

*ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛОГОВ СКОРОСТЕЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ*

**А.И. СМЕЛЯГИН**

*Кубанский государственный технологический университет,  
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2,  
электронная почта: asmelyagin@yandex.ru*

При динамическом анализе механических систем, для определения законов движения тел используют либо непосредственно законы (аксиомы) Ньютона, либо уравнения, полученные из этих законов. Но законы Ньютона относятся только к несуществующему в природе объекту – материальной точке. Для исправления этой ситуации были предложены новые аксиомы и выведены теоремы движения материальных объектов. Впоследствии была показана эффективность и целесообразность применения новых аксиом и теорем для исследования движений материальных тел и механических систем. Развивая области применения новых теорем, применим для исследования двухступенчатого цилиндрического редуктора такие понятия, как аналоги скоростей, ускорений. Результаты исследования показали эффективность нововведений. Это позволяет рекомендовать предложенные подходы к широкому практическому применению для исследования механических систем, у которых тела совершают только вращательные движения.

**Ключевые слова:** теорема, момент, энергия, аналог скорости, аналог ускорения, вращательное движение, механическая система, момент инерции.

Основные законы о движении материальных объектов впервые были сформулированы великим английским ученым И. Ньютоном [1]. Заметим, что современные трактовки законов Ньютона многообразны, хотя по смыслу и содержанию совершенно идентичны [2,3].

Анализ оригинальных и современных формулировок аксиом или законов движения И. Ньютона в [2-4] показал, что они описывают движение только абстрактных материальных объектов - материальных точек. Следовательно, законы Ньютона корректно можно использовать только для исследования не существующих в природе объектов, а именно материальных точек.

В [5-13] сформулированы основные аксиомы, принципы и следствия и выведены теоремы, принципы и уравнения механики для реальных объектов природы, а так же показана эффективность их применения для исследования материальных тел и механических систем.

Рассмотрим практическое применение приведенных в [9] аксиом и следствий из них при исследовании движений механических систем, у которых тела совершают только вращательные движения.

Исследуем, например, движение валов и зубчатых колес двухступенчатого редуктора (рис.1).

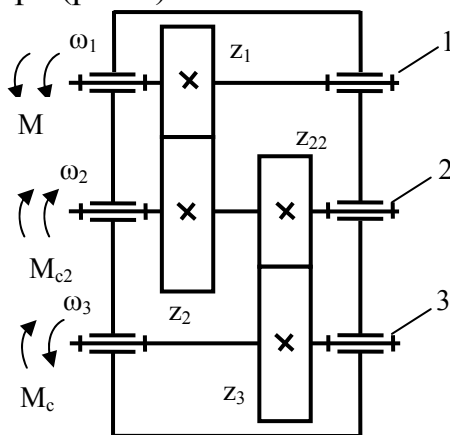


Рисунок 1 – Расчетная схема

- 1 – входной вал; 2 – промежуточный вал; 3 – выходной вал;
- 4 -  $z_1, z_2, z_{22}, z_3$ , соответственно, число зубьев зубчатых колес.

При расчете редуктора считаем, что валы невесомы, а установленные на них зубчатые колеса представляют собой сплошные однородные диски и имеют, соответственно, массы  $m_1, m_2, m_{22}, m_3$ , числа зубьев  $z_1, z_2, z_{22}, z_3$ , и радиусы  $r_1, r_2, r_{22}, r_3$ . Пусть на входной вал 1 действует постоянный движущий момент  $M = const$ , а к промежуточному валу 2 и выходному валу 3 приложены, соответственно, постоянные моменты сопротивления ( $M_{c2} = const, M_c = const$ ). Движение валов редуктора исследуем при следующих начальных условиях, что при  $t=0$  начальная угловая скорость входного вала и угол его поворота равны нулю ( $\omega_0=0, \varphi_0=0$ ).

Исследование движения валов редуктора проведем с помощью выведенных и сформулированы в [5,...,13] теорем, принципов и уравнений механики.

