

Машины и Установки проектирование, разработка и эксплуатация

Сетевое издание
МОО "Стратегия объединения"
<http://maplants-journal.ru>

Ссылка на статью:

//Машины и установки: проектирование,
разработка и эксплуатация.
Электрон. журн. 2026. № 1. С. 14 – 20.

DOI:

Представлена в редакцию: 12.05.2026

Принята к публикации: 26.05.2026

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 621.867

Кинематический анализ движения штучных грузов на импульсном инерционном роликовом конвейере с траповым расположением концевой опоры

Лускань О.А.

oa-luskan@yandex.ru

БИТИ НИЯУ МИФИ (г. Балаково, Россия)

Статья является продолжением исследований, начатых в работе [1]. Представлено решение вопросов установления кинематических закономерностей перемещения штучных грузов на импульсном инерционном роликовом конвейере (ИИРК) с подвижным траповым расположением концевой опоры (оси), имеющей возможность движения по наклонной плоскости с выходом на уровень головной опоры (оси) рамы. По сравнению с горизонтально установленным конвейером, работающим в качестве самостоятельной единицы или в составе технологических машин различного назначения, предлагаемое конструктивное решение позволит расширить границы варьирования параметрами конвейера на 20% наряду с повышением производительности и даст возможность выполнения им дополнительных операций, связанных с загрузкой-разгрузкой других транспортно-технологических машин и складского оборудования.

Ключевые слова: груз, ролик, конвейер, кинематика движения груза, подвижный наклонный трап, инерция, сила тяжести.

Введение

В работе [1] были поставлены задачи дальнейшего исследования движения штучных грузов на импульсном инерционном роликовом конвейере (ИИРК) с подвижной траповой концевой опорой, требующие уточнения, а возможно, и принципиального изменения известных, полученных в ходе исследований [2], кинематических закономерностей движения штучных грузов, влекущие, в конечном итоге, по мнению автора, увеличение производительности, за счет возникновения дополнительного импульса от составляющей силы тяжести груза, способствующего увеличению скорости транспортирования груза. Импульс от движущей силы появляется в следствие наклона рамы конвейера, путём уменьшения инерционной силы, направленной противоположно движению груза и составляющей силы тяжести транспортируемого груза, увеличивающей значение вектора равнодействующей указанных сил.

Следует отметить, что угол наклона рамы конвейера ограничен длиной его рамы (чем длиннее рама, тем меньше угол наклона траповой установки концевой опоры (трапа)), но

уменьшение инерционной составляющей хотя бы на 10-15% приведёт к гарантированному движению груза «вперёд» в период разгона рамы, когда может наблюдаться относительное скольжение груза [2, 3], что обеспечит:

во-первых – отсутствие эффекта относительного скольжения груза по заторможенным роликам;

во-вторых – увеличение скорости транспортирования.

Ограничением будет служить только возможное подбрасывание груза, точнее его отрыв от роликового полотна, предопределяющее неработоспособность ИИРК вследствие срыва груза.

Пространственное расположение конвейера (в негоризонтальной плоскости роликового настила) диктует уточнение кинематических характеристик движения рамы с роликоопорами и груза по ним в соответствии со схемой, показанной на рис. 1, при условии крепления шатуна к головной оси, совершающей движение только в горизонтальной плоскости.

Определение кинематических закономерностей движения штучного груза

Сложное движение рамы с роликоопорами обуславливает рассмотрение перемещения груза относительно роликов на основе разработанной теории [2], принимая во внимание, что головная опора рамы ИИРК движется по горизонтальным направляющим, а концевая – по наклонным в соответствии с условиями, оговорёнными в [1], т.е. в положении кривошипа, соответствующем 180° , рама ИИРК будет находиться в горизонтальном положении (перепад уровней установки головной и концевой осей равен нулю), а при 0° – в максимально наклонном (рис. 1). В положениях кривошипа 90° и 270° рама ИИРК будет занимать одинаковые срединные значения по углу наклона, тем самым головная опора конвейера будет совершать возвратно-поступательные перемещения только в горизонтальной плоскости, а концевая – по наклонной плоскости.

