

УДК 62–121; 621.01

КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЧЕТЫРЕХЗВЕННОГО НЕАССУРОВА МЕХАНИЗМА

Яскевич Олег Михайлович,

аспирант каф. теории и основ конструирования машин Сибирского
государственного индустриального университета, Россия, 654007,
г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42. E-mail: Yaskevich_omm@mail.ru

Дворников Леонид Трофимович,

д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой теории и основ конструирования
машин Сибирского государственного индустриального университета,
Россия, 654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42. E-mail: tmmiok@yandex.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью исследовать новые механизмы, которые отличаются по своей структуре от Ассуровых, для их последующего использования в практике машиностроения.

Цель работы: обоснование и отработка универсального метода исследования механизмов вне зависимости от их структуры, а также звена, принятого за неподвижное, на примере кинематического исследования нового запатентованного неассурова механизма; определение тензоров перехода для используемых в этом механизме кинематических пар; получение графических зависимостей относительного расположения звеньев по отношению к входному звену.

Методы исследования: аналитический метод преобразования однородных координат, также известный как метод винтовых аффиноров. Углы Эйлера использовались для определения относительных угловых перемещений звеньев.

Результаты. Составлен алгоритм исследования механизмов, в том числе и неассуровых. Определены тензоры преобразования одноподвижной вращательной кинематической пары V класса, двухподвижной пары IV класса, реализованной на основе гидроцилиндра и поршня, и трехподвижного сферического шарнира III класса. Получены графические зависимости всех неизвестных переменных, определяющих относительное расположение звеньев исследуемого механизма в пространстве.

Выводы. Обоснован и отработан универсальный метод исследования механизмов вне зависимости от их структуры; если механизм синтезируется на основе замкнутой цепи Грюблера, и его кинематика решается рассмотренным методом, то в результате будут получены универсальные данные об относительном расположении звеньев для группы аналогичных механизмов, отличающихся звеном, принятым в качестве стойки; алгоритм создания тензора перехода от одной системы координат к другой приведен в статье неоднократно, аналогичный подход позволяет аналитически описать любое, не рассмотренное в статье, сочленение двух смежных звеньев.

Практическое применение. При работе штанговых насосов станков-качалок в установках механизированной добычи нефти насос использует возвратно-поступательное движение, приводимое штангой станка-качалки. Если привести в движение пространственный четырехзвенный механизм при помощи коромысла, то будет обеспечено возвратно-поступательное перемещение выходного звена (поршня). Такая схема может использоваться в качестве аналога станков-качалок в установках механизированной добычи нефти.

Ключевые слова:

Новый несуров механизм, аналитический метод, тензоры преобразования кинематических пар, относительное расположение звеньев, станок-качалка, штанговый насос, самоустанавливающийся механизм.

На современном уровне развития техники и технологий, несмотря на обилие теоретически описанных и применяющихся на производстве механизмов, появляется необходимость в совершенствовании имеющихся и разработке новых простых и дешевых технических решений. При этом значительное количество как пространственных, так и плоских кинематических цепей, остаются не исследованными.

При изучении кинематики механизмов, звенья которых имеют относительные движения в одной плоскости или в параллельных плоскостях, широкое применение имеют графический и графоаналитический методы (метод кинематических диаграмм и метод планов скоростей и ускорений). Эти методы практически неприемлемы для исследования пространственных механизмов, где звенья могут иметь сколь угодно сложные относительные движения в полном декартовом пространстве. Задача кинематического исследования существенно

усложняется, если исследуемые пространственные механизмы оказываются неассуровыми. Под неассуровыми [1–8] понимается такой механизм, в котором входное звено соединяется с неподвижным (со стойкой) в неподвижную кинематическую пару. При этом общая структура таких механизмов реализуется присоединением к ведущему звену цепей, отличающихся от групп нулевой подвижности, т. е. от групп Ассура, для которых подвижность группы W_{Γ} равняется нулю. Присоединяемые к ведущему звену цепи неассуровых механизмов оказываются цепями отрицательной подвижности, а именно $W_{\Gamma}=-1$, если на входе применяется двухподвижная пара, $W_{\Gamma}=-2$ при использовании трехподвижной пары, $W_{\Gamma}=-3$ при четырехподвижной входной паре и $W_{\Gamma}=-4$ при пятиподвижной входной паре.

Особенностью таких структур является то обстоятельство, что входным звеньям задается единственное определенное движение, а остальные по-

движности они приобретают в процессе взаимодействия с другими звеньями цепи. Неассуровы механизмы при кинематическом их исследовании могут рассматриваться лишь как неразделимые цепи. В этой статье исследуется задача о положениях абсолютно нового механизма, защищенного патентом РФ [9], являющегося по своей структуре неассуровым.