***Теорема об изменении кинетической энергии***

В [4] показано, что энергия является основным, первичным понятием определяющим движение и взаимодействие материальных объектов.

В [6] доказана теорема об изменении кинетической энергии материального тела, которая утверждает, что изменение кинетической энергии тела при его перемещении равно работе сил и моментов сил, действующих на него на этом перемещении.

То есть

$$T - T_0 = A \quad (1)$$

где:  $A = A_F + A_M$  – работа сил и моментов сил, действующих на механическую систему, на исследуемом перемещении;  $T$  и  $T_0$  – кинетическая энергия исследуемой механической системы в конечном и начальном положении, соответственно.

При принятых начальных условиях  $t = 0$ ,  $\omega_0 = 0$ ,  $\varphi_0 = 0$  кинетическая энергия исследуемого редуктора в начальном положении равна нулю

$$T_0 = 0 \quad (2)$$

Тогда кинетическая энергия редуктора определится

$$T = T_1 + T_2 + T_3, \quad (3)$$

где  $T_1, T_2, T_3$  – кинетические энергии, соответственно, входного, промежуточного и выходного валов.

Найдем эти энергии.

Так как все валы редуктора совершают вращательное движение, то их кинетическая энергия определится

$$T_1 = \frac{I_1 \omega_1^2}{2} \quad (4) \quad T_2 = \frac{(I_1 + I_{22}) \omega_2^2}{2} \quad (5) \quad T_3 = \frac{I_3 \omega_3^2}{2} \quad (6)$$

где:  $I_1, I_2, I_{22}, I_3, \omega_1, \omega_2, \omega_3$  – моменты инерции зубчатых колес и угловые скорости валов редуктора, соответственно.

Так как зубчатые колеса представляют собой однородные диски, то их моменты инерции будут

$$I_1 = \frac{1}{2} m_1 r_1^2 \quad (7) \quad I_2 = \frac{1}{2} m_2 r_2^2 \quad (8) \quad I_{22} = \frac{1}{2} m_{22} r_{22}^2 \quad (9) \quad I_3 = \frac{1}{2} m_3 r_3^2 \quad (10)$$

С учетом (7-10) кинетические энергии валов определяются

$$T_1 = \frac{m_1 r_1^2 \omega_1^2}{2} \quad (11) \quad T_2 = \frac{(m_2 r_2^2 + m_{22} r_{22}^2) \omega_2^2}{2} \quad (12) \quad T_3 = \frac{m_3 r_3^2 \omega_3^2}{2} \quad (13)$$

Подставив (11), (12) и (13) в (3), найдем кинетическую энергию редуктора

$$T = \frac{\omega_1^2}{2} \left( \frac{1}{2} m_1 r_1^2 + \frac{1}{2} (m_2 r_2^2 + m_{22} r_{22}^2) \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 + \frac{1}{2} m_3 r_3^2 \left( \frac{\omega_3}{\omega_1} \right)^2 \right) \quad (14)$$

Установим, что представляют отношения  $\frac{\omega_2}{\omega_1}$  и  $\frac{\omega_3}{\omega_1}$

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\frac{d\varphi_2}{dt}}{\frac{d\varphi_1}{dt}} = \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} \quad (15) \quad \frac{\omega_3}{\omega_1} = \frac{\frac{d\varphi_3}{dt}}{\frac{d\varphi_1}{dt}} = \frac{d\varphi_3}{d\varphi_1} \quad (16)$$

где  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  – углы поворота соответствующих валов редуктора.

В соответствии с [14]  $\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1}$  и  $\frac{d\varphi_3}{d\varphi_1}$  – это аналоги угловых скоростей валов

редуктора. Понятия аналогов скоростей и ускорений при кинематическом исследовании механизмов ввел Л. В. Ассур.

Аналогом скорости точки какого либо звена механизма является первая производная радиуса-вектора этой точки по обобщенной координате механизма.