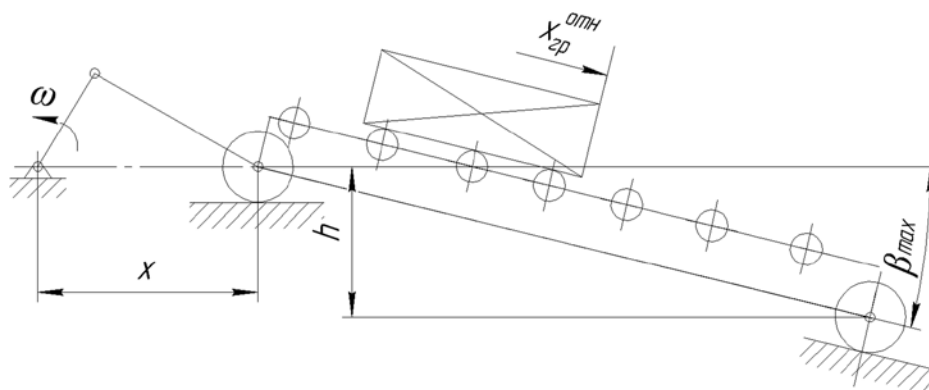


Рис. 1. Схема расположения ИИРК с грузом в пространстве

Переменные кинематические характеристики качающейся рамы ИИРК обеспечиваются гармоническим приводом [2], выполненного кривошипно-шатунным механизмом, позволяющим создать абсолютное движение груза со скоростью рамы и движение груза по роликам, отличающееся по кинематическим характеристикам от движения рамы как при прямом, так и при обратном ходах.

Закономерности движения рамы ИИРК определяются исходя из рисунка 1 и на основе выражений из [2], полагая, что головная опора (ось) движется горизонтально, а концевая наклонно:

$$x_k = \frac{g \sin \omega t}{\omega^2}; g_k = \frac{g \cos \omega t}{\omega}; a_k = -g \sin \omega t, \quad (1)$$

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

Значение максимального угла расположения концевой оси ИИРК определено в [1], но учитывая, что $a_{zp}^{omn} = A\omega^2$ [2, 3], поэтому:

$$\beta_{\max} \leq \arccos \frac{A\omega^2}{g}. \quad (2)$$

Перепад уровней установки головной и концевой осей в любой момент времени, необходимый для инженерных расчётов:

$$h = A \operatorname{tg} \beta \sin \omega t. \quad (3)$$

Основываясь на ранее проведённых исследованиях [1, 2] возможно определить закономерность абсолютного ускорения груза на ИИРК принимая во внимание выражения (1):

$$a_{zp} = -\frac{m_p}{m_{\text{ГР}} + m_p} g \sin \omega t - \frac{m_{\text{ГР}}}{m_{\text{ГР}} + m_p} g \delta_{\text{ГР}}, \quad (4)$$

где m_p – масса вращающихся частей роликов;

$m_{\text{ГР}}$ – масса груза;

$\delta_{\text{ГР}}$ – приведенный коэффициент сопротивления движению груза по роликам в соответствии с [2, 4, 5-8].

Интегрируя выражение (4) с определением постоянной интегрирования при начальных условиях, когда $t=0$, начальная скорость $\mathcal{G}_{zp}=A\omega$, возможно найти закономерность абсолютной скорости перемещения груза по роликам ИИРК:

$$\mathcal{G}_{zp} = A\omega - \frac{m_p}{m_{\text{ГР}} + m_p} \cdot \frac{g}{\omega} (1 - \cos \omega t) - \frac{m_{\text{ГР}}}{m_{\text{ГР}} + m_p} g \delta_{\text{ГР}} t. \quad (5)$$

Интегрируя выражение (5) с нахождением постоянной интегрирования при начальных условиях, когда $t=0$, начальное перемещение $x_{zp}=0$, определим закономерность абсолютного перемещения груза по роликам ИИРК:

$$x_{zp} = A\omega t + \frac{m_p}{m_{\text{ГР}} + m_p} \cdot \frac{g}{\omega} \sin \omega t \left(\frac{1}{\omega} - t \right) - \frac{m_{\text{ГР}}}{m_{\text{ГР}} + m_p} g \delta_{\text{ГР}} \frac{t^2}{2}. \quad (6)$$

Графическая интерпретация полученных закономерностей (4-6) представлена на рисунках 2-4. Исходными данными для построения закономерностей являлись: амплитуда колебаний рамы ИИРК $A=0,02$ м; угловая скорость привода $\omega=22$ с⁻¹; масса вращающихся частей роликов $m_p=2$ кг; масса груза $m_{\text{ГР}}=20$ кг; приведенный коэффициент сопротивления движению груза по роликам $\delta_{\text{ГР}}=0,05$.