Наиболее предпочтительным методом кинематического исследования таких механизмов является аналитический метод преобразования координат, который получил широкое применение при исследовании открытых кинематических цепей, а именно промышленных манипуляторов [10–19].

Прежде всего, покажем некий общий случай преобразования системы координат $O_1x_2y_2z_2$ к системе $O_0x_0y_0z_0$, (рис. 1). Пусть точка K имеет в пространственной системе координат $O_1x_2y_2z_2$ координаты $X_{K2}Y_{K2}Z_{K2}$. Чтобы найти эту точку в системе координат $O_0x_0y_0z_0$, необходимо вначале преобразовать $O_1x_2y_2z_2$ в систему координат $O_1x_1y_1z_1$, развернув оси координат по трем углам Эйлера φ_{21} , θ_{21} и ψ_{21} таким образом, чтобы далее можно было перенести её на расстояние l_1 , перейдя в систему координат $O_0x_1y_1z_1$. Затем преобразовать систему $O_0x_1y_1z_1$ в систему $O_0x_0y_0z_0$, развернув оси координат по углам Эйлера φ_{10} , θ_{10} и ψ_{10} .

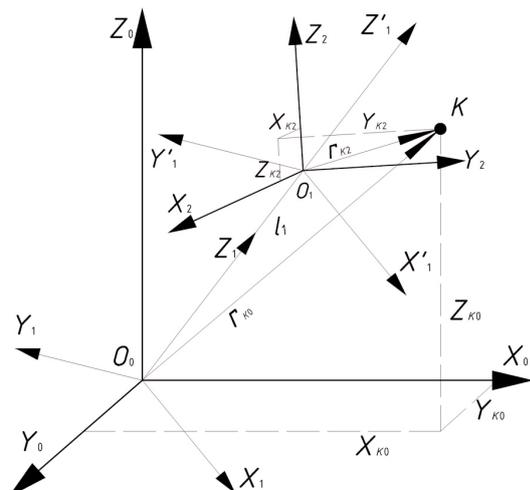


Рис. 1. Преобразование систем координат в три этапа

Fig. 1. Coordinate system transformation in three stages

Первое преобразование – разворот системы координат $O_1x_2y_2z_2$ по трем углам Эйлера (ψ_{21} , θ_{21} и φ_{21}) и переход к системе координат $O_1x_1y_1z_1$ запишется в виде матрицы:

$$r_{K1} = r_{K2} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & ab - cde & db - aec & df \\ 0 & -ae - cdb & -de + abc & -bf \\ l_1 & df & af & c \end{pmatrix},$$

$$a = \cos \psi_{21}; \quad b = \cos \varphi_{21}; \quad c = \cos \theta_{21};$$

$$d = \sin \psi_{21}; \quad e = \sin \varphi_{21}; \quad f = \sin \theta_{21}, \quad (1)$$

Элемент l_1 в последней строке первого столбца матрицы (1) определяет перенос начала системы координат $O_1x_1y_1z_1$ из точки O_1 в O_0 .

Второе преобразование – переход от системы $O_0x_1y_1z_1$ к $O_0x_0y_0z_0$ запишется в виде

$$r_{K0} = r_{K1} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & ab - cde & db + aec & df \\ 0 & -ae - cdb & -de + abc & -bf \\ 0 & df & ad & c \end{pmatrix},$$

$$a = \cos \psi_{10}; \quad b = \cos \varphi_{10}; \quad c = \cos \theta_{10};$$

$$d = \sin \psi_{10}; \quad e = \sin \varphi_{10}; \quad f = \sin \theta_{10}.$$

Матрицы преобразования систем координат называются тензорами преобразования i -й системы координат в j -ю и записываются в виде $T^{(i,j)}$.

Радиус вектор r_{k0} в общем виде записывается в следующей форме:

$$r_{k0} = r_{k2} T^{(1,0)} T^{(2,1)}.$$

Таким образом, при заданном радиусе векторе r_{k2} можно определить координаты точки k в любой другой системе координат.

Если произвести последовательные преобразования систем координат вдоль замкнутого контура звеньев начиная с некоторого звена или некоторой системы координат и вернуться к исходной системе координат, то такое преобразование будет являться тождественным. Это означает, что произведение тензоров равно единичному тензору E , которому ставится в соответствие единичная матрица, и уравнение движения для замкнутой цепи записывается в общем виде как

$$T^{(2,1)} \cdot T^{(3,2)} \cdot \dots \cdot T^{(n,n-1)} \cdot T^{(1,n)} = E. \quad (2)$$

Приравнивая соответствующие элементы результирующей матрицы и единичной, получим систему из двенадцати уравнений для пространственной кинематической цепи, так как элементы первых строк матрицы приводят к тождествам вида $1=1$ и $0=0$, не представляющим интереса. Обращаем внимание на то, что в произведении (2) тензоры располагаются слева направо в последовательности, противоположной преобразованиям систем координат.

