

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. 2025. № 4. С. 19 – 26.

DOI:

Представлена в редакцию: 01.12.2025

Принята к публикации: 06.12.2025

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 621.867

Условия транспортирования 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)

В статье представлено решение вопросов определения необходимых и достаточных условий транспортирования штучных грузов на импульсном инерционном роликовом конвейере, концевая опора которого имеет возможность перемещения по наклонной плоскости. По сравнению с горизонтально установленным конвейером, работающим в качестве самостоятельной единицы или в составе технологических машин разных отраслевых производств, 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, условия движения, угол наклона, инерция, сила тяжести.

Введение

Одним из показателей эффективности работы конвейера может являться повышение его производительности за счёт увеличения скорости движения транспортируемого груза [1-5]. Известные исследования импульсных инерционных роликовых конвейеров (ИИРК) [6, 7], проводимых ранее, справедливы для качания рамы конвейеров только для абсолютно горизонтальной плоскости. Однако при эксплуатации этого семейства конвейеров было установлено, что при определённой конструктивной модернизации возможно увеличение скорости движения груза.

Таковыми изменениями, помимо тех конструктивных особенностей ИИРК, которые детально описаны и подробно изложены в опубликованных результатах исследований [6, 8], может являться качание рамы как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях, посредством установки концевой опоры качающейся рамы на наклонную плоскость, с углом наклона вниз в сторону транспортирования, т.е. расположением качающейся рамы по типу «трапа». Однако нужно понимать, что трап будет подвижным и совершающими движения рамы, помимо возвратно-поступательного, будут переходящими из горизонтального положения в наклонное и обратно.

Это конструктивное решение позволит дополнительно придать импульс к увеличению скорости движения груза относительно рамы конвейера за счёт его силы тяжести. При этом важно определить параметры качания рамы, обеспечивающие движение штучного груза без подбрасывания груза и одновременно установить при каких углах поворота кривошипа достигается максимальное значение средней скорости движения груза по роликовому настилу при прямом и обратном ходах качающейся рамы.

Важными основными задачами являются установление факта, при каких фазах вращательного движения кривошипа наиболее целесообразно перемещать качающуюся раму «условно вниз», например, при прямом ходе рамы или «условно вверх», при обратном ходе рамы, сократив время её разгона с одновременным увеличением скорости рамы ИИРК; увеличение скорости движения груза и обеспечение работоспособности конвейера, описанных в работах[6]. Перечисленные задачи будут частью результатов, которые необходимо подтвердить теоретическими и экспериментальными исследованиями.

Определение условий движения штучного груза

На первоначальном этапе необходимо выявить достаточные и критические условия, при которых возможно движение штучного груза с плоской опорной поверхностью по роликоопорам, оснащёнными механизмами свободного хода (МСХ) в соответствие с траповой установкой рамы ИИРК в пространстве (рис. 1) при разных положениях кривошипа, полагая, что головная опора конвейера будет совершать возвратно-поступательные перемещения только в горизонтальной плоскости, а концевая – по наклонной плоскости, при этом в крайнем левом положении кривошипа, соответствующему 1800 рама ИИРК будет находиться в горизонтальном положении, а в крайнем правом (00) – в максимально наклонном. В положениях кривошипа 900 и 2700 рама ИИРК будет занимать одинаковые серединные значения по углу наклона.

Важно заметить, что в семействе ИИРК переменные кинематические характеристики качающейся раме обеспечиваются гармоническим приводом, 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.

