

ОБ ИЗМЕНЕНИИ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ИНЕРЦИОННОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ ДВИЖЕНИЯ

Ю. А. Бурьян, Г. С. Русских

Омский государственный технический университет,
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

В работе исследована динамика гидравлического инерционного преобразователя движения в неконсервативной системе. Часть инерционных трубок гидравлического инерционного преобразователя движения в поршне перекрывается синхронно с изменением направления скорости поршня. Поршень цилиндра принудительно приводится в поступательное колебательное движение сервоприводом, который вместе с цилиндром установлен на подвижной платформе. Показано, что относительное перемещение поршня в цилиндре в неконсервативной системе приводит к возрастанию кинетической энергии, что может привести к перемещению подвижной платформы как при отсутствии сил сопротивления, так и при малом сопротивлении, пропорциональном скорости платформы.

Ключевые слова: гидравлический инерционный преобразователь движения, привод, клапаны, механическая система, количество движения, теорема об изменении количества движения.

Введение

Создание устройств безопорного движения, несмотря на достаточно большое количество работ в этом направлении [1–11] и существующую критику, является нерешённой в настоящее время как в теоретическом, так и в практическом плане проблемой. Предлагаемый в данной работе подход для создания движителя, который может осуществлять абсолютное перемещение подвижной платформы только за счёт относительных перемещений элементов устройства при наличии внешнего источника энергии без потери рабочего тела представляет несомненный интерес с теоретической точки зрения.

Реализация такого устройства, например, на космическом аппарате позволит осуществлять его перемещение без расхода рабочего тела в отличие от применяемых различного типа реактивных двигателей.

Постановка задачи

Будем полагать, что на платформе с массой m_0 , абсолютное перемещение которой предполагается осуществить, располагается привод, обеспечивающий симметричные возвратно-поступательные перемещения инерционной массы m_1 (рис. 1).

Примем также, что идеализированный привод 3 обеспечивает под действием силы $F(t)$ прямолинейные симметричные колебания массы m_1 по заданному закону.

Для выяснения механики процесса движения системы масс m_0 и m_1 примем, что относительные скорости массы m_1 изменяются приводом, например, по закону, приведённому на рис. 2.

Примем также, что участки $0 - t_1$, $t_1 - t_{i+1}$ ($i = 1...5$) равны между собой.

Согласно теореме об изменении количества движения Q механической системы [12],

$$\frac{d\bar{Q}}{dt} = \sum \bar{F}_i^e.$$

Действие внешней силы может быть представлено в виде изменения массы системы при равномерном движении.

Принимая, что при $t = 0$ $x_1 = \dot{x}_1 = x_0 = \dot{x}_0 = 0$ можно записать

$$Q = +m_0\dot{x}_0 + m_1(\dot{x}_1 + \dot{x}_0) = 0, \quad (1)$$

будем полагать, что масса m_1 изменяется синхронно с изменением направления скорости \dot{x}_1 .

На участке движения массы m_1 с положительной скоростью величина коэффициента изменения массы \dot{x}_0^+ будет равна

$$\dot{x}_0^+ = -\frac{m_1}{m_0 + m_1},$$

а на участке с отрицательной скоростью масса m_1 будет изменена на большее значение m_2 и коэффициент изменения массы \dot{x}_0^- будет иметь значение

$$\dot{x}_0^- = -\frac{m_2}{m_0 + m_2}.$$

График абсолютной скорости \dot{x}_0 при таком изменении массы m_1 представлен на рис. 3.

Из рис. 3 следует, что на каждом цикле колебаний массы m_1 при её изменении на m_2 при смене знака \dot{x}_1 возникает постоянная составляющая абсолютной скорости \dot{x}_0 , равная

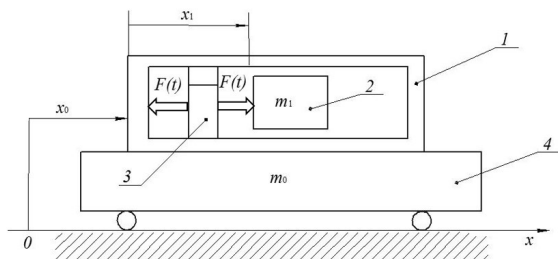


Рис. 1. Принципиальная схема расположения масс m_0 и m_1 : 1 — корпус; 2 — масса m_1 ; 3 — привод; 4 — масса m_0 (в массу m_0 входит масса корпуса 1 и привода 3)
 Fig. 1. Schematic diagram of the m_0 and m_1 mass arrangement: 1 — corps; 2 — m_1 mass; 3 — drive; 4 — m_0 mass (includes the mass of 1 corps and 3 drive)