Аналоги скоростей и ускорений часто применяются при кинематическом и динамическом анализе механизмов, когда предварительно нельзя определить скорости и ускорения исследуемых точек и звеньев. Так как аналоги скоростей и ускорений зависят только от обобщенных координат и не зависят от времени, то кинематическое исследование механизмов проводится геометрическим путем [15, 16].

Аналог скорости, в общем-то, не очень корректное определение. Правильнее будет выражения,  $\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1}$  и  $\frac{d\varphi_3}{d\varphi_1}$  определять как мгновенные геометрические скорости поворота исследуемых валов относительно обобщенной координаты. Важно то, что это понятие позволяет раскрыть динамику механических систем без такого параметра, как время.

Найдем аналоги угловых скоростей для исследуемых валов, для чего установим связь между углами поворотов зубчатых колес. В соответствии с [14], связь между углами поворота размерами зубчатых колес имеет вид

$$\varphi_1 r_1 = \varphi_2 r_2 \quad (17)$$

$$\varphi_2 r_{22} = \varphi_3 r_3 \quad (18)$$

Продифференцируем (17) и (18)

$$r_1 d\varphi_1 = r_2 d\varphi_2 \quad (19)$$

$$r_{22} d\varphi_2 = r_3 d\varphi_3 \quad (20)$$

Из (19) выразим  $d\varphi_2$  через  $d\varphi_1$

$$d\varphi_2 = \frac{r_1}{r_2} d\varphi_1 \quad (21)$$

Тогда с учетом (21), выражение (20) примет вид

$$\frac{r_1}{r_2} r_{22} d\varphi_1 = r_3 d\varphi_3 \quad (22)$$

Из (21) и (22) найдем аналоги угловых скоростей

$$\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = \frac{r_1}{r_2} \quad (23)$$

$$\frac{d\varphi_3}{d\varphi_1} = \frac{r_1 r_{22}}{r_2 r_3} \quad (24)$$

С учетом (15) и (16), подставим (23) и (24) в (14), в результате получим

$$T = \frac{\omega_1^2}{2} \left( \frac{1}{2} m_1 r_1^2 + \frac{1}{2} (m_1 r_1^2 + m_{22} r_{22}^2) \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 + \frac{1}{2} m_3 r_3^2 \left( \frac{r_1 r_{22}}{r_2 r_3} \right)^2 \right) \quad (25)$$

Обозначим

$$I_{np} = \frac{1}{2} m_1 r_1^2 + \frac{1}{2} (m_1 r_1^2 + m_{22} r_{22}^2) \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 + \frac{1}{2} m_3 r_3^2 \left( \frac{r_1 r_{22}}{r_2 r_3} \right)^2 \quad (26)$$

где  $I_{np}$  приведенный момент инерции редуктора.

Из теории зубчатого зацепления [14] известно, что

$$d = 2r = mz \quad (27)$$

где:  $d, m, z$  - соответственно, делительный диаметр, модуль и число зубьев колеса.

Подставив (27) в (26), найдем

$$I_{np} = \frac{1}{2} m_1 r_1^2 + \frac{1}{2} (m_1 r_1^2 + m_{22} r_{22}^2) \left( \frac{z_1}{z_2} \right)^2 + \frac{1}{2} m_3 r_3^2 \left( \frac{z_1 z_{22}}{z_2 z_3} \right)^2 \quad (28)$$

Последнее выражение (28) полностью коррелирует с ранее полученным выражением в [12]. Это свидетельствует о правильности составленных уравнений.

С учетом (26) кинетическая энергия редуктора (14), определится

$$T = \frac{I_{np} \omega_1^2}{2} \quad (29)$$

Определим работу действующих на валы редуктора моментов сил.

На входной вал редуктора (рис.1) действует постоянный движущий момент  $M$ , а к промежуточному валу 2 и выходному валу 3 приложены, соответственно, постоянные моменты сопротивления  $M_{c2}$  и  $M_c$ . Следовательно, работа  $A$  определится

$$A = \sum A_i = A_1 + A_2 + A_3, \quad (30)$$

где  $A_1, A_2, A_3$  – работы, соответственно, моментов  $M$ ,  $M_{c2}$  и  $M_c$ .