Далее необходимо теоретически определить время свободного перемещения груза относительно рамы ИИРК и совместного движения груза с рамой, входящее в полный цикл колебания рамы $T=2\pi/\omega$; среднюю абсолютную скорость перемещения груза и абсолютное перемещение; определить рациональные параметры движения рамы ИИРК, обеспечивающие перемещение груза без скольжения груза относительно роликов и недопускающие «срыв» груза с роликового полотна, являющееся одним из ограничительных условий работы ИИРК.

Заключение

Полагаем, что по сравнению с ИИРК, расположенном в горизонтальной плоскости [9, 4], при его траповой установке могут быть расширены границы варьирования рациональными характеристиками качания рамы (по предварительным расчетам до 20%), а также ряд дополнительных технологических возможностей при выполнении производственных операций, например, при разгрузке транспортных машин, стеллажей [10] и т.д.

В соответствии с поставленными задачами исследования далее возможно будет определить динамические характеристики ИИРК и разработать рекомендации для инженерного проектирования.

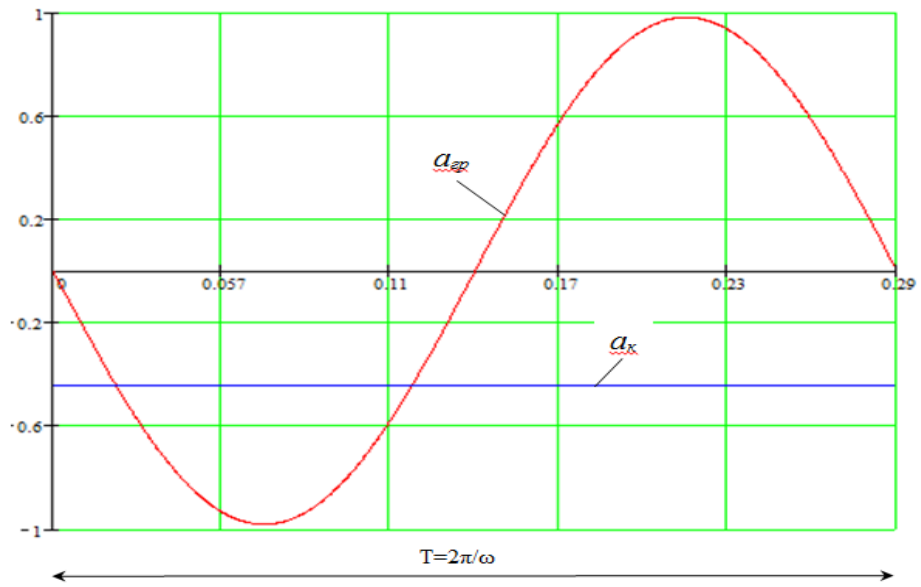


Рис. 2. Закономерности абсолютного ускорения рамы конвейера и груза

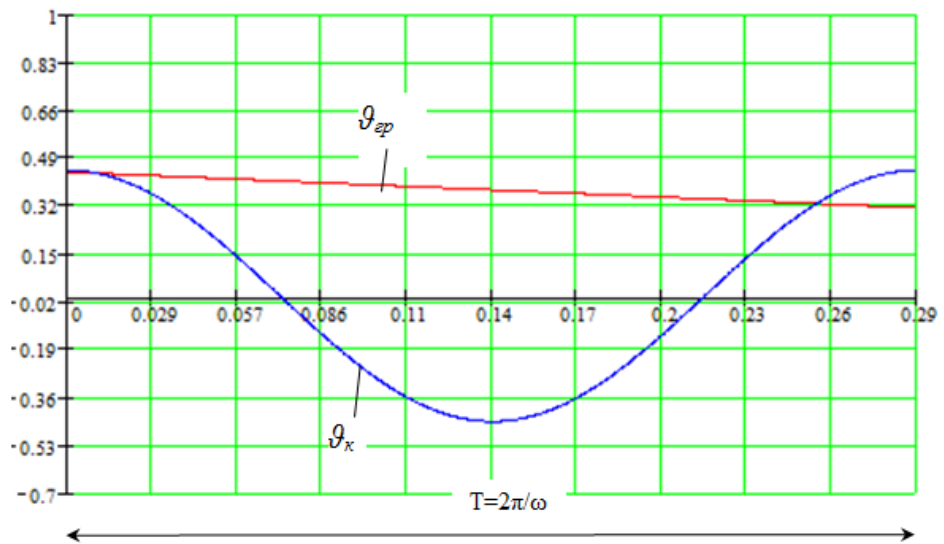


Рис. 3. Закономерности абсолютной скорости рамы конвейера и груза

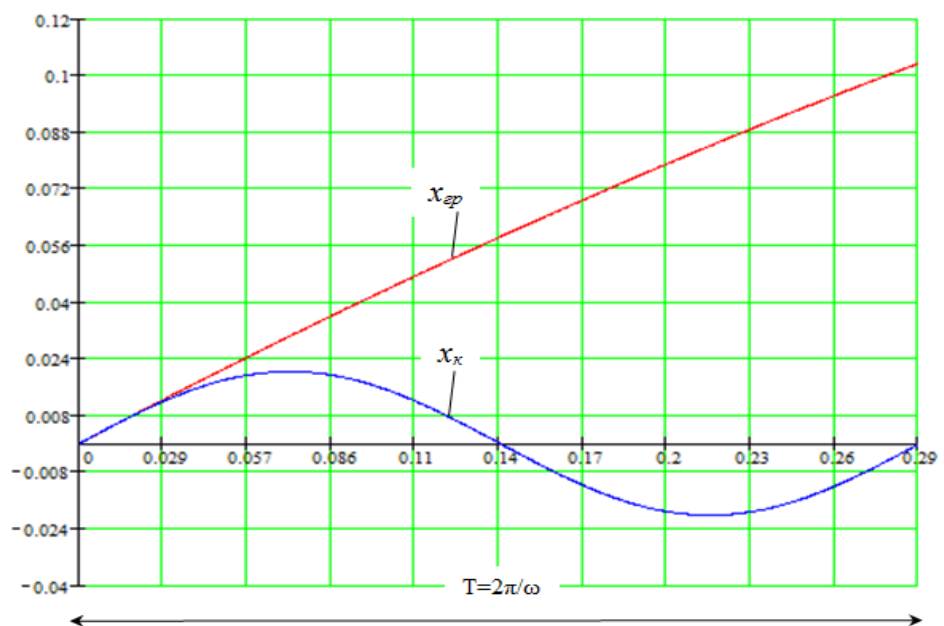


Рис. 4. Закономерности абсолютного перемещения рамы конвейера и груза

Список литературы

1. Лускань О.А. Условия транспортирования штучных грузов на импульсном инерционном роликовом конвейере с траповым расположением концевой опоры. Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. 2025 №4: С. 19 - 26.