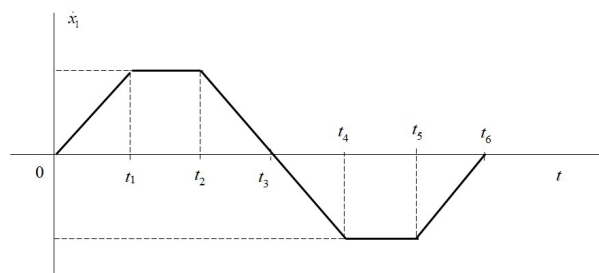


Рис. 2. График зависимости $\dot{x}_1(t)$ от t
 Fig. 2. Dependency graph of $\dot{x}_1(t)$ from t

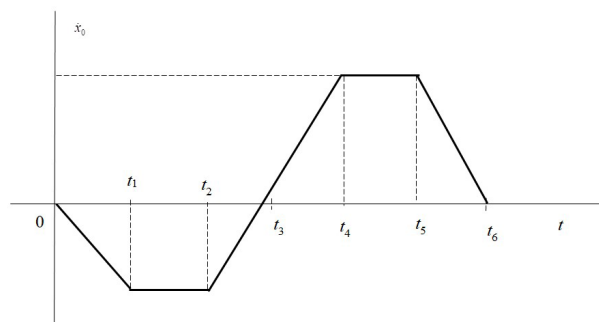


Рис. 3. График зависимости $\dot{x}_0(t)$ от t
 Fig. 3. Dependency graph of $\dot{x}_0(t)$ from t

$$\Delta \dot{x}_0 = \frac{2}{3} \left[\frac{m_2}{m_0 + m_2} - \frac{m_1}{m_0 + m_1} \right] \dot{x}_1 \quad (2)$$

Таким образом, перемещение массы m_1 при отсутствии сил сопротивления будет происходить по координате x_0 постоянной скоростью $\Delta \dot{x}_0$, на которую накладываются гармонические колебания.

Теория

Устройство, изменяющее массу m_1 при изменении направления относительной скорости \dot{x}_1 может быть реализовано в гидравлическом инерционном преобразователе движения (ГИПД), [13] в котором часть инерционных трубок перекрывается клапанами по закону $\text{sign } \dot{x}_1$.

Принципиальная схема такого устройства показана на рис. 4.

Подвижная масса m_1 представляет собой поршень со штоком и с осевыми отверстиями (инер-

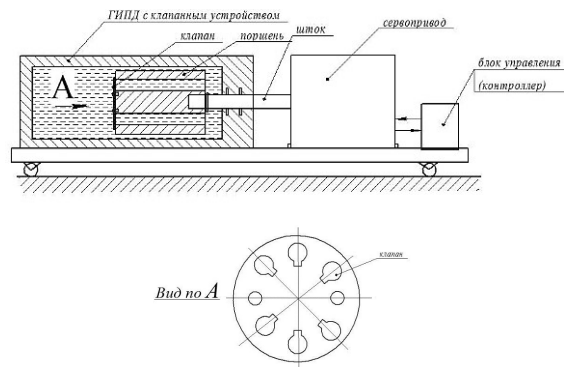


Рис. 4. Принципиальная схема
 Fig. 4. Circuit diagram

ционными трубками). Сервопривод в соответствии с системой управления приводит поршень со штоком и жидкостью в инерционных трубках в возвратно-поступательное движение. Жидкость в инерционных трубках будет иметь скорость много большую, чем скорость поршня, при этом приведённая масса, возникающая за счёт движения жидкости в инерционных трубках, будет на 2–3 порядка больше массы жидкости $m_{ж}$ в покое.

Инерционная составляющая в ГИПД может быть определена согласно уравнениям Лагранжа 2-го рода и выражению для кинетической энергии T подвижных тел в ГИПД [13].