Матрица вида $T^{(i,j)}$ описывает сущность любой кинематической пары. В зависимости от того, сколько движений реализует кинематическая пара, столько переменных используется в этой матрице.

Использование метода преобразования координат для замкнутых цепей, коими являются, в частности, неассуровы механизмы, требует выработки специального алгоритма решения, сводящегося к выбору неподвижной декартовой системы координат, относительно которой рассматривается весь механизм, и к последовательному приведению к ней координат начал всех подвижных систем координат, входящих в исследуемую цепь звеньев.

Так, при изучении относительных движений звеньев пространственного механизма, показанного на рис. 2, центры пар O_1 и O_4 освобождаются от связи с неподвижной опорой, фиксируются друг относительно друга размером L_4 и вся цепь рассматривается как цепь, обладающая семью подвижностями – шестью совместными движениями и одним относительным между входным – 1 и выходным – 3 звеньями.

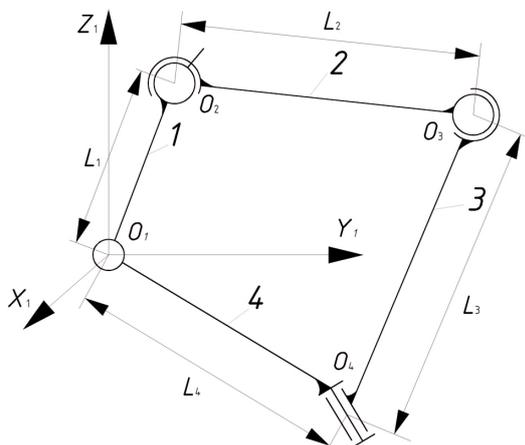


Рис. 2. Пример пространственной кинематической цепи, освобожденной от связей со стойкой: 1–4) звенья кинематической цепи

Fig. 2. Example of spatial kinematic chain removed from links with a holder: 1–4 are the links of kinematic chain

Связывая далее центр одной из кинематических пар с неподвижной системой координат, путем последовательного преобразования систем координат других кинематических пар, поворотами их на углы Эйлера и смещениями их на соответствующие длины звеньев, можно найти закон расположения центров всех кинематических пар относительно неподвижной системы координат.

Этот закон определяется относительными углами между звеньями и длинами звеньев, откуда становится возможным решить задачу о положениях звеньев, а далее путем дифференцирования полученных уравнений по времени найти относительные скорости и ускорения звеньев.

Рассмотренный выше метод является наиболее приемлемым для кинематического исследования пространственного неассурова механизма, кинематическая схема которого изображена на рис. 3. Применяя рассмотренный метод, каждому звену механизма присвоена однородная система координат, центр каждой такой системы координат находится в центре кинематических пар, связывающих звенья 1 и 2, 2 и 3, 3 и 4, 4 и 1 соответственно. Относительное расположение двух смежных звеньев характеризуется матрицей перехода от предыдущей системы координат к следующей.

Изображенный механизм приводится в движение поршнем 2, который движется поступательно и вращается относительно собственной оси. Поступательное движение поршня 2 является заданным, а его вращение определяется особенностью

связей остальных звеньев механизма. Механизм состоит из стойки – 1, поршня – 2, шатуна – 3 и коромысла – 4.

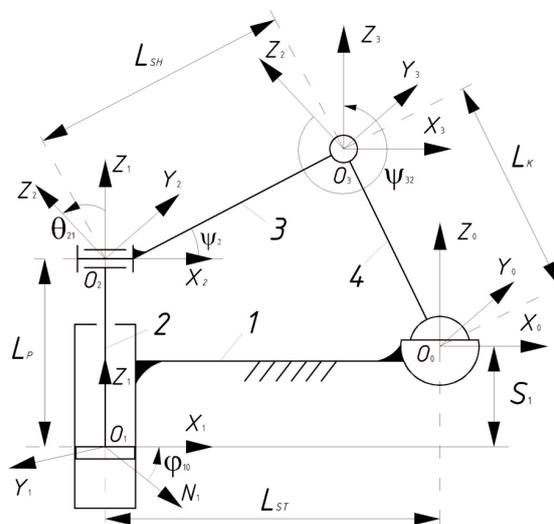


Рис. 3. Кинематическая схема неассурова пространственного механизма: 1) стойка; 2) поршень; 3) шатун; 4) пространственное коромысло

Fig. 3. Kinematic chain of not-assurian spatial mechanism: 1) holder; 2) piston; 3) connecting rod; 4) spatial rocker

Движение поршня 2 относительно стойки 1 характеризуется переменной S_1 , определяющей поступательное перемещение поршня, а возможность его поворота относительно стойки определяется углом собственного вращения φ_{10} .

