы 6, соединенной шарниром 7 с опорной платформой 8, имеющей опорные ролики 9 с механизмами свободного хода, на которой на

неподвижных осях 10 смонтированы катки 11, оснащенные механизмами свободного хода 12, при этом для фиксации положения поворотной платформы предусмотрен подпружиненный толкатель 13 и на опорной платформе имеются выемки 14.

Для транспортирования и ориентирования боеприпасов 15 (грузов) тележки 5 с закрепленными на них грузами устанавливаются на направляющие рамы 1, которые после включения привода 3 начинают совершать возвратно-поступательные перемещения, опираясь на неподвижное основание через опорные катки 2.

При прямом ходе, т. е. когда рама 1 с тележками 5 движется в сторону транспортирования, сила инерции груза и опорной платформы стремится вращать опорные катки 9 в направлении, противоположном транспортированию, чему препятствуют механизмы свободного хода. При этом сила трения между опорными катками 9 и направляющими рамы 1, преодолевая силу инерции, вовлекает в совместное движение тележку. Кроме того, сила инерции груза стремится также вращать катки 11 в направлении, противоположном транспортированию, но так как катки одной пары, расположенных на одной геометрической оси имеют возможность вращаться только в разные стороны посредством механизмов свободного хода, то между заторможенным катком и поворотной платформой с грузом возникает сила трения, а незаторможенным – сила сопротивления качению, которая значи-

1 Патент № 2558536 RU, МПК В65G 25/04. Инерционный тележечный конвейер / Лускань О.А., Федотов А.Б.; заявл. 09.01.2014; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 22.

тельно меньше силы трения. Линия действия равнодействующей этих сил не совпадает с линией действия силы инерции, в результате чего возникает момент, вращающий поворотную платформу на катках с грузом. При этом

имеющие возможность вращения в противоположных направлениях катки другой пары, расположенных на одной геометрической оси параллельной оси конвейера, не препятствуют вращению поворотной платформы.