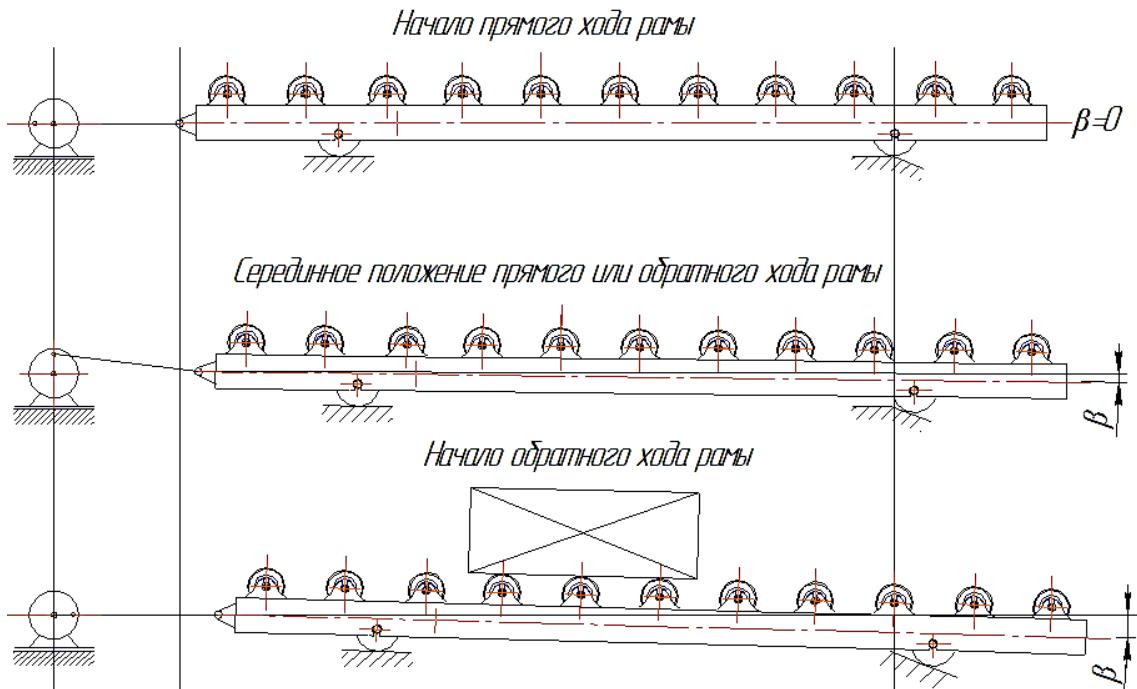


Рис. 1. Схемы расположения ИИРК в разных положениях кривошипа

Одним из ограничительных условий совместного движения рамы с грузом будет являться возникновение силы трения между опорной поверхностью груза и неподвижными (за счёт заторможенными МСХ) роликами, что справедливо для переходных процессов, например, запуска конвейера, с установленными на роликовом полотне грузами. Однако при установившемся режиме работы конвейера, необходимо учесть составляющую силы тяжести груза, которая будет положительно влиять на расширение граничных технических характеристик ИИРК, что показано на рисунке 2 и отражено выражениями (1-4).

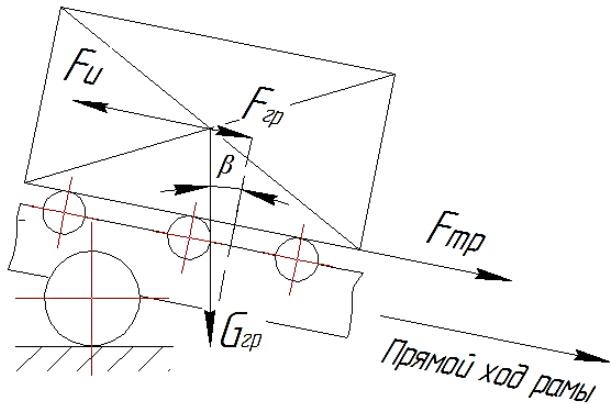


Рис. 2. Расчёчная схема определения условия движения груза при прямом ходе рамы установившегося режима работы конвейера

$$F_u - F_{2p} \leq F_{mp}, \quad (1)$$

где F_u – сила инерции груза;

F_{2p} – составляющая силы тяжести;

F_{mp} – сила трения груза о ролики;

$$F_u = m_{2p} a_{2p}^{отн}, \quad (2)$$

где m_{2p} – масса груза;

$a_{2p}^{отн}$ – ускорение груза относительно рамы;

$$F_{2p} = m_{2p} g \sin \beta, \quad (3)$$

β – угол наклона рамы конвейера,

$$F_{mp} = m_{2p} g f, \quad (4)$$

где f – коэффициент трения.