Работы моментов валов редуктора определяются

$$A_1 = M\varphi_1, \quad (31) \quad A_2 = M_{c2}\varphi_2, \quad (32) \quad A_3 = M_c\varphi_3. \quad (33)$$

Связь между углами поворота валов имеет вид

$$\varphi_2 = \frac{r_1}{r_2} \varphi_1 \quad (34) \quad \varphi_3 = \frac{r_1 r_{22}}{r_2 r_3} \varphi_1 \quad (35)$$

С учетом (31-35), работа (30) моментов, действующих на валы редуктора, определится

$$A = \varphi_1 \left( M - M_{c2} \frac{r_1}{r_2} - M_c \frac{r_1 r_{22}}{r_2 r_3} \right), \quad (36)$$

Так как выражение, стоящее в скобках (36) постоянно по величине, то обозначим его  $B$

$$B = M - M_{c2} \frac{r_1}{r_2} - M_c \frac{r_1 r_{22}}{r_2 r_3} \quad (37)$$

С учетом (37), работа (36), действующих на редуктор моментов, определится

$$A = B\varphi_1. \quad (38)$$

Для исследования движения валов редуктора, подставим (2), (29) и (38) в (1), в результате получим

$$\frac{I_{np} \omega_1^2}{2} = B\varphi_1 \quad (39)$$

Из (39) найдем угловую скорость входного вала редуктора

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{2B}{I_{np}}} \varphi_1 \quad (40)$$

Представим (40) в виде

$$\frac{d\varphi_1}{dt} = \sqrt{\frac{2B}{I_{np}}} \varphi_1 \quad (41)$$

После интегрирования (41), найдем закон движения входного вала редуктора

$$\varphi_1 = \frac{Bt^2}{2I_{np}} + C, \quad (42)$$

где  $C$  - постоянная интегрирования.

При принятых начальных условиях, что при  $t=0$  начальная скорость входного вала и угол его поворота равны нулю ( $\omega_0=0, \varphi_0=0$ ), то  $C=0$

С учетом, что  $C=0$  закон движения входного вала (42) примет вид

$$\varphi_1 = \frac{Bt^2}{2I_{np}} \quad (43)$$

Подставив (43) в (40), найдем угловую скорость колесницы.

$$\omega_1 = \frac{Bt}{I_{np}} \quad (44)$$

Итак, скорость и закон движения входного вала редуктора определены. Для определения законов движения промежуточного и выходного валов, подставим  $\varphi_1$  в (34) и (35). В результате получим

$$\varphi_2 = \frac{Br_1}{2r_2 I_{np}} t^2, \quad (45) \quad \varphi_3 = \frac{Br_1 r_{22}}{2r_2 r_3 I_{np}} t^2. \quad (46)$$

### ***Модифицированное уравнение Лагранжа II рода***

Для частного случая движения механической системы, когда  $m=const, I=const$  и при скоростях тел, не зависящих от обобщенных координат, в [6] были получены уравнения, которые имеют следующий вид

$$m_{npi} u_i = Q_i \quad (47)$$

где:  $m_{npi}$  - приведенная мера инерции (масса, момент инерции)  $i$ -го тела;  $Q_i$  -  $i$ -тая обобщенная сила;  $u_i$  - соответствующее движению ускорение;  $u_i = a$  и  $u_i = \varepsilon$  при поступательном и вращательном движении, соответственно.



Применим (47) для исследования двухступенчатого цилиндрического редуктора.

Так как для рассматриваемого редуктора  $I_{np} = const$  (см. (23)), то, воспользуемся модифицированным уравнением Лагранжа.

Найдем скорость и закон перемещение входного вала редуктора.

Так как входной вал совершает вращательное движение, то, в соответствии с (47), его движение будет описываться уравнением

$$I_{np} \varepsilon_1 = Q, \quad (48)$$

где:  $I_{np}$  - приведенный момент инерции редуктора;  $\varepsilon_1 = \frac{d\omega_1}{dt}$  - угловое ускорение входного вала;  $Q = \frac{\delta A}{\delta \varphi_1}$  - обобщенная сила;  $\delta \varphi_1$  - виртуальное перемещение входного вала;  $\delta A$  - работа моментов сил, действующих на валы редуктора, на виртуальном перемещении.