Кинетическая энергия имеет вид:

$$T = \frac{m_{п} \cdot \dot{x}_1^2}{2} + \frac{m_{ж} \cdot \dot{x}_{ж}^2}{2}, \quad (3)$$

где $m_{п}$ — масса подвижной части; \dot{x}_1 — скорость поршня; $\dot{x}_{ж}$ — скорость жидкости в инерционных трубках.

Если учесть, что, вследствие неразрывности потока,

$$\dot{x}_{ж} = \frac{A - S \cdot n}{S \cdot n},$$

где A — площадь сечения поршня; S — площадь сечения инерционной трубки; n — количество инерционных трубок, то для T получим:

$$T = \left[\frac{m_{п}}{2} + \frac{m_{ж}}{2} \cdot \left(\frac{A - S \cdot n}{S \cdot n} \right)^2 \right] \cdot \dot{x}_1^2 \quad (4)$$

Инерционная составляющая в уравнениях Лагранжа 2-го рода определяется слагаемым:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1} \right) = (m_{п} + m_{пр}) \cdot \ddot{x}_1, \quad (5)$$

где

$$m_{пр} = m_{ж} \left(\frac{A - S \cdot n}{S \cdot n} \right)^2 \quad (6)$$

Если для примера принять, что диаметр d и длина l инерционных трубок: $d = 10$ мм; $l = 100$ мм, диаметр поршня $D = 100$ мм, жидкость — вода, то при $n = 2$, $m_{пр} = 19,6$ кг.

При колебаниях поршня с инерционными трубками, длина которых много больше диаметра, в жидкости при ламинарном течении возникает со-

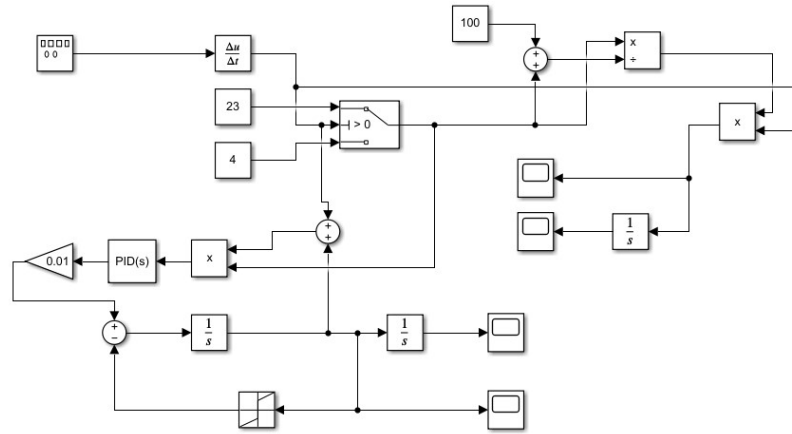


Рис. 5. Модель в программе Simulink
 Fig. 5. Simulink model

противление b , пропорциональное скорости жидкости в трубке, или при приведении к скорости поршня сопротивление $b_{пр}$ будет иметь вид:

$$b_{пр} = \frac{8\mu\pi \cdot l}{n} \left(\frac{A - S \cdot n}{S} \right)^2, \quad (7)$$

где μ — коэффициент динамической вязкости жидкости.

Кроме того, при возвратно-поступательном движении поршня возникает сопротивление, пропорциональное квадрату скорости из-за внезапного сужения и расширения потока.

Согласно формуле Вейсбаха,

$$F_{сопр} = \frac{A - S}{2} \rho \xi \cdot \dot{x}_1^2, \quad (8)$$

где ρ — плотность жидкости;

$$\xi = \left(1 - \frac{S}{A - S} \right)^2 + 0,5 \left(1 - \frac{S}{A - S} \right).$$

$r = 5 \cdot 10^{-3}$ м, $l = 10^{-1}$ м, $n = 2$, $R_{порш} = 5 \cdot 10^{-2}$ м, $m_{пр} = 19,6$ кг, $b_{пр} = 25$ Нс/м; $b_1 = 5,75$ Нм²/с².

Когда открыты все клапаны, т.е. $n = 8$, $m_{пр}$, согласно выражению (6), будем иметь величину $m_{пр} = 1,23$ кг.

Необходимо отметить, что клапаны могут быть самодействующими, открывающимися и закрывающимися потоком жидкости, так, как и электромагнитными, управляемыми по закону $\text{sign } \dot{x}_1$. Первоначально будем полагать, что клапаны открываются и закрываются мгновенно.