Начало системы координат $O_0x_0y_0z_0$ связывается со стойкой 1 и находится в центре сферической кинематической пары. Начало системы координат $O_1x_1y_1z_1$ относится к поршню 2 и располагается на оси вращения поршня относительно стойки O_1z_1 .

Направления осей O_0z_0 и O_1z_1 параллельны, поэтому системы координат $O_0x_0y_0z_0$ и $O_1x_1y_1z_1$ совмещены по углам прецессии и нутации, т. е. $\psi_{10}=0$ и $\theta_{10}=0$. Подставив эти углы в матрицу, описывающую преобразование углов Эйлера, получим тензор преобразования системы координат $O_1x_1y_1z_1$ к $O_0x_0y_0z_0$, который примет вид

$$T^{(1,0)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ L_{CT} & \cos(\varphi_{10}) & -\sin(\varphi_{10}) & 0 \\ 0 & \sin(\varphi_{10}) & \cos(\varphi_{10}) & 0 \\ S_1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

где L_{CT} – длина стойки – расстояние, равное смещению начала системы координат $O_1x_1y_1z_1$ относительно $O_0x_0y_0z_0$; S_1 – заданная переменная, характеризующая поступательное движение поршня; φ_{10} – угол собственного вращения, неизвестная переменная, характеризующая угол поворота поршня 2 относительно стойки.

Движение шатуна – 3 относительно поршня – 2 характеризуется нутацией θ_{21} шатуна – 3.

Начало системы координат $O_2x_2y_2z_2$ относится к шатуну и находится в центре вращательной кинематической пары, соединяющей поршень и шатун. Вращение происходит относительно оси O_2x_2 . Направления осей O_1x_1 и O_2x_2 параллельны, поэтому системы координат $O_2x_2y_2z_2$ и $O_1x_1y_1z_1$ совмещены по углам прецессии и собственного вращения, т. е. $\psi_{21}=0$ и $\varphi_{21}=0$. После подстановки этих углов в матрицу, описывающую преобразование углов Эйлера, тензор примет вид

$$T^{(2,1)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos(\theta_{21}) & \sin(\theta_{21}) \\ L_{\Pi} & 0 & -\sin(\theta_{21}) & \cos(\theta_{21}) \end{pmatrix},$$

где L_{Π} – длина поршня – расстояние, равное смещению начала системы координат $O_2x_2y_2z_2$ относительно $O_1x_1y_1z_1$; θ_{21} – неизвестная переменная, характеризующая угол поворота шатуна относительно поршня.

Движение коромысла – 4 относительно шатуна – 3 определяется прецессией коромысла на угол ψ_{32} . Начало системы координат $O_3x_3y_3z_3$ относится к коромыслу и располагается в центре вращательной кинематической пары, соединяющей шатун и коромысло. Вращение происходит относительно оси O_3y_3 .

Разворачивая систему координат $O_2x_2y_2z_2$ на угол ψ_2 так, чтобы ось O_2x_2' совпала с направлением звена – 3, и перенеся начало системы координат $O_2x_2'y_2'z_2'$ в точку O_3 , можно найти вращение коромысла – 4 относительно шатуна – 3.

Тензор преобразования системы координат $O_2x_2y_2z_2$ в $O_3x_3'y_3'z_3'$ запишется в следующем виде:

$$T^{(2',2)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ L_{\text{III}} & \cos(\psi_2) & \sin(\psi_2) & 0 \\ 0 & -\sin(\psi_2) & \cos(\psi_2) & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

где ψ_2 – угол наклона звена – 3 к оси O_2x_2 (является постоянной величиной); L_{III} – длина шатуна – расстояние, характеризующее смещение начала системы координат $O_3x_3y_3z_3$ относительно $O_2x_2y_2z_2$.

Выполненное преобразование учитывает геометрические параметры шатуна – 3 и не содержит переменных, поэтому тензор является постоянным и выражается числом.

Направления осей O_2y_2 и O_3y_3 параллельны, поэтому системы координат $O_3x_3y_3z_3$ и $O_2x_2y_2z_2$ совмещены по углам нутации и собственного вращения, т. е. $\theta_{32}=0$ и $\varphi_{32}=0$. Общий тензор преобразования системы координат $O_2x_2y_2z_2$ в $O_3x_3y_3z_3$ запишется в виде:

$$T^{(3,2)} = T^{(2',2)} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\psi_{32}) & \sin(\psi_{32}) & 0 \\ 0 & -\sin(\psi_{32}) & \cos(\psi_{32}) & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

где ψ_{32} – неизвестная переменная, характеризующая угол поворота коромысла относительно шатуна.

Преобразование системы координат коромысла относительно начальной системы координат $O_0x_0y_0z_0$ изображено отдельно на рис. 4. Движение сферической кинематической пары характеризуется поворотом на три угла Эйлера (ψ_{03} , θ_{03} и φ_{03}).