2. Лускань О.А. Теоретические основы перемещения грузов импульсными конвейерами: монография / О.А. Лускань. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2010. – 99 с. ISBN 978-5-7433-2345-6.
3. Лускань О.А. Инженерный расчет импульсных конвейеров: монография / О.А. Лускань. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2011. – 80 с. ISBN 978-5-7433-2388-3.
4. Хлопков В.П., Носко А.Л. Экспериментальная оценка коэффициента трения качения деревянных поддонов различной влажности по металлическим роликам // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов. XXI Международная научно-практическая конференция. В 3 ч. Чита, 2021. С. 205-212.
5. Хлопков В.П., Алексеев В.И. Обзор методик расчета сопротивлений перемещению деревянных паллет по приводному роликовому конвейеру // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы. Сборник докладов 27-й Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 95-летию подготовки инженеров-механиков МИСИ-МГСУ. Москва, 2023. С. 292-295.
6. Ивановский К.Е., Раковщик А.Н., Цоглин А.Н. Роликовые и дисковые конвейеры и устройства. М. Машиностроение, 1973 – 216 с.
7. Ромакин Н.Е. Машины непрерывного транспорта: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н.Е.Ромакин. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 432 с.
8. Теоретические основы перемещения штучных грузов. Ивановский К.Е. М.: Машиностроение, 1969 – 166 с.
9. Патент №2406674 РФ. Инерционный роликовый конвейер. / О.А.Лускань, Н.Е.Ромакин, В.И.Кутейкин. Бюл. №35, 2010.
10. Алексеев В.И., Носко А.Л., Сафронов Е.В. Обзор и анализ конструкций гравитационных стеллажей для паллет // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. 2025. №1. С. 43-54.