Пусть сервопривод создаёт колебательное движение поршню по гармоническому закону $x_1 = x_1^0 \sin \omega t$ и $\dot{x}_1 = x_1^0 \omega \cos \omega t$ при этом m_1 является функцией от направления \dot{x}_1

$$m_1(\dot{x}_1) = \begin{cases} m_1^{\min} & \text{при } \dot{x}_1 > 0 \\ m_1^{\max} & \text{при } \dot{x}_1 < 0 \end{cases}.$$

Если при абсолютном перемещении x_0 имеется сопротивление $F_{сопр}$, то вместо выражения (1) можно записать

$$\frac{dQ_x}{dt} = F_{сопр}. \quad (9)$$

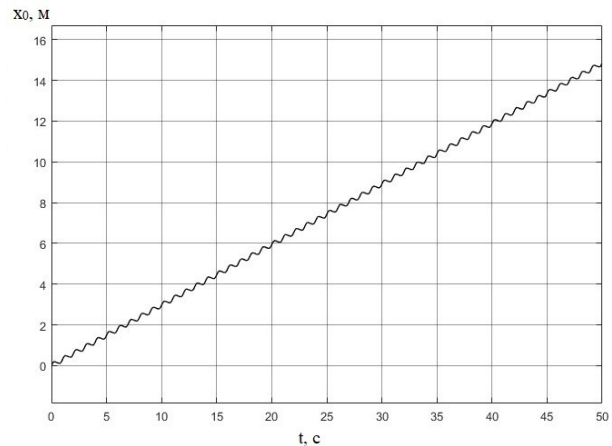


Рис. 6. Зависимость x_0 без учёта сил сопротивления
 Fig. 6. Dependence graph of x_0 without considering the resistance forces

Будем полагать, что $F_{сопр} = \alpha \dot{x}_0$, где α — коэффициент вязкого трения.

Тогда выражение (3) примет вид:

$$\frac{d}{dt} [m_0 \dot{x}_0 + m_1(\dot{x}_1) \cdot (\dot{x}_1 + \dot{x}_0)] = -\alpha \dot{x}_0. \quad (10)$$

Уравнение (10) можно записать в виде:

$$\ddot{x}_0 + \frac{\alpha}{m_0} \dot{x}_0 = \frac{1}{m_0} \frac{d}{dt} [m_1(\dot{x}_1) \cdot (\dot{x}_1 + \dot{x}_0)] \quad (11)$$

Дифференциальное уравнение с переменными коэффициентами решалось численным методом в программе Matlab/Simulink.

Модель уравнения (1) в программе Simulink показана на рис. 5.

При моделировании было принято, что $m_0 = 100$ кг, $\omega = 2$ Гц, $x_0 = 2$ см, $\alpha = 0,1$ н с/м. Приведённая масса жидкости и масса поршня с штоком лежит в диапазоне

$$m_1^{\min} = 4 \text{ кг}; \quad m_1^{\max} = 23 \text{ кг}.$$

На рис. 6 приведена зависимость x_0 без учёта сил сопротивления.

