

621.01

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РОБОТА ПОЛИРОВЩИКА РЕАЛЬНЫМИ ЗАКОНАМИ МЕХАНИКИ



THEORETICAL RESEARCH WORK OF THE ROBOT POLISHER BY REAL LAWS OF MECHANICS

Смелягин Анатолий Игоревич

доктор технических наук,
профессор кафедры
наземного транспорта и механики
Кубанского государственного
технологического университета
asmelyagin@yandex.ru

Аннотация. При разработке и создании новых машин в обязательном порядке проводятся их теоретические исследования. Эти исследования состоят из структурного, кинематического и динамического анализа создаваемого устройства. Окончательное решение о возможном внедрении разрабатываемой техники принимается по полученным результатам теоретических исследований. Наука, изучающая механические взаимодействия, движения и равновесие материальных тел, называется Механикой. Фундамент современной классической механики построен на законах Ньютона. Эти законы позволили сформулировать и вывести основные аксиомы, принципы, теоремы и уравнения механики. Анализ законов-аксиом И. Ньютона показывает, что, строго говоря, они не являются ни законами, ни аксиомами. Это обусловлено тем, что они описывают движение только не существующих в природе объектов, а именно материальных точек. Следовательно, они и все полученные на их основе теоремы, принципы и уравнения являются приближенными. Опираясь на современные знания и понятия, в работе приводятся основные реальные аксиомы – законы, которые моделируют взаимодействия и движения материальных объектов и механических систем. Используя эти реальные аксиомы – законы проводится теоретическое исследование многоподвижного робота полировщика.

Ключевые слова: аксиомы, законы, взаимодействие, механическое движение, робот, сила, момент, масса, момент инерции, закон движения, скорость, ускорение.

Smelyagin Anatoly Igorevich

Doctor of technical sciences,
Professor Department
of land transport and mechanics
Kuban State Technological University
asmelyagin@yandex.ru

Annotation. When developing and creating new machines, their theoretical research is mandatory. These studies necessarily consist of structural, kinematic and dynamic analysis of the device being created. The final decision on the possible implementation of the developed technology is made based on the results of theoretical research. The science that studies the mechanical interactions, movements, and equilibrium of material bodies is called Mechanics. The Foundation of modern classical mechanics is based on Newton's laws. These laws allowed us to formulate and derive the basic axioms, principles, theorems, and equations of mechanics. The analysis of Newton's laws-axioms shows that, strictly speaking, they are neither laws nor axioms. This is because they only describe the movement of objects that do not exist in nature, namely material points. Therefore, they and all the theorems, principles, and equations derived from them are approximate. Based on modern knowledge and concepts, the paper presents the main real axioms-laws that model the interaction and movement of material objects and mechanical systems. Using these real axioms – laws, a theoretical study of a multi-moving robot polisher is carried out.

Keywords: axioms, laws, interaction, mechanical motion, robot, force, moment, mass, moment of inertia, law of motion, speed, acceleration.

Введение

Наука, исследующая взаимодействия, равновесие и механические движения, динамику материальных тел, называется классической механикой [1–3].

Основой классической механики являются труды Галилея, Ньютона, Эйлера [4–6], а также выведенные из них общие теоремы динамики и принципы [1–8].

Анализ классических законов – аксиом И. Ньютона и современных их формулировок показывает, что они не являются ни законами и ни аксиомами. Это обусловлено тем, что так называемые законы Ньютона относятся только к не существующим материальным точкам [7–12].

Поэтому в [13, 14] были сформулированы новые реальные законы движения и равновесия механических объектов. Эти немного модифицированные законы имеют вид.

Законы-Аксиомы движения

1. Взаимодействия материальных тел пары, равновелики и противоположно направлены:

$$I_1 = I_2. \quad (1)$$

2. Работы внешних и инерционных взаимодействий материальных тел на любом перемещении равны между собой:

$$\sum A_{ij} = \sum A_{\Phi ij}. \quad (2)$$

2*. Суммарная работа внешних и инерционных взаимодействий материальных тел в любое мгновение равна нулю

$$\sum A_{\Sigma ij} = 0. \quad (3)$$

где $\sum A_{ij}$ – работа на исследуемом перемещении объекта, совершаемая всеми внешними (активными) взаимодействиями; $\sum A_{\Phi ij}$ – работа инерционных взаимодействий при перемещении исследуемого объекта; $\sum A_{\Sigma ij}$ – суммарная работа внешних и инерционных взаимодействий на исследуемом перемещении объекта; i – число взаимодействий; j – число степеней свободы (подвижность).