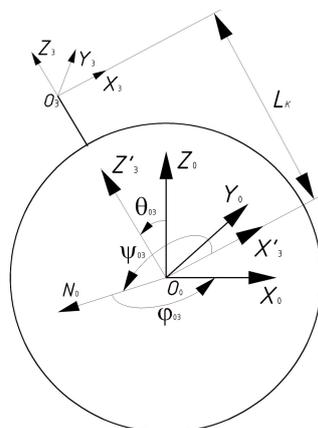


Рис. 4. Преобразование системы координат коромысла относительно начальной системы координат стойки

Fig. 4. Transformation of a rocker coordinate system relative to the original coordinate system of the holder

Матрица, описывающая движение сферической кинематической пары, запишется в виде:

$$T^{(0,3)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & ab - cde & db + aec & af \\ 0 & -ae - cdb & -de + abc & -bf \\ L_K & df & af & c \end{pmatrix},$$

$$a = \cos \psi_{03}; \quad b = \cos \varphi_{03}; \quad c = \cos \theta_{03};$$

$$d = \sin \psi_{03}; \quad e = \sin \varphi_{03}; \quad f = \sin \theta_{03},$$

где L_K – длина коромысла – расстояние, характеризующее смещение начала системы координат $O_3x_3y_3z_3$ относительно $O_0x_0y_0z_0$; ψ_{03} , θ_{03} и φ_{03} – неизвестные переменные, определяющие прецессию, нутацию и собственное вращение коромысла – 3 относительно звена – 1.

Последовательное преобразование систем координат вдоль замкнутого контура является тождественной операцией, а произведение тензоров можно приравнять к единичной матрице (2), которая примет вид

$$T^{(1,0)} \cdot T^{(2,1)} \cdot T^{(3,2)} \cdot T^{(0,3)} = E.$$

После перемножения тензоров, отражающих движения, совершаемые в кинематических парах, полученная матрица решалась в численном виде. Для этого заданы параметры всех звеньев механизма (мм), а именно: $L_{\text{CT}}=166$; $L_{\text{II}}=122$; $L_{\text{III}}=205$; $L_K=120$; $S_1=111$; $\psi_2=30^\circ$.

Результаты расчетов занесены в таблицу, где приведены двенадцать значений всех неизвестных переменных (φ_{10} , θ_{21} , ψ_{32} , ψ_{03} , θ_{03} и φ_{03}).

Таблица. Значения переменных (φ_{10} , θ_{21} , ψ_{32} , ψ_{03} , θ_{03} и φ_{03}) в зависимости от хода поршня (S_1) для 12 положений механизма

Table. Values of the variables (φ_{10} , θ_{21} , ψ_{32} , ψ_{03} , θ_{03} и φ_{03}) depending on piston travel (S_1) for 12 positions of the mechanism

S_1 , мм (mm)	φ_{10}		θ_{21}		ψ_{32}		ψ_{03}	θ_{03}	φ_{03}
	рад/rad								
	+/-	+/-					+/-	+/-	
0	0,84	0,93	-0,35	0,24	0,331	1,17	1,41		
9,31	0,85	0,87	-0,33	0,22	0,317	1,11	1,43		
18,61	0,85	0,80	-0,31	0,20	0,299	1,04	1,45		
27,92	0,86	0,73	-0,29	0,18	0,277	0,97	1,44		
37,17	0,85	0,66	-0,27	0,16	0,257	0,90	1,43		
55,75	0,80	0,49	-0,23	0,10	0,240	0,73	1,36		
65,04	0,75	0,41	-0,20	0,07	0,260	0,64	1,27		
74,34	0,68	0,31	-0,18	0,05	0,284	0,54	1,16		
83,63	0,57	0,24	-0,15	0,02	0,308	0,42	0,98		
92,92	0,39	0,16	-0,12	0,00	0,331	0,27	0,69		
102,21	0,05	0,01	-0,09	-0,02	0,350	0,06	0,17		
111,51	0	0	-0,06	0,360	0	0			

Из таблицы видно, что углы φ_{10} , θ_{21} , ψ_{32} , θ_{03} и φ_{03} принимают по два значения при одном и том же положении поршня. Это связано с тем, что из крайнего верхнего положения механизм может «наклониться» влево или вправо относительно стойки, при этом изменяется лишь знак угла.

На рис. 5 приведена кривая, отражающая изменение угла φ_{10} , в зависимости от положения входного звена. Отрицательные значения углов определяют наклон механизма влево относительно звена – 1, а положительные значения – вправо.

Первый столбец переменной ψ_{32} (только отрицательные значения) соответствует наклону механизма влево относительно стойки – 1, второй столбец переменной ψ_{32} соответствует наклону механизма вправо относительно звена – 1. Закон изменения ψ_{03} не зависит от того в какую сторону наклоняется механизм.