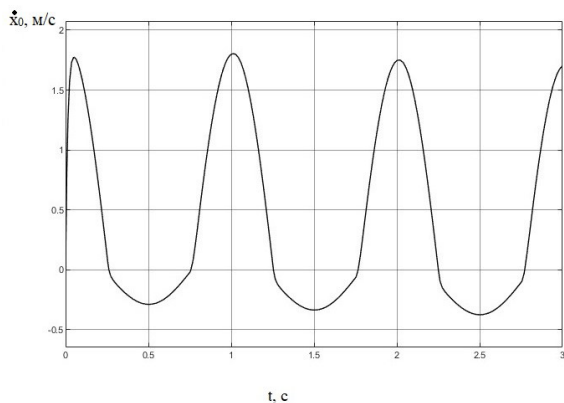


Рис. 7. Зависимость $\dot{x}_0(t)$
Fig. 7. Dependence graph of $\dot{x}_0(t)$

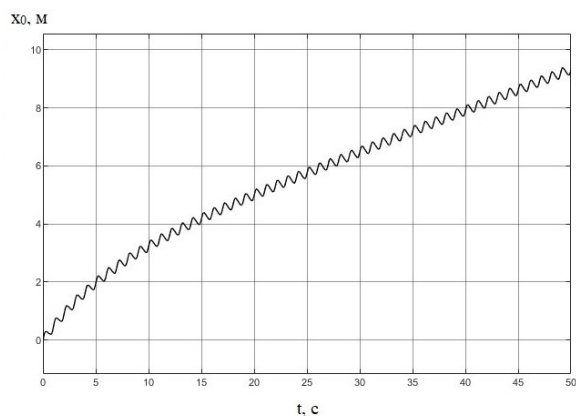


Рис. 8. Зависимость $x_0(t)$
Fig. 8. Dependence graph of $x_0(t)$

На рис. 7 и рис. 8 приведены зависимости $\dot{x}_0(t)$ и $x_0(t)$ при наличии сопротивления пропорционального \dot{x}_0 и сухого трения.

Заключение

Теоретическое исследование динамики системы 2-х тел массы m_1 и m_0 при придании телу m_{01} прямолинейных симметричных относительных колебаний по гармоническому закону с одновременным изменением величины массы m_1 по зависимости

$$m_1(\dot{x}_1) = \left. \begin{array}{l} m_1^{\min} \text{ при } \dot{x}_1 > 0 \\ m_1^{\max} \text{ при } \dot{x}_1 < 0 \end{array} \right\}$$

показало, что в этом случае в соответствии с теоремой об изменении количества движения механической системы тело с массой m_0 будет совершать абсолютное перемещение с постоянной скоростью, на которое накладываются малые движения с частотой относительных колебаний тела m_1 .

Устройство, реализованное на принципах, изложенных в настоящей работе и в [11], может быть использовано, например, в спутниках на высотах 200 км, для которых из-за слабого сопротивления воздуха требуется частая коррекция высоты.

Несмотря на существующую критику, способ безопорного движения рядом исследователей считается перспективным [14–16], учитывая, что в данном случае не происходит расхода рабочего тела, как при ракетном способе коррекции.

Показано также, что использование в качестве устройства, реализующего зависимость $m_1(\dot{x}_1)$, гидравлического инерционного преобразователя движения, обеспечивает абсолютное перемещение тела m_0 также при наличии сопротивления в виде вязкого трения.

Предложенная математическая модель соответствует закону сохранения энергии. Поступающая из внешнего источника энергия в предложенной системе преобразуется в кинетическую энергию движения центра масс. С целью подтверждения результатов моделирования предполагается создание и испытание действующего макета движителя на предлагаемом принципе.

Список источников

1. Савельев А. В. Особенности патентования изобретений в области безопорного и квазибезопорного движения // Журнал формирующихся направлений науки. 2013. Т. 1, № 3. С. 72–88.
2. Толчин В. Н. Инерцоид, силы инерции как источник движения. Пермь: Пермские книжное изд-во, 1977. 162 с.
3. Шипов Г. И. Механика ориентируемой точки и общий принцип инерции // Известия вузов. Физика. 1983. № 3. С. 74.
4. Шипов Г. И. Теория физического вакуума. Москва: Наука, 1997. 340 с.
5. Жуковицкий Е. М. [и др.]. К теории инерцоида // Ученые записки Пермского государственного университета. Пермь, 1971. С. 89–98.
6. Шипов Г. И., Сидоров А. Н. Теоретические и экспериментальные исследования реактивного движения без отбрасывания массы. URL: <https://trinitas.ru/rus/doc/0231/004a/02310000.pdf> (дата обращения: 12.03.2024).
7. Губарев А. Е. Динамика ориентируемой точки и инерция: моногр. Москва: Кирилица, 2003. С. 1–16. ISBN 5-88708-041-8. EDN: QJMCZF.
8. Жигалов В. А. Некоторые актуальные вопросы безопорного движения. URL: http://www.second-physics.ru/lib/articles/zhigalov_issues.pdf (дата обращения: 05.09.2023).
9. Астахов А. А. Безопорное поступательное движение. URL: <https://studylib.ru/doc/2211258/bezopornoe-postupatelnoe-dvizhenie.-astahov> (дата обращения: 05.09.2023).
10. Иванько Ю. В., Балабай В. И. Основы опорного и безопорного движения. URL: <https://mob.skif.biz/index.php?name=Pages&op=page&pid=120> (дата обращения: 05.09.2023).
11. Пат. 2757427 Российская Федерация, МПК F03G 3/00, B62D 57/00C2. Способ перемещения транспортного средства и устройство для его осуществления / Бурьян Ю. А., Ситников Д. В., Силков М. В. № 2019144275; заявл. 27.12.2019; опубл. 15.10.2021, Бюл. № 29.
12. Бутенин Н. В., Лунц Я. Л., Меркин Д. Р. Курс теоретической механики. В 2 т. Москва: Наука, 1985. Т. 2. 496 с.
13. Гордеев В. А., Ерофеев В. И., Синёв А. В. [и др.]. Системы виброзащиты с использованием инерционности и диссипации реологических сред. Москва: Физматлит, 2004. 176 с.
14. Закатов М. М. К теории «инерцоида» // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2011. № 3. С. 94–101. EDN: OHFVTN.
15. Копытов В. И. Новый способ создания движущей силы для перемещения и управления транспортным средством // Вестник науки Сибири. 2013. № 1 (7). С. 11–15. EDN: PVXRAD.
16. Безопорный движитель. URL: <https://patents.google.com/patent/WO2014158044A1/ru> (дата обращения: 01.12.2024).