Видно, что законы движения 2 и 2* полностью эквивалентны друг другу. Это следует из формул (2) и (3):

$$\sum A_{ij} + \sum A_{\Phi ij} = \sum A_{\Sigma ij} = 0. \quad (4)$$

Целесообразность практического применения законов движения 2 и 2* определяется конфигурацией исследуемой механической системы.

Следствия из законов 2 и 2.*

1. Если на исследуемое тело действует внешняя уравновешенная система взаимодействий, то оно находится в равновесии или покое.

$$\sum A_{ij} = 0. \quad (5)$$

2. Если на исследуемое тело действует внешняя уравновешенная система взаимодействий, то оно неподвижно ($\bar{V} = 0$) или движется с постоянной скоростью ($\bar{V} = const$).

$$\sum A_{\Phi ij} = 0. \quad (6)$$

Следствия 1 и 2 вытекают из того, что, если на исследуемое тело действует внешняя уравновешенная система взаимодействий, то нет условий для совершения работы (5) и нет условий для возникновения инерционных взаимодействий (6), которые приводят тела в движение или изменяют его.

Следует отметить, что уравнение (5) – это условие статического равновесия материальных тел.

Из уравнений (2-6) следует, что если исследуемый механический объект имеет несколько степеней свободы, то для его исследования необходимо записывать столько уравнений, сколько у него подвижностей.

Приведём на конкретных примерах практическое применение полученных законов движения и докажем их достоверность для механических систем с многими степенями свободы.

При исследовании движения исследуемого объекта примем, что на него действуют постоянные внешние силы и моменты сил. Движение объекта происходит при начальных нулевых условиях.

Исследование работа полировщика

Исследуемый робот (рис. 1) предназначен для полировки плоских деталей, плит, стен и других подобных изделий.

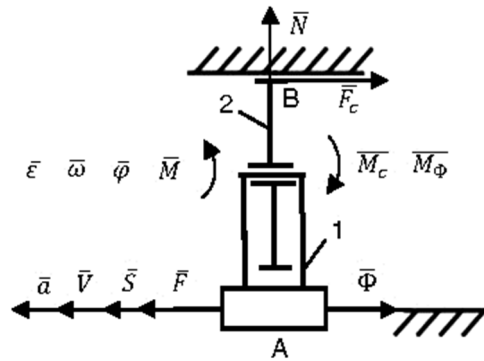


Рисунок 1 – Робот

Робот имеет шлифовальный круг 2, который жёстко закреплён в подвижной каретке 1.

Каретка массой m_1 перемещается в направляющих под действием силы F и силы инерции Φ .

Шлифовальный круг радиусом R , массой m_2 и с моментом инерции $I = m_2 R^2$ совершает вращательное движение под действием момента сил M . Также на круг действуют:

- момент сил трения качения M_c ;
- момент сил инерции M_Φ ;
- сила сопротивления движению колеса F_c .

Необходимо найти законы движения каретки и шлифовального круга.

Для исследования движения тела воспользуемся законом движения материальных тел, например, 2*.

В соответствии с этим законом, суммарная работа внешних и инерционных взаимодействий материальных тел в любое мгновение равна нулю:

$$\sum A_{\Sigma ij} = 0. \quad (7)$$

Для того чтобы определить сколько уравнений (7) надо записать уравнений для исследуемого объекта, найдём, сколько у него степеней свободы (подвижность W).

В соответствии с [15–19] подвижность исследуемого тела определится по формуле:

$$W = \Pi n - \sum_{i=1}^{\Pi-1} (\Pi - i) p_i, \quad (8)$$

где Π – подвижность пространства в котором существует исследуемый объект; n – число тел из которых состоит объект; $i = 1, 2, 3, \dots$ – целочисленный индекс; p – число кинематических пар i – той подвижности.

Исследуемый объект существует в одномерном ($M = 1$) и двухподвижном ($\Pi = 2$) пространстве [15–19].

Подставив начальные условия в (8), найдём формулу для определения подвижности исследуемого устройства:

$$W = 2n - p_1. \quad (9)$$

Робот имеет два материальных тела – звена ($n = 2$) и две одноподвижные кинематические пары A и B ($p_1 = 2$). Кинематическая пара A является поступательной, а пара B – вращательной.

После подстановки исходных данных в (9), найдём, что подвижность исследуемого объекта будет равна $W = 2$.

Одна подвижность роботу нужна чтобы перемещаться вдоль обрабатываемой детали, а вторая – для реализации процесса шлифования.