Таким образом, кинематика нового пространственного неассурова механизма полностью исследована, получены законы относительного углового перемещения всех смежных звеньев. Рассмотренный способ позволяет решить задачу о положениях для любого, в том числе и неассурова, меха-

низма у которого группа звеньев, взятая за исключением ведущего звена, обладает отрицательной подвижностью и является статически неопределимой. Немаловажной особенностью этого метода является то, что если в рассмотренной замкнутой кинематической цепи механизма принять в качестве стойки любое другое звено, законы относительного расположения звеньев не изменятся.

Возможная область применения рассматриваемого механизма включает в себя такие отрасли промышленности как металлургия, станкостроение, горнодобывающая и нефтедобывающая отрасли. В качестве примера можно привести механизмы ориентации заготовок, работающих на конвейерном производстве, дозаторы сыпучих или жидких тел, разлилочные устройства, аппараты точечной сварки на конвейерах машиностроения для позиционирования рабочего органа сварочной машины.

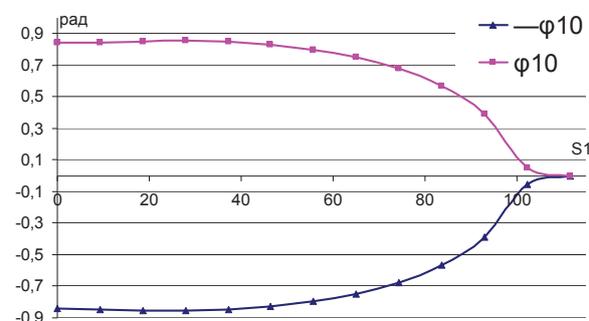


Рис. 5. Переменная φ_{10} в 12 различных положениях механизма

Fig. 5. Variable φ_{10} in 12 different positions of the mechanism

Исследованный механизм может использоваться в нефтедобывающей отрасли в качестве аналога станков-качалок штанговых насосов [20, 21]. Если за ведущее звено принять пространственное коромысло, то при качании коромысла поршень выходного звена получит возвратно-поступательные перемещения, необходимые для работы штангового насоса. К достоинствам новой конструкции стоит отнести пространственную кинематическую цепь, которая не требует строгой параллельности или перпендикулярности при соединении звеньев, механизм является самоустанавливающимся по своей структуре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дворников Л.Т. Основы всеобщей (универсальной) классификации механизмов // Теория механизмов и машин. – 2011. – № 2 (9). – С. 4–37.
2. Пожбелко В.И. Универсальная теория структуры, общие свойства и алгоритмы направленного синтеза и анализа статически определимых систем. Ч. 1. Оптимальная структура механизмов и ферм // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 2014. – № 1. – С. 24–35.
3. Пожбелко В.И. Структурный синтез и конструирование рычажных и планетарных самоустанавливающихся механизмов // ЮУрГУ. Машиностроение. – 2011. – № 31. – С. 4–14.
4. Деграве В.С. Особые положения плоских неассуровых групп с

5. Колобовникова И.Н., Яскевич О.М. Структурный анализ и описание пространственного смесительного механизма // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6. – С. 154.
6. Колобовникова И.Н., Яскевич О.М. Моделирование и кинематический анализ пространственного смесительного механизма // Студенческий научный форум: Материалы VI Международной студенческой электронной науч. конф. URL: www.scienceforum.ru/2014/695/7032 (дата обращения: 20.09.2014).
7. Яскевич О.М. Описание и возможное применение пространственного неассурова механизма // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 5 (105). – С. 79–81.

8. Пейсах Э.Е. Структурный синтез замкнутых кинематических цепей (цепей Грюблера). Ч. 1 // Теория механизмов и машин. – 2008. – Т. 6. – № 1 (11). – С. 4–14.
9. Пространственный смесительный механизм: пат. РФ № 248486, 2012104940; заявл. 13.02.2012; опубл. 20.06.2013, Бюл. № 17. – 5 с.
10. Лебедев П.А. Кинематика пространственных механизмов. – М.: Машиностроение, 1966. – 280 с.
11. Машнев М.М., Красковский Е.Я., Лебедев П.А. Теория механизмов и машин и детали машин. – Л.: Машиностроение, 1980. – 512 с.
12. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики: в 2-х т. Т. I. Статика и кинематика. – М.: Наука, 1982. – 352 с.
13. Диментберг Ф.М. Теория пространственных шарнирных механизмов. – М.: Наука, 1982. – 336 с.
14. Доронин Ф.А. К вопросу об определении угловых скоростей звеньев замкнутой кинематической цепи // Теория механизмов и машин. – 2014. – № 1 (23). – С. 41–49.
15. Применение винтового исчисления в современной теории механизмов / В.А. Глазунов, С.Д. Костерева, П.О. Данилин, А.Б. Ласточкин // Вестник научно-технического развития: интернет-журнал. – 2010. – № 6 (34). URL: <http://www.vntr.ru/ftpgetfile.php?id=426> (дата обращения: 20.09.2014).
16. Зиборов К.А., Мацюк И.Н., Шляхов Э.М. Решение векторных уравнений кинематики механизмов с помощью программы MathCad // Теория механизмов и машин. – 2008. – № 1 (11). – С. 64–70.
17. Подольский М.Е. О методе Эйлера в применении к кинематике и динамике твердого тела // Теория механизмов и машин. – 2013. – Т. 11. – № 2 (22). – С. 38–44.
18. Пальмов В.А. Элементы тензорной алгебры и тензорного анализа. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2008. – 108 с.
19. Вильчевская Е.Н. Тензорная алгебра и тензорный анализ. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 42 с.
20. Мохов М.А., Игrevский В.И., Новик Е.С. Станок-качалка. Краткий электронный справочник по основным нефтегазовым терминам с системой перекрестных ссылок. – М.: Российский государственный университет нефти и газа, 2004. – 451 с.
21. Станок-качалка. Горная энциклопедия / под ред. Е.А. Козловского. – М.: Советская энциклопедия, 1984. – Т. 5. – 481 с.

