

М. А. Подригало¹
А. А. Кашканов²
М. П. Холодов³
А. А. Побережний¹

ДИНАМІКА МАШИН З ІДЕАЛЬНИМИ ІНЕРЦІАЛЬНИМИ РУШІЯМИ

¹Національна академія Національної гвардії України

²Вінницький національний технічний університет

³Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Термін «інерцоїд» і його першу конструкцію в 1936 році придумав інженер В.Н. Толчин. Незважаючи на демонстрацію безопорного руху з використанням фізичної моделі, загадка інерцоїда існує майже століття.

Існує кілька теорій що пояснюють рух інерцоїда (або механізмів з інерціальними рушіями). До зазначених теорій відноситься теорія тертя, яка доводить, що рух пристрою відбувається за рахунок різниці коефіцієнтів тертя і коефіцієнтів опору коченню в контактні дніща машини з дорогою. У деяких роботах для пояснення фізичної природи зазначеного явища використовують теорію відносності А. Ейнштейна, що часто з наукової точки зору є правомірним.

На наш погляд підхід до дослідження процесу руху інерцоїда повинен відбуватися на основі теорії гравітаційного поля. У теорії відносності А. Ейнштейна відзначається, що прискорено рухомі системи відліку створюють свої гравітаційні поля. Оберткові маси створюють свої потенціальні поля, оскільки на них діють доцентрові прискорення. При накладенні поля оберткових мас на гравітаційне поле землі і з'являються прискорення, що викликають рух інерцоїда (машини з інерціальним рушієм). Насправді з подібним накладенням потенціальних полів ми постійно стикаємося в повсякденному житті. Наприклад, вплив широти на величину прискорення вільного падіння тіла, що знаходиться над поверхнею землі, пояснюється накладенням гравітаційного поля землі та потенціального поля обертання її навколо своєї осі.

В статті досліджується інерцоїд з ідеалізованим рушієм, при якому створюється постійна рушійна (тягова) сила, спрямована в бік руху.

У результаті проведеного дослідження отримано рівняння поступального руху машини з ідеальним інерціальним рушієм, визначено вираз для розрахунку її максимальної швидкості, визначено максимальну необхідну потужність двигуна для руху машини з ідеальним інерціальним рушієм.

Ключові слова: інерцоїд, рушійна (тягова) сила, динамічні характеристики машини, потужність двигуна, рівняння поступального руху машини.

Вступ

Автором конструкції першого інерцоїда є В. Н. Толчин. З моменту появи першого інерцоїда і до теперішнього часу ведеться спір про те, що порушує або не порушує принцип дії цієї машини закони класичної динаміки. Створено безліч теорій (включаючи псевдонаучні) про вплив торсіонних полів та ефіру.

Насправді рух інерцоїда є не безопорним, а здійснюється за рахунок зовнішньої сили, прикладеної до осі обертання неврівноважених інерційних мас. Зовнішньою, зазначена сила, може вважатися, оскільки джерелом її виникнення є двигун, що використовує зовнішнє підведення енергії. Саме дійсна сила, прикладена до осі обертання, а не фіктивна сила інерції, прикладена до неврівноважених мас, приводить в рух інерцоїд.

У даній статті наведені результати дослідження інерцоїда з ідеалізованим рушієм, при якому створюється постійна рушійна (тягова) сила, спрямована в бік руху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Твердження В. Н. Толчина в роботі [1] про те, що сили інерції є джерелом поступального руху машини, не витримує критики. Сили інерції є фіктивними реактивними силами й бути рушійними (тяговими) ніяк не можуть. Це твердження суперечить законам класичної механіки.

Насправді рух інерцоїда є не безопорним, оскільки колеса спираються на дорогу, а рушійна (тягова) сила $P_{0\Sigma}$ (рис. 1) створюється тиском на вісь оберткових неврівноважених мас m_1 і m_2 [3]. У точках

установки мас m_1 і m_2 виникають прискорення: нормальні (відцентрові) a_1^n, a_2^n і дотичні a_1^k, a_2^k . В результаті дії зазначених прискорень і виникає сила $P_{0\Sigma}$ тиску на вісь, що є рушійною (тяговою) силою. Обертання мас m_1 і m_2 відносно точки 0 у протилежні сторони дозволяє уникнути появи бічних сил і розвантажує електродвигун від навантаження, викликаного зміщенням мас m_1, m_2 відносно осі обертання.