БУРЬЯН Юрий Андреевич, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Ос-

новы теории механики и автоматического управления» Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск.

SPIN-код: 8395-0034

ORCID: 0000-0003-3682-141X

AuthorID (SCOPUS): 57194827159

ResearcherID: E-2283-2014

РУССКИХ Григорий Серафимович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Основы теории механики и автоматического управления» ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 1057-2344

ORCID: 0000-0001-5495-6997

AuthorID (SCOPUS): 57191032330

ResearcherID: L-9913-2013

Для цитирования

Бурьян Ю. А., Русских Г. С. Об изменении кинетической энергии в гидравлическом инерционном преобразователе движения // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2024. Т. 8, № 4. С. 5–11. DOI: 10.25206/2588-0373-2024-8-4-5-11.

Статья поступила в редакцию 05.11.2024 г.

© Ю. А. Бурьян, Г. С. Русских

ON THE VARIATION OF KINETIC ENERGY IN A HYDRAULIC INERTIAL MOTION CONVERTER

Yu. A. Burian, G. S. Russkikh

Omsk State Technical University,
Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

The research investigates the dynamics of a hydraulic inertial motion converter in a non-conservative system. The hydraulic inertial motion converter portion of the inertial tubes in the piston is overlapped synchronously with the change in direction of piston velocity. The cylinder piston is forced into progressive oscillating motion by a servo drive, which is mounted on a movable platform along with the cylinder.

The relative movement of the cylinder piston in a non-conservative system leads to an increase in kinetic energy, which could affect the motion of the moving platform, both in the absence of resistance forces and when the resistance is small and proportional to the platform velocity.

Keywords: hydraulic inertial motion converter, actuator, valves, mechanical system, momentum, momentum theorem.