Поступила 13.10.2014 г.

UDC 62–121; 621.01

KINEMATIC RESEARCH OF SPATIAL FOUR-LINK NOT ASSURIAN MECHANISM

Oleg M. Yaskevich,

Siberian State Industrial University, 42, Kirov Street, Novokuznetsk, 654007, Russia. E-mail: Yaskevich_omm@mail.ru

Leonid T. Dvornikov,

Siberian State Industrial University, 42, Kirov Street, Novokuznetsk, 654007, Russia. E-mail: tmmiok@yandex.ru

Relevance of the research is caused by the need to explore new mechanisms that differ in structure from the Assyrians ones, for their subsequent usage in engineering practice.

The main aim of the research is to study and to develop the universal method for researching mechanisms regardless of their structure, as well as the link adopted as the fixed one, on the example of kinematic study of a new patented not-assurian mechanism; to define the transition tensors for the kinematic pairs used in this mechanism; to obtain graphic dependences of the relative links positions to the input member.

The methods used in the study: analytical method for converting homogeneous coordinates, known as a method of screw affinors. Euler angles were used to determine the relative angular displacement of links.

The results. The authors have made an algorithm for studying the mechanisms, including not-assurian ones and determined the transformation tensors for one-mobile rotational kinematic pair of the V class, for two-moving pair of the IV class, implemented on the basis of the hydraulic cylinder and the piston and three-moving spherical joint of the III class. The graphic dependences of all unknown variables determining relative position of links of the studied mechanism in space were obtained.

Conclusions. The paper substantiates the universal method for researching mechanisms regardless of their structure. If the mechanism is synthesized on the basis of the closed Grubler circuit, and its kinematics is researched by the considered methods, the universal solution for a group of analogical mechanisms, that have different link, adopted as a fixed rack, were obtained. The paper introduces the algorithm of creating the transition tensor from one coordinate system to another. A similar approach allows describing analytically any kind of relative connection of two adjacent links, which is not discussed in the article.

Practical application. At rod pump operation in pumping units of the mechanized installations oil pump, the reciprocating movement is used. It is obtained by means of the rod pumping unit. If the spatial four-link mechanism is set in motion by means of the piston, the reciprocating movement of the output member will be assured. This can be used as an analogue of pumping units in oil mechanized installations.

Key words:

New not-assurian mechanism, analytical method, tensors of kinematic pairs transformation, relative positions of links, pumping unit, sucker rod pump, self-aligning mechanism.