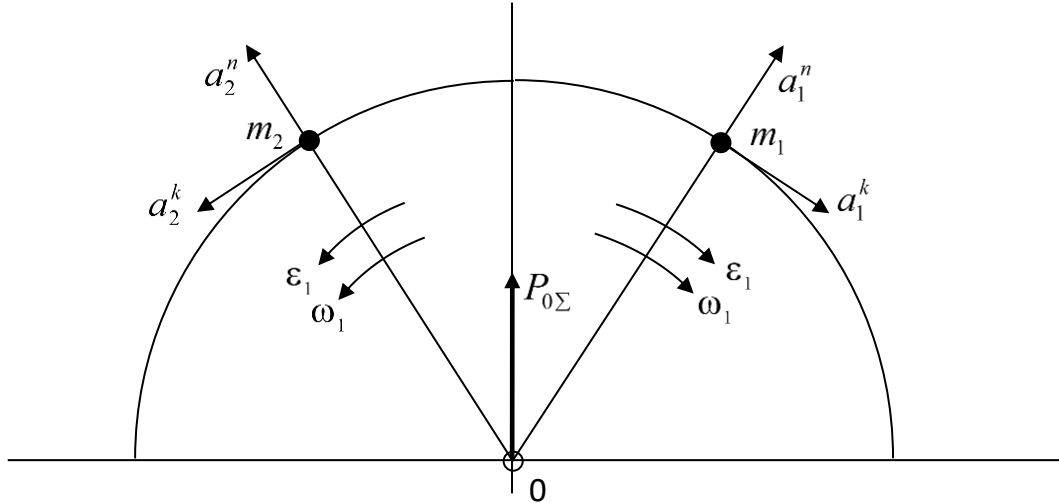


Рис. 1. Механізм створення тягової сили $P_{0\Sigma}$

Сила $P_{0\Sigma}$ не є силою інерції, оскільки відповідає класичному визначенню сили як міри взаємодії тіл [3]. Зазначена сила виникає в результаті взаємодії кривошипів обертових мас m_1 і m_2 з валом. Таким чином, це реальна активна сила, а не реактивна сила інерції.

Сила $P_{0\Sigma}$, яка є результатом впливу на вісь кривошипів обертових мас m_1 і m_2 , може бути визначена як

$$P_{0\Sigma} = 2(m_1 + m_2) \cdot r \omega_1^2 \sin(\omega_1 t) + 2(m_1 + m_2) \cdot r \varepsilon_1 \sin\left(\frac{\pi}{2} + \omega_1 t\right) = 2(m_1 + m_2) \cdot r \left[\omega_1^2 \sin(\omega_1 t) - \varepsilon_1 \cos(\omega_1 t) \right], \quad (1)$$

де m_1, m_2 – нерівноважені маси; r – радіус обертання мас; ω_1, ε_1 – кутові швидкість і прискорення обертання мас m_1, m_2 ; t – час.

Однак у відомих дослідженнях [1, 2, 4, 5] не розглянута динаміка машин з інерціальними рушійними, що обумовлено відсутністю визначення рушійної (тягової) сили.

Мета й завдання дослідження.

Метою дослідження є визначення динамічних характеристик машин з ідеальними інерціальними рушійними.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- отримати й розв'язати рівняння поступального руху машини з ідеальним інерціальним рушієм;
- визначити необхідну потужність двигуна для руху із заданою максимальною швидкістю.

Результати дослідження

Рівняння поступального руху інерцоїда. При проведенні дослідження прийемо такі припущення:

- сила $P_{0\Sigma}$ спрямована тільки по ходу руху машини (завжди позитивна);
- модуль вектора $P_{0\Sigma}$ не змінюється і має постійне значення;
- обертання кривошипів відбувається з постійною кутовою швидкістю $\omega_1 = const$.