Ускорение движения груза при прямом ходе рамы установившегося режима работы конвейера будет ограничиваться условием отсутствия скольжения груза относительно роликов:

$$a_{2p}^{отн} \leq g(f + \sin \beta). \quad (5)$$

После корректировки закономерностей движения груза на конвейере, изложенных в работах [6] согласно выражению (5) определится одна из границ выбора режима качания рамы ИИРК.

При достижении рамой ИИРК абсолютной скорости меньшей абсолютной скорости груза, сила инерции груза поменяет направление на противоположное (рис. 3), и груз, преодолевая сопротивление движению по роликам, начнет перемещаться со скоростью относительно рамы в сторону транспортирования, при этом составляющая силы тяжести будет способствовать её увеличению.

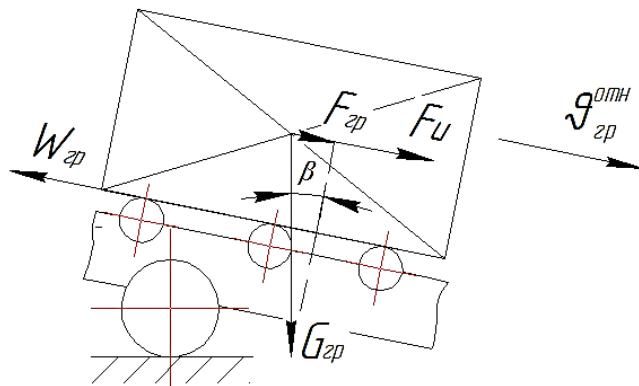


Рис. 3. Расчёчная схема определения условия относительного движения груза при прямом и обратном ходах рамы ИИРК

В соответствии с рис. 3 вторым условием работоспособности ИИРК с траповой установкой является относительное движение груза как при прямом, так и при обратном ходах рамы конвейера, описываемое выражениями (6-8):

$$F_u + F_{zp} > W_{zp}, \quad (6)$$

где W_{zp} – сила сопротивления свободного движения груза по роликам;

$$W_{zp} = m_{zp} g \delta_{zp}, \quad (7)$$

где δ_{zp} – приведенный коэффициент сопротивления движению груза по роликам, подробно определяется в работах [6, 9, 10].

Т.е. выражение (6) запишется в виде:

$$a_{zp}^{omn} > g(\delta_{zp} - \sin \beta). \quad (8)$$

Таким образом, выражения 5 и 8 представляют собой граничные условия, достаточные для обеспечения работоспособности ИИРК. По сравнению с ИИРК, рама которого располагается в горизонтальной плоскости, ИИРК с траповой установкой позволяет расширить границы выбора рациональных параметров качания рамы.

Однако, для исключения подбрасывания груза относительно роликов и, тем самым, снижения динамических нагрузок на основные элементы ИИРК, необходимо оговорить максимальный критический угол установки концевой опоры.

Максимальный критический угол β_{max} можно определить, полагая, что отрыв движущегося груза от роликов возможен, когда его сила инерции будет больше силы тяжести и направлена параллельно горизонтальной оси (рис. 4), поэтому для исключения этого события необходимо выполнение ещё одного условия (9).

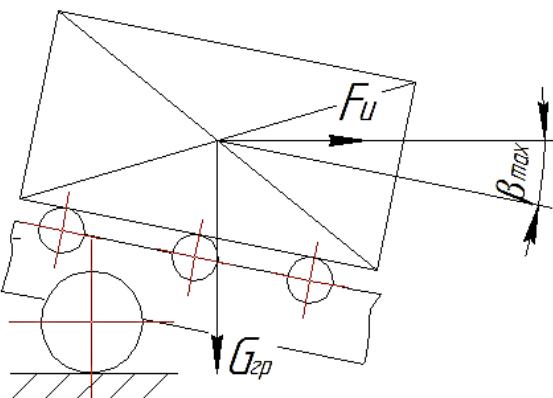


Рис. 4. Схема к определению максимального критического угла наклона конвейера

$$\frac{F_u}{\cos \beta_{\max}} \leq G_{zp}, \quad (9)$$

где G_{zp} – сила тяжести груза.