Представим (48) в виде

$$I_{np} \frac{d\omega_1}{dt} = Q. \quad (49)$$

Для определения обобщенной силы, сообщим валам редуктора виртуальные перемещения (на рис.1 эти перемещения не показаны).

Работа валов на виртуальном перемещении в соответствии с (36) определится

$$\delta A = \left( M - M_{c2} \frac{r_1}{r_2} - M_c \frac{r_1 r_{22}}{r_2 r_3} \right) \delta \varphi_1. \quad (50)$$

Из (50) следует, что обобщенная сила  $Q$  будет

$$Q = M - M_{c2} \frac{r_1}{r_2} - M_c \frac{r_1 r_{22}}{r_2 r_3}. \quad (51)$$

С учетом (38) обобщенная сила определится

$$Q = B. \quad (52)$$

Подставив (52) в (49), получим дифференциальное уравнение движения (вращения) входного вала редуктора

$$(53)$$

Разделив переменные и проинтегрировав (53), найдем, соответственно, угловую скорость и закон движения входного вала редуктора

$$\omega_1 = \frac{B}{I_{np}}t + C_1, \quad (54) \quad \varphi_1 = \frac{B}{2I_{np}}t^2 + C_1t + C_2, \quad (55)$$

где  $C_1, C_2$ ,- постоянные интегрирования.

При принятых начальных условиях, что при  $t=0$   $\omega_0=0$  и  $\varphi_0=0$

$$C_1 = 0, \quad (56) \quad C_2 = 0. \quad (57)$$

С учетом (56) и (57), угловая скорость и закон движения входного вала редуктора, соответственно, определяются

$$\omega_1 = \frac{B}{I_{np}}t, \quad (58) \quad \varphi_1 = \frac{B}{2I_{np}}t^2 \quad (59)$$

Сравнивая между собой угловые скорости и законы движения входного вала редуктора (43), (44) и (58), (59), видно, что они полностью совпадают между собой. Это свидетельствует о правильности следствий и теорем, полученных в [5] и [6]. Следовательно, полученные в [6] теоремы и уравнения являются корректным и поэтому они могут быть рекомендованы для исследования механических систем, у которых звенья (материальные тела) совершают вращательные движения.

Так же сравнивая между собой скорости и законы движения зубчатых колес, найденные в [12] и настоящей работе видно, что они также совпадают между собой. Это свидетельствует о возможности исследования механических систем, у которых звенья совершают только вращательные движения, с помощью таких понятий как аналоги скоростей и ускорений.

### **Выводы**

Применение понятий аналогов скоростей и ускорений, можно эффективно применять как для изучения законов движения материальных объектов природы, так и для исследования механических систем, которые имеют в своем состав только вращающиеся тела.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ньютон Исаак. Математические начала натуральной философии.- М.: Наука, 1989. – 688с.
2. Смелягин А.И. Объекты, для которых сформулированы аксиомы или законы классической механики. // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). Научный журнал. №1. – Краснодар: издательский Дом – Юг, 2014. с.21-25
3. Смелягин А.И. Аксиомы или законы движения сформулировал И. Ньютон. // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). Научный журнал. №2. – Краснодар: издательский Дом – Юг, 2014. с.11-16
4. Смелягин А.И. Основные, первичные понятия механики. // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). Научный журнал. №2. – Краснодар: издательский Дом – Юг, 2014. с.17-26
5. Смелягин А.И. Аксиомы движения материальных тел. // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). Научный журнал. №3. – Краснодар: издательский Дом – Юг, 2014. с.19-34.
6. Смелягин А.И. Теоремы, принципы и уравнения механики. // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). Научный журнал. №4. – Краснодар: издательский Дом – Юг, 2014. с.21-29
7. Смелягин А.И. Применение новых аксиом и следствий из них для исследования движений материальных тел. // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). Научный журнал. №1. – Краснодар: издательский Дом – Юг, 2015. с.19-27
8. Смелягин А.И. О необоснованности применения законов Ньютона для исследования динамики машин или современные аксиомы движения материальных тел и следствия из них. // В сборнике: проблемы механики современных машин. Материалы VI международной конференции. Ответственный редактор В.С. Балбаров. 2015. с. 344-350.
9. Смелягин А.И. Современные аксиомы движения материальных тел и следствия из них. // В сборнике: XI Всероссийский съезд по фундаментальным