АВТОР

Лускань Олег Александрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Атомная энергетика» БИТИ НИЯУ МИФИ (413840, г. Балаково, ул. Чапаева, 140), oa-luskan@yandex.ru; SPIN-код [9316-8929](https://orcid.org/0009-0001-9316-8929).

Machines & Plants Design & Exploiting

Electronic journal
International Public Organization
“Integration strategy”
<http://maplants-journal.ru>

Link to the article:
//Machines and Plants:Design and Exploiting.
2026. № 1. pp. 14 – 20

DOI:

Received: 12.05.2026
Accepted for publication: 26.05.2026

© International Public Organization “Integration strategy”

Kinematic analysis of the movement of piece loads on a pulsed inertial roller conveyor with a movable trapezoidal end support

Oleg A. Luskan

oa-luskan@yandex.ru

BITI National Research Nuclear University
MEPhI, Russian Federation

The article is a continuation of the research started in [1]. The solution of the issues of establishing kinematic patterns of movement of piece loads on a pulsed inertial roller conveyor (IIRC) with a movable trapezoidal arrangement of the end support (axis), which has the ability to move along an inclined plane with access to the level of the head support (axis) of the frame, is presented. Compared with a horizontally mounted conveyor operating as an independent unit or as part of technological machines for various purposes, the proposed design solution will expand the boundaries of variation in conveyor parameters by 20% along with increased productivity and will enable it to perform additional operations related to loading and unloading of other transport and technological machines and warehouse equipment.

Keywords: cargo, roller, conveyor, kinematics of cargo movement, movable inclined ramp, inertia, gravity.

References

1. Luskan O.A. Conditions of transportation of unit loads on a pulsed inertial roller conveyor with a trapezoidal end support. *Machines and installations: design, development and operation*. 2025 No.4: pp. 19-26.
2. Luskan O.A. Theoretical foundations of moving goods by pulsed conveyors: a monograph / O.A. Luskan. – Saratov: Sarat. State Technical University. Univ., 2010. 99 p. ISBN 978-5-7433-2345-6.
3. Luskan O.A. Engineering calculation of pulse conveyors: a monograph / O.A. Luskan. – Saratov: Sarat. State Technical University. Univ., 2011. – 80 p. ISBN 978-5-7433-2388-3.
4. Khlopkov V.P., Nosko A.L. Experimental evaluation of the coefficient of rolling friction of wooden pallets of various humidity on metal rollers // *Kulaginsky readings: technique and technology of production processes*. XXI International Scientific and Practical Conference. At 3 a.m. Chita, 2021. pp. 205-212.
5. Khlopkov V.P., Alekseev V.I. Review of methods for calculating the resistance to movement of wooden pallets along a drive roller conveyor // *Lifting and transport, construction, road, track, reclamation machines and robotic complexes*. Collection of reports of the 27th Moscow International Interuniversity Scientific and Technical Conference of Students, Undergraduates, postgraduates and Young scientists dedicated to the 95th anniversary of the training of mechanical engineers at MISI-MGSU. Moscow, 2023. pp. 292-295.

6. Ivanovskiy K.E., Rakovshchik A.N., Tsoglin A.N. Roller and disc conveyors and devices. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1973, 216 p.
 7. Romakin N.E. Continuous transport machines: textbook. student's handbook. higher. studies. institutions / N.E.Romakin. – M.: Publishing center "Academy", 2008. – 432 p.
 8. Theoretical foundations of the movement of unit loads. Ivanovsky K.E. M.: Mechanical Engineering, 1969 – 166 p .
 9. Patent No.2406674 of the Russian Federation. Inertial roller conveyor. / O.A.Luskan, N.E.Romakin, V.I.Kuteikin. Byul. №35, 2010.
 10. Alekseev V.I., Nosko A.L., Safronov E.V. Review and analysis of structures of gravity racks for pallets // Machines and installations: design, development and operation. 2025. No. 1. pp. 43-54.
-

AUTHOR

Oleg A. Luskan, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Atomic Energy at the BITI National Research Nuclear University MEPhI (140 Chapaev St., Balakovo, 413840), oa-luskan@yandex.ru ; SPIN code 9316-8929.