Отсюда значение максимального критического угла установки концевой опоры конвейера определится как

$$\beta_{\max} \leq \arccos \frac{a_{zp}^{отн}}{g}. \quad (10)$$

При невыполнении условия (10) будет наблюдаться подброс груза и возможен его срыв с роликового полотна.

Заключение

По сравнению с ИИРК, работающего в горизонтальной плоскости, при его траповой установке расширяются границы выбора рациональных параметров качания рамы (по предварительным расчетам до 20%), дополнительные технологические возможности при выполнении смежных операций, например, по загрузке других транспортирующих машин, стеллажей [11] и т.д.

Дальнейшие исследования позволят определить кинематические закономерности движения груза, динамические характеристики работающего конвейера и разработать детальные рекомендации по инженерному расчету.

Список литературы

1. Зенков Р.Л. и др. Машины непрерывного транспорта: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Подъемно-транспортные машины и оборудование»/ Р.Л. Зенков, И.И. Ивашков, Л.Н. Колобов, – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.
2. Фомин Н.А., Носко А.Л., Сафонов Е.В., Шарифуллин И.А. Накопительные роликовые конвейеры. Обзор конструкций и особенности работы // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2024. № 12. С. 47-57.
3. Ивановский К.Е., Раковщик А.Н., Цоглин А.Н. Роликовые и дисковые конвейеры и устройства. М. Машиностроение, 1973 – 216 с.
4. Ромакин Н.Е. Машины непрерывного транспорта: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н.Е.Ромакин. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 432 с.
5. Теоретические основы перемещения штучных грузов. Ивановский К.Е. М.: Машиностроение, 1969 – 166 с.
6. 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.
7. 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.
8. Патент №2406674 РФ. Инерционный роликовый конвейер. / О.А.Лускань, Н.Е.Ромакин, В.И.Кутейкин. Бюл. №35, 2010.
9. 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.

10. Хлопков В.П., Алексеев В.И. Обзор методик расчета сопротивлений перемещению деревянных паллет по приводному роликовому конвейеру // Подъёмно-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.
11. Алексеев В.И., Носко А.Л., Сафонов 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](#).

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.
2025. № 4. pp. 19 – 26.

DOI:

Received: 01.12.2025
Accepted for publication: 06.12.2025

© International Public Organization “Integration strategy”

Conditions for transportation of bulk cargoes on a pulsed inertial roller conveyor with a trapezoidal end support

Oleg A. Luskan

oa-luskan@yandex.ru

BITI National Research Nuclear University
MEPhI, Russian Federation

The article presents a solution to the issues of determining the necessary and sufficient conditions for transporting bulk goods on a pulsed inertial roller conveyor, the end support of which has the ability to move along an inclined plane. Compared with a horizontally mounted conveyor operating as an independent unit or as part of technological machines of different industry productions, 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: load, roller, conveyor, driving conditions, tilt angle, inertia, gravity.

References

1. Zenkov R.L. and others. Continuous transport machines: A textbook for university students studying in the specialty "Lifting and transport machines and equipment" / R.L. Zenkov, I.I. Ivashkov, L.N. Kolobov, 2nd ed., revised. and add. – M.: Mechanical Engineering, 1987. – 432 p.
2. Fomin N.A., Nosko A.L., Safronov E.V., Sharifullin I.A. Accumulative roller conveyors. Overview of structures and work features // Transport: science, technology, management. Scientific information collection. 2024. No. 12. pp. 47-57.
3. Ivanovsky K.E., Rakovshchik A.N., Tsoglin A.N. Roller and disc conveyors and devices. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1973– 216 p.
4. Romakin N.E. Continuous transport machines: textbook. student's handbook. higher. studies. institutions / N.E.Romakin. – M.: Publishing center "Academy", 2008. – 432 p.
5. Theoretical foundations of the movement of unit loads. Ivanovsky K.E. M.: Mechanical Engineering, 1969 – 166 p.
6. 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.
7. 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.
8. Patent No.2406674 of the Russian Federation. Inertial roller conveyor. / O.A.Luskan, N.E.Romakin, V.I.Kuteikin. Byul. No. 35, 2010.

9. 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.
10. 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.
11. 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.