проблемам теоретической и прикладной механики. Сборник докладов. Составители: Д.Ю. Ахметов, А.Н. Герасимов, Ш.М. Хайдаров; Ответственные редакторы: Д.А. Губайдуллин, А.И. Елизаров, Е.К. Липачев. 2015. с. 3500-3502.

10. Смелягин А.И. Современные аксиомы и следствия из них для исследования динамики машин. // В сборнике: Инновации в машиностроении (ИНМАШ-2015) сборник трудов VII Международной научно-практической конференции. Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Новосибирский государственный технический университет, Бийский технологический институт, МИП Техмаш; под редакцией Блюменштейна В.Ю. Баканова А.А. Останина О.А.. 2015. с. 526-529.

11. Смелягин А.И. Применение новых аксиом и следствий для исследования движений механических систем. // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2015. № 2. с. 19-26.

12. Смелягин А.И. Применение новых аксиом и следствий для исследования механических систем вращательного движения. // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2015. № 3. с. 19-27.

13. Смелягин А.И. Применение новых аксиом и следствий для исследования движения колесницы. // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. 2015. № 10. с. 47-62.

14. Смелягин А.И. Теория механизмов и машин. Курсовое проектирование. – М.: ИНФРА-М, 2003. - 263с.

15. Смелягин А.И., Приходько А.А. Кинематический анализ сложного исполнительного механизма возвратно-вращательного перемешивающего устройства // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2014. – № 4. – С. 79-86.

16. Prikhodko A.A., Smelyagin A.I. Kinematic analysis of mechanism for converting rotational motion into reciprocating rotational motion // Procedia Engineering. – 2015. – Т.129. – pp. 87-92.

## REFERENCES

1. Nyuton Isaak. Matematicheskie nachala naturalnoy filosofii.- M.: Nauka, 1989. – 688s.
2. Smelyagin A.I. Obekty, dlya kotorykh sformulirovany aksiomy ili zakony klassicheskoy mekhaniki. // Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (politekhnicheskiy vestnik). Nauchnyy zhurnal. №1. – Krasnodar: izdatelskiy Dom – Yug, 2014. s.21-25
3. Smelyagin A.I. Aksiomy ili zakony dvizheniya sformuliroval I. Nyuton. // Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (politekhnicheskiy vestnik). Nauchnyy zhurnal. №2. – Krasnodar: izdatelskiy Dom – Yug, 2014. s.11-16
4. Smelyagin A.I. Osnovnye, pervichnye ponyatiya mekhaniki. // Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (politekhnicheskiy vestnik). Nauchnyy zhurnal. №2. – Krasnodar: izdatelskiy Dom – Yug, 2014. s.17-26
5. Smelyagin A.I. Aksiomy dvizheniya materialnykh tel. // Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (politekhnicheskiy vestnik). Nauchnyy zhurnal. №3. – Krasnodar: izdatelskiy Dom – Yug, 2014. s.19-34.
6. Smelyagin A.I. Teoremy, printsipy i uravneniya mekhaniki. // Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (politekhnicheskiy vestnik). Nauchnyy zhurnal. №4. – Krasnodar: izdatelskiy Dom – Yug, 2014. s.21-29
7. Smelyagin A.I. Primenenie novykh aksiom i sledstviy iz nikh dlya issledovaniya dvizheniy materialnykh tel. // Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (politekhnicheskiy vestnik). Nauchnyy zhurnal. №1. – Krasnodar: izdatelskiy Dom – Yug, 2015. s.19-27
8. Smelyagin A.I. O neobosnovannosti primeneniya zakonov Nyutona dlya issledovaniya dinamiki mashin ili sovremennye aksiomy dvizheniya materialnykh tel i sledstviya iz nikh. // V sbornike: problemy mekhaniki sovremennykh mashin. Materialy VI mezhdunarodnoy konferentsii. Otvetstvennyy redaktor V.S. Balbarov. 2015. s. 344-350.
9. Smelyagin A.I. Sovremennye aksiomy dvizheniya materialnykh tel i sledstviya iz nikh. // V sbornike: XI Vserossiyskiy sezd po fundamentalnym