Прийняття зазначених припущень дозволяє говорити про розгляд ідеальної моделі інерцоїда. У цьому випадку вираз (1) можна представити в такому вигляді:

$$P_{0\Sigma} = A(m_1 + m_2)\omega_1^2, \quad (2)$$

де A – постійний коефіцієнт $A = const$.

Рівняння поступального руху інерцоїда має вигляд

$$m \frac{dV_a}{dt} = P_{0\Sigma} - P_f - P_w, \quad (3)$$

де m – повна маса машини; V_a – швидкість поступального руху; P_f – сила опору коченню,

$$P_f = mgf; \quad (4)$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; f – коефіцієнт опору коченню коліс; P_w – сила аеродинамічного опору,

$$P_w = \frac{C_x}{2} \rho F V_a^2; \quad (5)$$

де C_x – коефіцієнт лобового аеродинамічного опору; ρ – щільність повітря; F – площа лобового опору (мідель) машини.

Рівняння (3) з урахуванням співвідношень (4) і (5) перетвориться до вигляду

$$\frac{dV_a}{dt} = \frac{P_{0\Sigma}}{m} - fg - \frac{C_x}{2m} \rho F V_a^2. \quad (6)$$

Підставляючи (2) в (6) остаточно одержимо

$$\frac{dV_a}{dt} = A \frac{(m_1 + m_2)}{m} \omega_1^2 - fg - \frac{C_x}{2m} \rho F V_a^2. \quad (7)$$

При $\omega_0 = const$ вираз (7) є звичайним диференціальним рівнянням першого порядку з відокремлюваними змінними. Розділивши змінні отримаємо

$$\frac{dV_a}{A \frac{(m_1 + m_2)}{m} \omega_1^2 - fg - \frac{C_x}{2m} \rho F V_a^2} = dt. \quad (8)$$

Після інтегрування отримаємо

$$t = \frac{1}{\left(A \frac{m_1 + m_2}{m} \omega_1^2 - fg \right) \frac{C_x}{m} \rho F} \ln \left(\frac{\sqrt{A \frac{m_1 + m_2}{m} \omega_1^2 - fg} + V_a \sqrt{\frac{C_x}{2m} \rho F}}{\sqrt{A \frac{m_1 + m_2}{m} \omega_1^2 - fg} - V_a \sqrt{\frac{C_x}{2m} \rho F}} \right) + C, \quad (9)$$

де C – постійна інтегрування, яка визначається з граничних умов.

Припустимо, що $t=0$ й $V_a=0$. У цьому випадку $C=0$. Визначимо швидкість машини V_a з рівняння (9) при $C=0$

$$V_a = \sqrt{\frac{2 \left[A(m_1 + m_2)\omega_1^2 - mfg \right]}{C_x \rho F}} \cdot \frac{\exp \left[\frac{C_x \rho F \left(A \frac{m_1 + m_2}{m} \omega_1^2 - fg \right) t}{m} \right] - 1}{\exp \left[\frac{C_x \rho F \left(A \frac{m_1 + m_2}{m} \omega_1^2 - fg \right) t}{m} \right] + 1}, \quad (10)$$

або

$$V_a = \sqrt{\frac{2[A(m_1 + m_2)\omega_1^2 - mfg]}{C_x \rho F}} \cdot \frac{1 - \exp\left[-\frac{C_x \rho F \left(A \frac{m_1 + m_2}{m} \omega_1^2 - fg\right) t}{m}\right]}{1 + \exp\left[-\frac{C_x \rho F \left(A \frac{m_1 + m_2}{m} \omega_1^2 - fg\right) t}{m}\right]}. \quad (11)$$

Максимальна швидкість інерцоїда V_{\max} може бути визначена при $t \rightarrow \infty$. Таким чином

$$V_{\max} = \lim_{t \rightarrow \infty} V_a = \sqrt{\frac{A(m_1 + m_2)\omega_1^2 - mfg}{0,5C_x \rho F}}. \quad (12)$$

З рівняння (12) визначимо необхідну рушійну (тягову) силу при заданій величині V_{\max}

$$(P_{0\Sigma})_{\max} = A(m_1 + m_2)\omega_{1\max}^2 = 0,5C_x \rho F V_{\max}^2 + mfg. \quad (13)$$

Вираз (13) є умовою руху з максимальною швидкістю машини з ідеальним інерціальним рушієм. Визначення необхідної потужності двигуна. Необхідна потужність двигуна може бути визначена як

$$(N_{\text{де}})_{\max} = \frac{(P_{0\Sigma})_{\max} V_{\max}}{\eta_{\text{пр}}}, \quad (14)$$

де $\eta_{\text{пр}}$ – ККД приводу.