REFERENCES

1. Dvornikov L.T. Osnovy vseobshchey (universalnoy) klassifikatsii mekhanizmov [Bases of general (universal) classifications of mechanisms]. *Theory of mechanisms and machines*, 2011, no. 2 (9), pp. 4–37.
2. Pozhbelko V.I. Universalnaya teoriya struktury, obshchie svoystva i algoritmy napravlennoy sinteza i analiza staticheski opredelimykh sistem. Ch. 1. Optimalnaya struktura mekhanizmov i ferm [Universal theory of the structure of the general properties and algorithms for the directed synthesis and analysis of statically determinate systems. P. 1. Optimum structure and mechanisms of farms]. *Proceedings of the higher educational institutions*, 2014, no. 1, pp. 24–35.
3. Pozhbelko V.I. Strukturny sintez i konstruirovaniye rychazhnykh i planetarnykh samoustanavlivayushchikhsya mekhanizmov [Structural synthesis and design of the lever and planetary self-aligning mechanisms]. *YuUrGU. Mashinostroenie*, 2011, no. 31, pp. 4–14.
4. Degrave V.S. Osobyie polozheniya ploskikh neassurovykh grupp s vnutrennimi vkhodami [Special positions of plane non-assur structural groups with internal inputs]. *Theory of mechanisms and machines*, 2006, no. 2 (8), pp. 81–85.
5. Kolobovnikova I.N., Yaskevich O.M. Strukturny analiz i opisaniye prostranstvennogo smesitelnogo mekhanizma [The structural analysis and description of the spatial mixing mechanism]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya nauchno – The successes of modern science*, 2012, no. 6, p. 154.
6. Kolobovnikova I.N., Yaskevich O.M. Modelirovaniye i kinematichesky analiz prostranstvennogo smesitelnogo mekhanizma [Modeling and kinematic analysis of spatial mixing mechanism]. *Materialy VI mezhdunarodnoy studencheskoy elektronnoy nauchnoy konferentsii. Studenchesky nauchny forum*. 2014. Available at: www.scienceforum.ru/2014/695/7032 (accessed 20 September 2014).
7. Yaskevich O.M. Opisaniye i vozmozhnoye primeneniye prostranstvennogo neassurova mekhanizma [Description and possible application of spatial non-assur mechanism]. *Vestnik kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, no. 5 (105), pp. 79–81.
8. Peysax E.E. Strukturny sintez zamknutykh kinematicheskikh tsepey (tsepey Gryublera). [Structural synthesis of closed kinematic chains (Grubler chains). P. 1]. *Theory of mechanisms and machines*, 2008, no. 1 (11), pp. 4–14.
9. Dvornikov L.T., Yaskevich O.M. *Prostranstvenny smesitelny mekhanizm* [Spatial mixing mechanism]. Patent RF, no. 248486, 2012104940, 2013.
10. Lebedev P.A. *Kinematika prostranstvennykh mekhanizmov* [Kinematics of spatial mechanisms]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1966. 280 p.
11. Mashnev M.M., Kraskovsky E.Ya., Lebedev P.A. *Teoriya mekhanizmov i mashin i detali mashin* [Theory of Mechanisms and Machines and Machine Parts]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1980. 512 p.
12. Loytsyansky L.G., Lurye A.I. *Kurs teoreticheskoy mekhaniki. T. I. Statika i kinematika* [Course of theoretical mechanics. Vol. 1. Statics and kinematics]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 352 p.
13. Dimentberg F.M. *Teoriya prostranstvennykh sharnirnykh mekhanizmov* [The theory of spatial hinge mechanisms]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 336 p.
14. Doronin F.A. K voprosu ob opredelenii uglovykh skorostey zvenev zamknutoy kinematicheskoy tsepi [On the issue of calculation of angular speeds of links of the closed kinematic chains]. *Theory of mechanisms and machines*, 2014, no. 1 (23), pp. 41–49.
15. Glazunov V.A., Kostereva S.D., Danilin P.O., Lastochkin A.B. Primeneniye vintovogo ischisleniya v sovremennoy teorii mekhanizmov [The use of screw calculus in the modern theory of mechanisms]. *Vestnik nauchno-tekhnicheskogo razvitiya: Internet-zhurnal*, 2010, no. 6 (34). Available at: www.vntr.ru/ftpgetfile.php?id=426 (accessed 20 September 2014).
16. Ziborov K.A., Matsyuk I.N., Shlyakhov E.M. Resheniye vektornykh uravneniy kinematiki mekhanizmov s pomoshchyu programy MathCad [The solution of kinematic and dynamic analysis vector using MathCAD]. *Theory of mechanisms and machines*, 2008, no. 1 (11), pp. 64–70.
17. Podolsky M.E. O metode Eylera v primeneni k kinematike i dinamike tverdogo tela [On application of Euler's approach to kinematics and dynamics of rigid body]. *Theory of mechanisms and machines*, 2013, no. 2 (22), pp. 38–44.
18. Palmov V.A. *Elementy tenzornoj algebry i tenzornogo analiza* [Elements of tensor algebra and tensor analysis]. St-Petersburg, SPbGPU Publ. house, 2008. 108 p.
19. Vilchevskaya E.N. *Tenzornaya algebra i tenzorny analiz* [Tensor algebra and tensor analysis]. St-Petersburg, SPbGPU Publ. house, 2013. 42 p.
20. Mokhov M.A., Igrevsky V.I., Novik E.S. *Stanok-kachalka. Kratkiy elektronnyy spravochnik po osnovnym neftegazovym terminam s sistemoy perekrestnykh ssylok* [Pumping unit. The online Quick on major oil and gas terms with the system of cross-references]. Moscow, Rossiyskiy gosudarstvennyy universitet nefti i gaza, 2004. 451 p.
21. Stanok-kachalka. Gornaya entsiklopediya [Pumping unit. Mountain encyclopedia]. Ed. by. Kozlovsky E.A. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1984. Vol. 5, 481 p.

Received: 13 October 2014.