С учётом того, что исследуемый объект имеет две степени свободы, уравнение (7) для исследуемого робота примет вид:

$$\begin{cases} \sum A_{\Sigma i1} = 0 \\ \sum A_{\Sigma i2} = 0 \end{cases}, \quad (10)$$

где индекс 1 относится к каретке, а индекс 2 к шлифовальному кругу.

Раскроем, в соответствии с (4), уравнение (10) для поступательно движущейся каретки (рис. 1):

$$FS - F_c S - \Phi S = 0. \quad (11)$$

Известно [1–3], что силы, соответственно, определяются следующим образом:

- трения скольжения:

$$F_c = f m_1 g, \quad (12)$$

- инерции:

$$\Phi = m_1 a, \quad (13)$$

где f – коэффициент трения скольжения.

С учётом (12) и (13) уравнение (11) примет вид:

$$m_1 a = F - f m_1 g. \quad (14)$$

Преобразовав (14), получим:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{F - f m_1 g}{m_1}. \quad (15)$$

После двукратного интегрирования (15) и, учитывая принятые начальные условия, найдем скорость и закон движения каретки:

$$V = \frac{F - f m_1 g}{m_1} t, \quad (16)$$

$$S = \frac{F - f m_1 g}{m_1} \frac{t^2}{2}. \quad (17)$$

Видно, что (16) и (17) полностью совпадают с ранее известными формулами, что свидетельствует об адекватности принятой модели реальным объектам.

Теперь рассмотрим вращательное движение шлифовального колеса, для чего, в соответствии с (4), раскроем второе уравнение системы (10) (рис. 1):

$$M\varphi - M_c\varphi - M_\Phi\varphi = 0. \quad (18)$$

Примем, что моменты сил трения и сил инерции, соответственно определяются:

$$M_c = \mu N, \quad (19)$$

$$M_\Phi = I\varphi'', \quad (20)$$

где μ – коэффициент трения качения; N – сила прижатия колеса к обрабатываемой детали; φ – угол поворота колеса.

С учётом (19) и (20) уравнение (18) примет вид:

$$M - \mu N - m_2 R^2 \varphi'' = 0. \quad (21)$$

Решив (21) относительно углового ускорения шлифовального колеса, получим:

$$\varphi'' = \frac{M - \mu N}{m_2 R^2}. \quad (22)$$

После двукратного интегрирования (22) найдем угловую скорость и закон движения колеса при его вращении:

$$\varphi' = \frac{M - \mu N}{m_2 R^2} t + C_1, \quad (23)$$

$$\varphi = \frac{M - \mu N}{2 m_2 R^2} t^2 + C_1 t + C_2, \quad (24)$$

где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования.

С учётом принятых начальных условий, что при $t = 0$ $\dot{\varphi}_0 = 0$ и $\varphi_0 = 0$, уравнения (23) и (24) примут вид:

$$\dot{\varphi} = \frac{M - \mu N}{m_2 R^2} t, \quad (25)$$

$$\varphi = \frac{M - \mu N}{2m_2 R^2} t^2. \quad (26)$$

Анализ поворотного колеса (рис.1) показывает, что его движение является сложным. Следовательно, для определения кинематических характеристик любых точек колеса необходимо воспользоваться теоремой о сложении скоростей и ускорений при сложном движении.

Выводы

По результатам работы можно заключить:

- с помощью новых законов движения материальных тел исследовано сложное движение двухподвижного робота шлифовальщика;
- найденные законы движения каретки и шлифовального колеса соответствуют движению реального объекта, что свидетельствует об адекватности предлагаемых законов реальным объектам;
- полученные результаты позволяет рекомендовать новые законы механики к исследованию механических систем с многими степенями свободы.