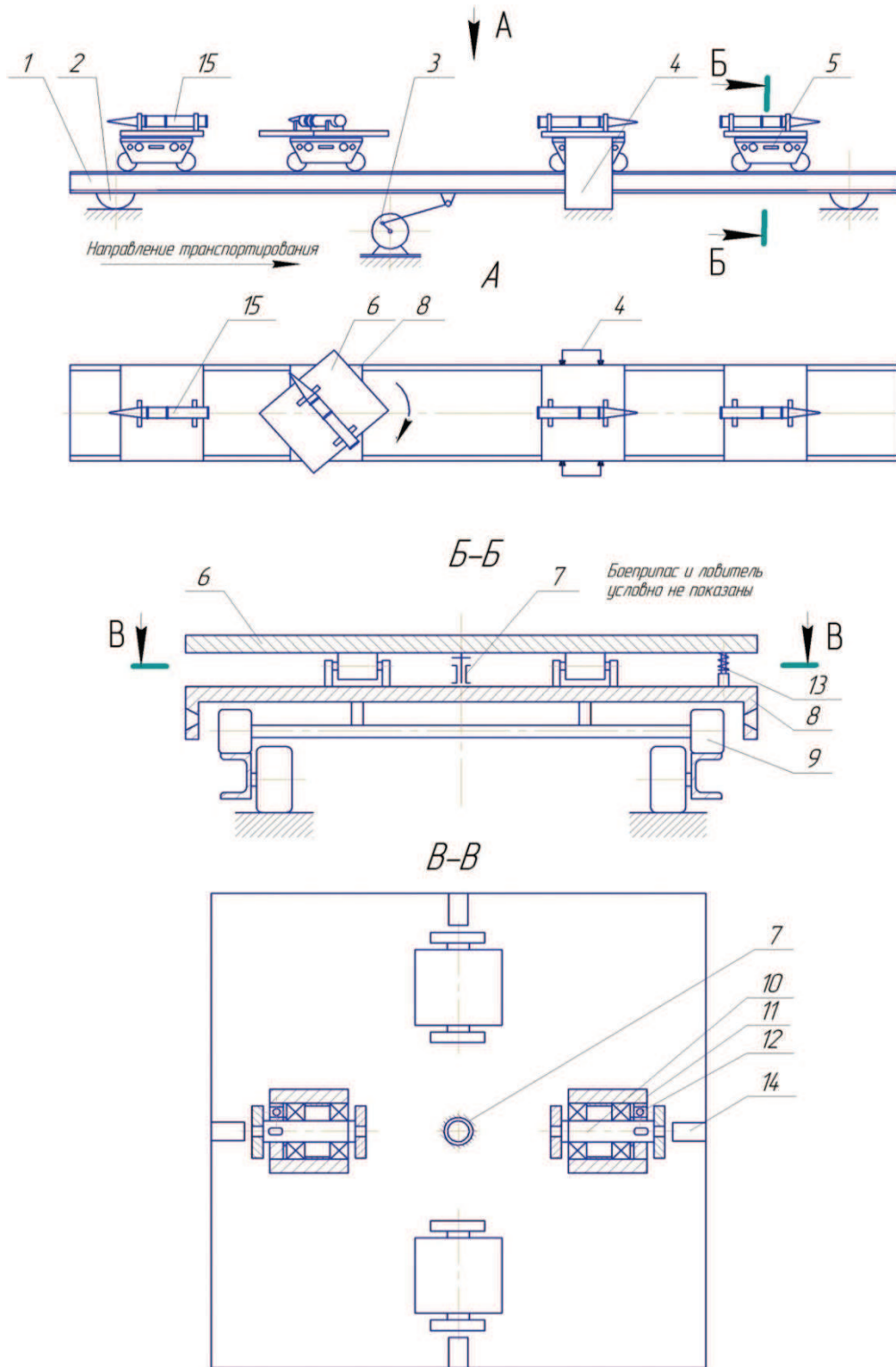


Рисунок 1 – Конструктивная схема ремонтного инерционного конвейера

При обратном ходе рамы тележки под действием силы инерции груза, преодолевая сопротивление качения опорных катков по направляющим, продолжают перемещаться в сторону транспортирования, так как механизмы свободного хода не препятствуют вращению опорных катков по направляющим рамы, а поворотная платформа с грузом будет находиться в неподвижном повернутом положении до завершения обратного хода рамы. Далее процесс повторяется.

Следует выделить три основных режима работы конвейера:

- 1 – транспортирование тележек без ориентирования груза;
- 2 – ориентирование груза на заторможенных (неподвижных) тележках;
- 3 – ориентирование груза в процессе движения тележек по трассе транспортирования.

Исследование процесса транспортирования грузов, расположенных на тележках с поворотными платформами инерционным ремонтным конвейером, в соответствии с первым режимом работы, предполагает определение основных кинематических характеристик движения тележек с учетом конструктивных особенностей конвейера.

Транспортирование тележек инерционным конвейером обеспечивается за счет совершения рамой возвратно-поступательных движений, в результате которых тележка перемещается вперед с определенной скоростью. Характер перемещения тележки с грузом зависит от режима колебаний рамы. Следует отметить, что в инерционных конвейерах с постоянным давлением груза на дно желоба законы движения желоба при прямом и обратном ходе различны, а в инерционных конвейерах с переменным давлением груза на дно желоба и вибрационных конвейерах, имеющих однокривошипный привод, желоб качается по гармоническому закону. Однако их конструктивные особенности обуславливают перемещение груза с подбрасыванием [1].

Однокривошипный привод качания рамы конвейера обеспечивает гармонический за-

кон колебания [2], описываемый уравнениями движения рамы:

$$x_k = A \sin \omega t, \quad (1)$$

$$v_k = A \omega \cos \omega t, \quad (2)$$

$$a_k = -A \omega^2 \sin \omega t, \quad (3)$$

где x_k – перемещение рамы конвейера;

v_k – скорость рамы конвейера;

a_k – ускорение рамы конвейера;

A, ω – соответственно амплитуда колебаний рамы конвейера и угловая скорость привода.