References

1. Savelyev A. V. Osobennosti patentovaniya izobreteniy v oblasti bezopornogo i kvazibezopornogo dvizheniya [Peculiarities of patenting inventions in the field of unassisted and quasi-unassisted motion] // Zhurnal formiruyushchikhsya napravleniy nauki. *International Journal of Unconventional Science*. 2013. Vol. 1, no. 3. P. 72–88. (In Russ.).
2. Tolchin V. N. Inertsoid, sily inertsii kak istochnik dvizheniya [Inertsoid, forces of inertia as a source of motion]. Perm, 1977. 162 p. (In Russ.).
3. Shipov G. I. Mekhanika oriyentiruyemoy tochki i obshchiy printsip inertsii [Mechanics of an orientated point and the general principle of inertia] // *Izvestiya vuzov. Fizika. Izvestiya Vuzov. Physics*. 1983. No. 3. P. 74. (In Russ.).
4. Shipov G. I. Teoriya fizicheskogo vakuuma [Physical vacuum theory]. Moscow, 1997. 340 p. (In Russ.).
5. Zhukovitskiy E. M. [et al.]. K teorii inertsoida [To the theory of the inertoid] // *Uchenyye zapiski permskogo gosudarstvennogo universiteta. Scientific Notes of Perm State University*. 1971. P. 89–98. (In Russ.).
6. Shipov G. I., Sidorov A. N. Teoreticheskiye i eksperimental'nyye issledovaniya reaktivnogo dvizheniya bez otrasyvaniya massy [Theoretical and experimental research of reactive motion without mass recoil]. URL: <https://trinitas.ru/rus/doc/0231/004a/02310000.pdf> (accessed: 12.03.2024). (In Russ.).
7. Gubarev A. E. Dinamika oriyentiruyemoy tochki i inertiya [Dynamics of the orientated point and inertia]. Moscow, 2003. P. 1–16. ISBN 5-88708-041-8. EDN: QJMCZF. (In Russ.).
8. Zhigalov V. A. Nekotoryye aktual'nyye voprosy bezopornogo dvizheniya [Some current issues of unsupported motion]. URL: http://www.second-physics.ru/lib/articles/zhigalov_issues.pdf (accessed: 05.09.2023). (In Russ.).
9. Astakhov A. A. Bezopornoye postupatel'noye dvizheniye [Unsupported translatory motion]. URL: https://studylib.ru/doc/2211258/bezopornoe-postupatel._noe-dvizhenie.-astahov (accessed: 05.09.2023). (In Russ.).
10. Ivan'ko Yu. V., Balabay V. I. Osnovy opornogo i bezopornogo dvizheniya [Fundamentals of supported and unsupported motion]. URL: <https://mob.skif.biz/index.php?name=Pages&op=page&pid=120> (accessed: 05.09.2023). (In Russ.).
11. Patent 2757427 Russian Federation, IPC F03G 3/00, B62D 57/00S2. Sposob peremeshcheniya transportnogo sredstva i ustroystvo dlya yego osushchestvleniya [Method of vehicle movement and device for its implementation] / Buryan Yu. A., Sitnikov D. V., Silkov M. V. No. 2019144275. (In Russ.).
12. Butenin N. V., Lunts Ya. L., Merkin D. R. Kurs teoreticheskoy mekhaniki. V 2 t. [Theoretical Mechanics Course. In 2 Vol.]. Moscow, 1985. Vol. 2. 496 p. (In Russ.).
13. Gordeyev V. A., Yerofeyev V. I., Sinev A. V. [et al.]. Sistemy vibrozashchity s ispol'zovaniyem inertsionnosti i dissipatsii reologicheskikh sred [Vibration protection systems based on inertia and dissipation of rheological media]. Moscow, 2004. 176 p. (In Russ.).
14. Zakatov M. M. K teorii «inertsoida» [To the theory of «Inertoid»] // Nauchnyye i obrazovatel'nyye problemy grazhdanskoj zashchity. *Scientific & Educational Problems of the Civil Protection*. 2011. No. 3. P. 94–101. EDN: OHFVTN. (In Russ.).
15. Kopytov V. I. Novyy sposob sozdaniya dvizhushchey sily dlya peremeshcheniya i upravleniya transportnym sredstvom [A new way of generating motive power for moving and driving a vehicle] // *Vestnik nauki Sibiri. Journal of Wellbeing Technologies*. 2013. No. 1 (7). P. 11–15. EDN: PVXRAD. (In Russ.).
16. Bezopornyy dvizhiteľ [Unsupported propulsion]. URL: <https://patents.google.com/patent/WO2014158044A1/ru> (accessed: 01.12.2024). (In Russ.).

BURIAN Yuriy Andreyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Fundamentals of Mechanics Theory and Automatic Control Department, Omsk State Technical University (OmSTU), Omsk.
SPIN-code: 8395-0034
ORCID: 0000-0003-3682-141X
AuthorID (SCOPUS): 57194827159
ResearcherID: E-2283-2014

RUSSKIKH Grigoriy Serafimovich, Candidate of Technical Sciences, Head of Fundamentals of Mechanics Theory and Automatic Control Department, OmSTU, Omsk.
SPIN-code: 1057-2344
ORCID: 0000-0001-5495-6997
AuthorID (SCOPUS): 57191032330
ResearcherID: L-9913-2013

For citation

Burian Yu. A., Russkikh G. S. On the variation of kinetic energy in a hydraulic inertial motion converter // Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering. 2024. Vol. 8, no. 4. P. 5–11. DOI: 10.25206/2588-0373-2024-8-4-5-11.

Received November 05, 2024.

© Yu. A. Burian, G. S. Russkikh