Литература

1. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики. – М. : Высш. шк., 1990. – 607 с.
2. Голубев Ю.Ф. Основы теоретической механики. – М. : Изд-во МГУ, 2000. – 2-е изд. – 720 с.
3. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики. – Киев : Наук. Думка, 1989. – 864 с.
4. Галилео Галилей. Избранные труды в двух томах. – М. : Наука, 1964.
5. Ньютон Исаак. Математические начала натуральной философии. – М. : Наука, 1989. – 688 с.
6. Эйлер Л. Основы динамики точки. – М. – Ленинград : НТИ-НКТП СССР, 1938. – 500 с.
7. Харламов П.В. Очерки об основаниях механики. Мифы, заблуждения и ошибки. – Киев : Наук, думка, 1995. – 407 с.
8. Ишлинский А.Ю. Механика: идеи, задачи, приложения. – М. : Наука, 1985. – 624 с.
9. Смелягин А.И. Аксиомы или законы движения сформулировал и. Ньютон // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – Краснодар : издательский Дом – Юг, 2014. – № 2. – С. 11–16.
10. Смелягин А.И. Законы и понятия классической механики // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – Краснодар : издательский Дом – Юг, 2019. – № 3. – С. 21–27.
11. Смелягин А.И. Основные, первичные понятия механики // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – Краснодар : издательский Дом – Юг, 2014. – № 2. – С. 17–26.
12. Смелягин А.И. Объекты, для которых сформулированы аксиомы или законы классической механики // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – Краснодар : издательский Дом – Юг, 2014. – № 1. – С. 21–25.
13. Смелягин А.И. Об основных понятиях и законах классической механики // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – Краснодар : издательский Дом – Юг, 2020. – № 2. – С. 25–38.
14. Смелягин А.И. О реальных законах движения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – Краснодар : издательский Дом – Юг, 2020. – № 3. – С. 11–16.
15. Смелягин А.И. Теория механизмов и машин. – М. – Новосибирск, ИНФРА-М, 2008. – 263 с.
16. Смелягин А.И. Теория механизмов и машин. Курсовое проектирование. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 263 с.
17. Смелягин А.И. Структура механизмов и машин. – М. : Высш. шк., 2014. – 304 с.
18. Смелягин А.И. Структура машин, механизмов и конструкций. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 387 с.
19. Смелягин А.И., Приходько А.А. Структурный синтез сложного исполнительного механизма возвратно-вращательного перемешивающего устройства // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2014. – № 5–6. – С. 85–88.

References

1. Nikitin N.N. Course of theoretical mechanics. – M. : Higher school, 1990. – 607 p.
2. Golubev Yu.F. Fundamentals of theoretical mechanics. – M. : MSU Publishing house, 2000. – 2nd ed. – 720 p.

3. Kuzmichev V.E. Laws and formulas of physics. – Kiev : Nauk. Dumka, 1989. – 864 p.
4. Galileo Galilei. Selected works in two volumes. – M. : Nauka, 1964.
5. Newton Isaac. Mathematical principles of natural philosophy. – M. : Nauka, 1989. – 688 p.
6. Euler L. Basics of point dynamics. – M. – Leningrad : NTI-NKTP of the USSR, 1938. – 500 p.
7. Kharlamov P.V. Essays on the foundations of mechanics. Myths, misconceptions, and mistakes. – Kiev : Nauk, Dumka, 1995. – 407 p.
8. Ishlinsky A.Yu. Mechanics: ideas, problems, applications. – M. : Nauka, 1985. – 624 p.
9. Smelyagin A.I. Axioms or laws of motion formulated by I. Newton // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – Krasnodar : Publishing House – Yug, 2014. – № 2. – P. 11–16.
10. Smelyagin A.I. Laws and concepts of classical mechanics // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – Krasnodar : Publishing House – Yug, 2019. – № 3. – P. 21–27.
11. Smolyagin A.I. the Basic and primary concepts of mechanics // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – Krasnodar : Publishing House – Yug, 2014. – № 2. – P. 17–26.
12. Smelyagin A.I. Objects for which axioms or laws of classical mechanics are formulated // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – Krasnodar : publishing House – Yug, 2014. – № 1. – P. 21–25.
13. Smelyagin A.I. On the basic concepts and laws of classical mechanics // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – Krasnodar : Publishing House – Yug, 2020. № 2. – P. 25–38.
14. Smelyagin A.I. Dynamic analysis of the simplest movements of bodies with the help of new laws // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – Krasnodar : Publishing House – Yug, 2020. – № 3. – P. 11–16.
15. Smelyagin A.I. Theory of mechanisms and machines. – M. – Novosibirsk, INFRA-M, 2008. – 263 p.
16. Smelyagin A.I. Theory of mechanisms and machines. Course design. – M. : INFRA-M, 2019. – 263 p.
17. Smelyagin A.I. Structure of mechanisms and machines. – M. : Higher school, 2014. – 304 p.
18. Smelyagin A.I. Structure of machines, mechanisms and structures. – M. : INFRA-M, 2019. – 387 p.
19. Smelyagin A.I., Prikhodko A.A. Structural synthesis of reciprocating rotational mixing device complex actuator. News of institutes of higher education. Food Technology. – 2014. – № 5–6. – P. 85–88.