В монографии [2] установлено, что гармонический привод обеспечивает переменные кинематические характеристики качающейся раме за период цикла, а тележка, с заторможенной поворотной платформой, движется с абсолютной скоростью качающейся рамы и относительной в сторону транспортирования. Одним из важных условий является условие совместного движения рамы и тележки с одинаковой абсолютной скоростью с целью накопления тележкой кинетической энергии для создания относительного движения тележки в период хода рамы при прямом и обратном направлении. Совместное движение тележки с рамой осуществляется за счет силы трения, возникающей между опорными катками тележки и поверхностью направляющих рамы, и условие совместного движения тележки с рамой в направлении транспортирования определяется выражением:

$$F_u \leq F_{mp}, \quad (4)$$

где F_u – сила инерции груженой тележки:

$$F_u = (m_m + m_{nn} + m_{zp}) \cdot a_m^{omh}, \quad (5)$$

где m_m – масса тележки;

m_{nn} – масса поворотной платформы;

m_{zp} – масса транспортируемого груза (боеприпаса);

a_m^{omh} – ускорение тележки относительно рамы.

F_{mp} – сила трения покоя опорных катков тележки о направляющие рамы:

$$F_{mp} = (m_m + m_{nn} + m_{zp}) \cdot gf, \quad (6)$$

где f – коэффициент трения покоя опорных катков тележки о направляющие рамы.

Совместное движение тележки с рамой будет происходить до тех пор, пока скорость рамы не достигнет максимального значения, после чего сила инерции тележки с грузом изменит свое направление, и тележка, преодолевая сопротивление движению, начнет относительное перемещение по направляющим рамы конвейера. Условие относительного движения тележки по направляющим при прямом и обратном ходах рамы конвейера определяется выражением:

$$F_u > W_m, \tag{7}$$

где W_m – сила сопротивления движению тележки по направляющим рамы конвейера,

$$a_m = \frac{-(m_m + m_{nn} + m_{zp})}{(m_m + m_{nn} + m_{zp} + m_{km})} \cdot g \cdot \delta_m - \frac{m_{km}}{m_m + m_{nn} + m_{zp} + m_{km}} \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t, \tag{9}$$

где m_{km} – масса вращающихся катков тележки.

$$v_m = A \cdot \omega - \frac{m_m + m_{nn} + m_{zp}}{m_m + m_{nn} + m_{zp} + m_{km}} \cdot g \cdot \delta_m \cdot t - \frac{m_{km}}{m_m + m_{nn} + m_{zp} + m_{km}} \cdot A \cdot \omega \cdot (1 - \cos \omega t). \tag{10}$$

Закономерность изменения абсолютного перемещения тележки:

$$x_m = A \cdot \omega \cdot t - \frac{m_m + m_{nn} + m_{zp}}{m_m + m_{nn} + m_{zp} + m_{km}} \cdot g \cdot \delta_m \cdot t^2 / 2 - \frac{m_{km}}{m_m + m_{nn} + m_{zp} + m_{km}} \cdot A \cdot (\omega t - \sin \omega t). \tag{11}$$

Основываясь на выражениях (4) и (7) были определены граничные параметры колебаний рамы конвейера, при которых воз-

$$A \leq \frac{g \cdot \left(f^2 + 4 \cdot f \cdot \delta_m \cdot \left(\frac{m_m + m_{nn} + m_{zp}}{m_m + m_{nn} + m_{zp} + m_{km}} \right) + 3 \cdot \delta_m^2 \cdot \left(\frac{m_m + m_{nn} + m_{zp}}{m_m + m_{nn} + m_{zp} + m_{km}} \right)^2 \right)}{4 \cdot \omega^2 \cdot \pi \cdot \delta_m \cdot \left(\frac{m_m + m_{nn} + m_{zp}}{m_m + m_{nn} + m_{zp} + m_{km}} \right) \cdot \left(1 - \frac{m_m + m_{nn} + m_{zp}}{m_m + m_{nn} + m_{zp} + m_{km}} \right)}. \tag{12}$$

Важным фактором является выбор амплитуды колебаний по выражению (12) в зависимости от угловой скорости привода, коэффициента трения опорной поверхности катков тележки о направляющие, приведенного коэффициента сопротивления движению тележки, составляющего не более 0,09, при постоянных соотношениях

$$\frac{m_m + m_{nn} + m_{zp}}{m_m + m_{nn} + m_{zp} + m_{km}} \text{ и } \frac{m_{km}}{m_m + m_{nn} + m_{zp} + m_{km}}.$$

допуская при этом, что она меньше силы трения F_{mp} :

$$W_m = (m_m + m_{nn} + m_{zp}) \cdot g \cdot \delta_m, \tag{8}$$

где δ_m – приведенный коэффициент сопротивления движению тележки по направляющим рамы конвейера.