Після підстановки виразів (12), (13) в (14) отримаємо

$$(N_{\text{де}})_{\max} = \frac{A(m_1 + m_2)\omega_{1\max}^2}{\eta_{\text{пр}}} \sqrt{\frac{A(m_1 + m_2)\omega_{1\max}^2 - mfg}{0,5C_x \rho F}} = \frac{0,5C_x \rho F V_{\max}^2 + mfg}{\eta_{\text{пр}}} V_{\max}. \quad (15)$$

Аналіз залежності (15) показує, що необхідна потужність двигуна для руху машини з ідеальним інерціальним рушієм визначається тією ж залежністю, що й для автомобілів з колісним рушієм. Для здійснення руху необхідно забезпечити рівень тягової сили $(P_{0\Sigma})_{\max}$ відповідно до рівняння (13).

Висновки

1. У результаті проведеного дослідження отримано рівняння поступального руху машини з ідеальним інерціальним рушієм і визначено вираз для розрахунку її максимальної швидкості.

2. Отримано аналітичний вираз, що дозволяє визначити максимально необхідну потужність двигуна. Аналіз отриманого виразу показує, що для руху машини з ідеальним інерціальним рушієм необхідна та ж потужність, що й для автомобіля з традиційним колісним рушієм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] В. Н. Толчин, *Інерцоїд. Сили інерції як источник поступательного движения*. Пермь: Пермское книжное издательство, 1977.
- [2] В. Н. Толчин, «Искусственная точка опоры и однокатный инерцоид», *НТО СССР*, № 12, с. 22–24, 1969.
- [3] С. М. Тарг, *Краткий курс теоретической механики*. М.: Наука, 1968.
- [4] Інерцоїд Толчина. URL: [Електронний ресурс]. Режим доступа: https://academia.edu/28917726/Інерцоїд_Толчина_и_ОТО. Дата обращения: Сент. 12, 2021.
- [5] Е. Л. Тарунин, «Снова об инерцоиде», *Проблемы механики и управления: Нелинейные динамические системы. Межвузовский сборник научных трудов*. Пермь: Пермский национальный исследовательский университет, № 40, с. 170–192, 2008.

Подригало Михайло Абович – д-р. техн. наук, професор, головний науковий співробітник науково-дослідного центру, e-mail: pmikhab@gmail.com.

Побережний Андрій Анатолійович – науковий співробітник науково-дослідного центру, e-mail: fix086@ukr.net.

Національна академія Національної гвардії України, м. Харків

Кашканов Андрій Альбертович – д-р. техн. наук, професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: a.kashkanov@gmail.com.

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Холодов Михайло Павлович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів, e-mail: michaelkholodov@gmail.com.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

M. Podrigalo¹
A. Kashkanov²
M. Kholodov³
A. Poberezhnyi¹

Dynamics of machines with ideal inertial motion

¹National Academy of the National Guard of Ukraine

²Vinnitsia National Technical University

³Kharkiv National Automobile and Road University

The term "inertoid" and its first design in 1936 was invented by engineer V. N. Tolchin. Despite the demonstration of unsupported motion using a physical model, the mystery of the inertoid has existed for almost a century.

There are several theories explaining the motion of the inertoid (or mechanisms with inertial motion). These theories include the theory of friction, which proves that the movement of the device occurs due to the difference between the coefficients of friction and the coefficients of rolling resistance in contact between the bottom of the machine and the road. In some works, to explain the physical nature of this phenomenon, it is often legitimate to use A. Einstein's theory of relativity from a scientific point of view.