problemam teoreticheskoy i prikladnoy mekhaniki. Sbornik dokladov. Sostaviteli: D.Yu. Akhmetov, A.N. Gerasimov, Sh.M. Khaydarov; Otvetstvennye redaktory: D.A. Gubaydullin, A.I. Elizarov, E.K. Lipachev. 2015. s. 3500-3502.

10. Smelyagin A.I. Sovremennye aksiomy i sledstviya iz nikh dlya issledovaniya dinamiki mashin. // V sbornike: Innovatsii v mashinostroenii (INMASH-2015) sbornik trudov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet imeni T.F. Gorbacheva, Altayskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet im. I.I. Polzunova, Novosibirskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, Biyskiy tekhnologicheskii institut, MIP Tekhmash; pod redaktsiey Blyumenshteyna V.Yu. Bakanova A.A. Ostanina O.A.. 2015. s. 526-529.

11. Smelyagin A.I. Primenenie novykh aksiom i sledstviy dlya issledovaniya dvizheniy mekhanicheskikh sistem. // Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (politekhnicheskii vestnik). 2015. № 2. s. 19-26.

12. Smelyagin A.I. Primenenie novykh aksiom i sledstviy dlya issledovaniya mekhanicheskikh sistem vrashchatelnogo dvizheniya. // Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (politekhnicheskii vestnik). 2015. № 3. s. 19-27.

13. Smelyagin A.I. Primenenie novykh aksiom i sledstviy dlya issledovaniya dvizheniya kolesnitsy. // Nauchnye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. 2015. № 10. s. 47-62.

14. Smelyagin A.I. Teoriya mekhanizmov i mashin. Kursovoe proektirovanie. – M.: INFRA-M, 2003. - 263s.

15. Smelyagin A.I., Prihodko A.A. Kinematicheskii analiz slozhnogo ispolnitelnogo mekhanizma vozvratno-vrashchatelnogo peremeshivayushchego ustroystva // Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (politekhnicheskii vestnik). – 2014. – № 4. – S. 79-86.

16. Prihodko A.A., Smelyagin A.I. Kinematic analysis of mechanism for converting rotational motion into reciprocating rotational motion // Procedia Engineering. – 2015. – T.129. – pp. 87-92.

*APPLICATION OF ANALOGUE OF SPEED AND ACCELERATION FOR  
INVESTIGATION OF MECHANICAL SYSTEMS OF ROTARY MOTION*

**A.I. SMELYAGIN**

*Kuban State Technological University,  
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072,  
e-mail: asmelyagin@yandex.ru*

In the dynamic analysis of mechanical systems to determine the laws of motion of bodies are used either directly laws (axioms) Newton's equations or derived from these laws. But Newton's laws apply only to non-existent in the nature of the project - the material point. new axioms and theorems derived movement of material objects have been proposed to remedy this situation. It was subsequently demonstrated the efficacy and feasibility of new axioms and theorems to study the movements of bodies and mechanical systems. Developing the application of new theorems apply to study a two-stage helical gear concepts such as velocity analogues accelerations. The results showed the effectiveness of innovation. This allows us to recommend the proposed approaches to a wide practical application for the study of mechanical systems, in which the body perform only rotational movement.

**Key words:** theorem, time, energy, velocity analog, acceleration analog, rotational motion, a mechanical system, the moment of inertia.