Основываясь на проведенные теоретические исследования [2], которые отчасти справедливы и для движения тележек в режиме транспортирования на рассматриваемом конвейере, установлены закономерности изменения абсолютного ускорения движения грузовой тележки в любой момент времени в период цикла с учетом конструктивных особенностей конвейера:

Закономерность абсолютного изменения скорости тележки при транспортировании:

можно движение тележек без скольжения относительно рамы:

Графики зависимости амплитуды от угловой скорости привода с опорной поверхностью направляющих рамы, выполненных из стали, древесины и резины, по которым перемещаются тележки со стальными катками с коэффициентами трения соответственно $f_{c-c} = 0,25$; $f_{c-d} = 0,5$; $f_{c-p} = 0,7$ [3], представлены на рисунке 2, из которых видно, что при наименьших значениях приведенного ко-

эфициента сопротивления движению тележки и наибольших значениях коэффициента трения катков тележки о направляющие рамы появляется возможность увеличения скорости транспортирования, а следовательно, и

производительности конвейера. Кривые (рисунок 2) показывают максимальные ограничения по значениям амплитуды и угловой скорости.

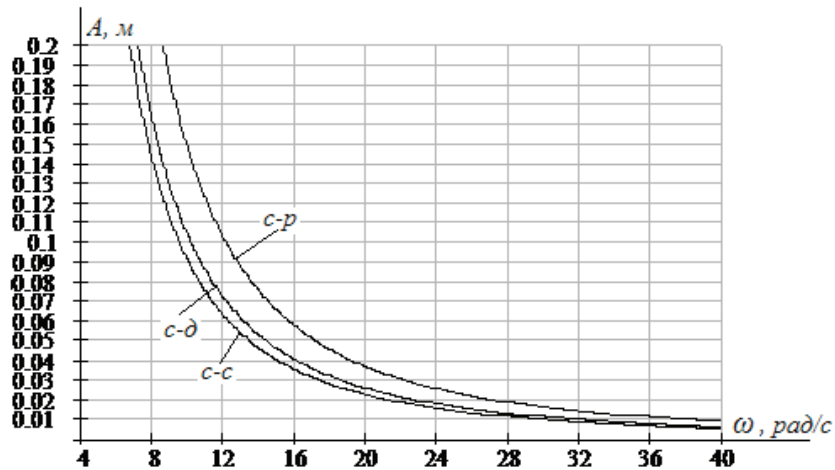


Рисунок 2 – Численный анализ зависимостей параметров колебаний рамы

Установлено, что рациональные значения амплитуды колебаний рамы составляют $A=0,005 \div 0,2$ м и угловой скорости привода $\omega=4 \div 15$ рад/с, при которых возможно движение тележек по конвейеру при гармоническом приводе в режиме транспортирования.

Полагаем, что внедрение инерционного тележечного конвейера, предназначенного для транспортно-технологического обеспече-

ния ремонта боеприпасов, имеющих различную геометрическую форму и вид опорной поверхности, позволит обслуживать производственные циклы в условиях гибких производственных систем с меньшими капитальными и эксплуатационными затратами по сравнению с традиционными видами машин непрерывного транспорта.

Список использованных источников

1. Сливаковский А.О. Транспортирующие машины: учеб. пособие для машиностроительных вузов. – 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.
2. Лускань О.А. Теоретические основы перемещения грузов импульсными конвейерами. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2010. – 99 с.
3. Ивановский К.Е. Теоретические основы перемещения штучных грузов. – М.: Машиностроение, 1969. – 166 с.