In our opinion, the approach to the study of the process of motion of the inertoid should be based on the theory of the gravitational field. In the theory of relativity, A. Einstein notes that rapidly moving frames of reference create their own gravitational fields. Rotating weights create their own potential fields, since they are affected by centripetal accelerations. When the field of rotating loads is imposed on the gravitational field of the earth, accelerations appear that cause the movement of an inertoid (machines with an inertial mover). In fact, we constantly encounter this kind of overlap of potential fields in our daily life. For example, the effect of latitude on the value of the free fall acceleration of a body above the earth's surface is explained by the imposition of the earth's gravitational field of the potential field of its rotation around its axis.

In the paper an inertoid with an idealized engine, which creates a constant driving (traction) force directed towards the movement has been investigated.

As a result of the study, the equations of the translational motion of a machine with an ideal inertial engine were obtained, an expression for calculating its maximum speed was determined, and the maximum required engine power for the movement of a machine with an ideal inertial engine was determined.

Key words: inertoid, driving (traction) force, dynamic characteristics of the machine, engine power, the equation of translational motion of the machine.

Podrigalo Mikhail – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Chief Researcher of the Scientific Research Centre, e-mail: pmikhab@gmail.com.

Kashkanov Andriy – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Automobiles and Transportation Management, e-mail: a.kashkanov@gmail.com.

Kholodov Mykhailo – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of Automotive, e-mail: michaelkholodov@gmail.com.

Poberezhnyi Andrii – Researcher of the Scientific Research Centre, e-mail: fix086@ukr.net.

М. А. Подригало¹
А. А. Кашканов²
М. П. Холодов³
А. А. Побережный¹

Динамика машин с идеальными инерциальными движителями

¹Национальная академия Национальной гвардии Украины

²Винницкий национальный технический университет

³Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Термин «инерциод» и его первая конструкция в 1936 году была изобретена инженером В.Н. Толчиным.. Несмотря на демонстрацию безопорного движения с использованием физической модели, загадка инерциода существует уже почти столетие.

Существует несколько теорий объясняющих движение инерциода (или механизмов с инерциальными движителями). К указанным теориям относится теория трения, доказывающая, что движение устройства происходит за счёт разности коэффициентов трения и коэффициентов сопротивления качению в контакте днища машины с дорогой. В некоторых работах для объяснения физической природы указанного явления использовать теорию относительности А. Эйнштейна, что часто с научной точки зрения является правомерным.

На наш взгляд подход к исследованию процесса движения инерциода должен происходить на основе теории гравитационного поля. В теории относительности А. Эйнштейна отмечается, что быстро движущиеся системы отсчёта создают свои собственные гравитационные поля. Вращающиеся массы создают свои потенциальные поля, поскольку на них действуют центробежные ускорения. При наложении поля вращающихся масс на гравитационное поле земли и появляются ускорения, вызывающие движение инерциода (машины с инерциальным движителем). На самом деле с подобным наложением потенциальных полей мы постоянно сталкиваемся в повседневной жизни. Например, влияние широты на величину ускорения свободного падения тела, находящегося над поверхностью земли, объясняется наложением гравитационного поля земли и потенциального поля её вращения вокруг своей оси.

В статье исследуется инерциод с идеализированным движителем, при котором создается постоянная движущая (тяговая) сила, направленная в сторону движения.

В результате проведенного исследования получено уравнение поступательного движения машины с идеальным инерциальным движителем, определено выражение для расчета ее максимальной скорости, а также определена максимальная необходимая мощность двигателя для движения машины с идеальным инерциальным движителем.

Ключевые слова: инерциод, движущая (тяговая) сила, динамические характеристики машины, мощность двигателя, уравнение поступательного движения машины.

Подригало Михаил Абович – д-р. техн. наук, профессор, главный научный сотрудник научно-исследовательского центра, e-mail: pmikhab@gmail.com.

Кашканов Андрей Альбертович – д-р. техн. наук, профессор, профессор кафедры автомобилей и транспортного менеджмента, e-mail: a.kashkanov@gmail.com.

Холодов Михаил Павлович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автомобилей, e-mail: michaelkholodov@gmail.com.

Побережный Андрей Анатольевич – научный сотрудник научно-исследовательского центра, e-mail: fix086@ukr.net.