

УДК 621.01

НОВЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ КВАЗИПЛОСКИХ И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ С ДЕФОРМИРУЕМЫМИ ЗВЕНЬЯМИ

A NEW APPROACH TO THE ANALYSIS OF KINEMATIC CHAINS QUASIPLASTIC AND SPATIAL MECHANISMS WITH DEFORMABLE LINKS

Плешаков Вадим Николаевич

доктор технических наук, профессор,
профессор 105 кафедры механики

Пережогин Леонид Анатольевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент 105 кафедры механики

Выскубов Евгений Владимирович

кандидат технических наук,
профессор 105 кафедры механики

Терехов Владимир Валерьевич

кандидат технических наук, доцент,
заведующий 105 кафедрой механики.
Филиал ВУНЦ ВВС «ВВА им. Ю.А. Гагарина
и профессора Н.Е. Жуковского» (г. Краснодар)
Тел.: 8(909) 444-22-92
set@id-yug.com

Аннотация. Рассмотрены новые понятия и определения избыточных локальных (повторяющихся) связей, а также твердых тел, называемых звеньями. При этом имеется в виду как абсолютно твердые, так и деформируемые и гибкие тела. Число избыточных связей в общем случае можно определить лишь путем анализа уравнений связи.

Ключевые слова: Кинематическая пара, кинематическая цепь, степень подвижности, условия связи, степень свободы, механизм, машина, классификация, твердое, строение (структура), характер соприкосновения, высшая, низшая, звено, элемент, входное звено, выходное звено, ведущее звено, ведомое звено, избыточная связь.

Pleshakov Vadim Nikolaich

Ph.D., professor,
Professor 105 Department of mechanics

Perezhogin Leonid Anatolich

Ph.D., docent,
Docent 105 Department of mechanics

Vyskubov Evgenij Vladimirovich

Ph.D.,
Professor 105 Department of mechanics

Terekhov Vladimir Valerevich

Ph.D., docent,
Head 105 Department of mechanics
Russian Air Force Military Educational
and Scientific Centre «Air Force Academy
named after professor N.E. Zhukovsky
and Y.A. Gagarin» (Krasnodar branch)
Ph: 8(909) 444-22-92
set@id-yug.com

Annotation. The considered new concepts and definitions of superfluous local (repeating) communications, and also the firm bodies, the called parts. The number of superfluous communications generality can be determined only by a way of the analysis of the equations of communication.

Keywords: Kinematic pair, kinematic circuit, degree of mobility, conditions of communication (connection), degree of freedom, the mechanism, the machine, classification, firm, structure, character of contact, the maximum (supreme), the lowest, part, element, entrance part, target part, conducting (leading), conducted, superfluous communication (connection).

Строение механизмов

Механизм является системой твердых тел, называемых звеньями. При этом имеется в виду как абсолютно твердые, так и деформируемые и гибкие тела. Поэтому механизмы имеют как весьма простое, так и достаточно сложное и разнообразное строение (структуру).

Строением механизма определяются такие его *важнейшие характеристики*, как виды осуществляемых движений, способы их преобразования, число степеней свободы.

Формирование механизма, т.е. соединение отдельных его частей в единую систему, сопровождается *наложением связей*. Правильное их распределение в строении механизма в сильной степени предопределяет его надежную эксплуатацию. Поэтому при проектировании нужно из множества разнообразных механизмов выбрать самый

подходящий и правильно подобрать его основные структурные элементы. А для этого, прежде всего надо знать *основные виды современных механизмов, их структурные характеристики, закономерности их строения*.

Изменение взаимного положения в пространстве материальных тел или положение частей данного тела определяется строением механизма. Звенья в механизме соединяются с помощью кинематических пар разного вида в зависимости от числа связей, накладываемых на относительное движение звеньев. Эти варианты анализируются на основе структурной схемы механизма, которая может быть представлена назначения.

Основные определения

Движение твердых тел в механизмах рассматривают относительно звена, принимаемого условно за неподвижное и называемого *стойкой*; все остальные твердые тела, совершающие движение относительно стойки, называют *подвижными звеньями*. Каждое звено может состоять из одной или нескольких деталей, но в составе звена они не могут иметь относительного движения, т.е. образуют *неразъемные или разъемные* соединения отдельных деталей. При этом, имеется в виду, в качестве звеньев выступают как *абсолютно твердые*, так и *деформируемые и гибкие тела*; жидкости и газы в теории механизмов *звеньями не считаются*.

По своим функциям звенья могут быть *входными и выходными, ведущими и ведомыми, начальными и промежуточными*.

В каждом механизме имеется *стойка*, т.е. неподвижное звено или звено, принимаемое за неподвижное (если механизм установлен на движущемся основании). Неподвижность звена (стойки) показывают на схеме штриховкой.

Термины «*входное звено*» и «*выходное звено*» введены в структуру механизмов сравнительно недавно. Раньше эти звенья называли соответственно ведущими и ведомыми, что приводило к многозначности термина, так как в динамике механизмов разделение звеньев на ведущие и ведомые производится по другому признаку, а именно по знаку элементарной работы действующих на звено сил.

Ведущим (иначе – движущим) звеном называется звено, для которого элементарная работа внешних сил, приложенных к нему, является положительной (в этом определении внешними силами считаются силы, приложенные со стороны материальных тел, не входящих в состав механизма).

Ведомым звеном называют звено, для которого элементарная работа внешних сил, приложенных к нему, является отрицательной или равной нулю.

Входным звеном (сокращенно входом) называется звено, которому сообщается движение, преобразуемое механизмом в требуемое движение других звеньев.

Выходным звеном (сокращенно выходом) называется звено, совершающее движение, для выполнения которого предназначен механизм.

Если звену приписываются одна или несколько обобщенных координат, определяющих положение всех звеньев относительно стойки, то звено называют *начальным*. Остальные подвижные звенья называются *соединительными или промежуточными*.

Кинематической парой (сокращенно – парой) называют подвижное соединение двух соприкасающихся звеньев (рисунок 1 а, б, в, г, д, е, ж).

Совокупность поверхностей, линий и точек звена, входящих в соприкосновение (контакт) с другим звеном пары, называют *элементом пары*. Известно, что для того, чтобы элементы пары находились в постоянном соприкосновении, пара должна быть замкнута *геометрическим* (за счет конструктивной формы звеньев) или *силовым* (силой тяжести, пружины и т.п.) способами.

Важно подчеркнуть, чего раньше в литературе не подчеркивалось, что кинематические пары во многом определяют работоспособность и надежность машины, поскольку через них передается усилие от одного звена к другому; в кинематических парах, вследствие относительного движения, возникает трение, элементы пары находятся в напряженном состоянии и в процессе изнашивания.

Кинематические пары различают (по Рело) по *характеру соприкосновения*: пару называют *нижней*, если элементы звеньев соприкасаются только по поверхности, и

высшей, если только по линиям или в точках. При этом *линейный* или *точечный* контакт (Л или Т) принимается как первоначальный – при соприкосновении звеньев без усилия, – а под нагрузкой звенья, образующие высшую пару, будут соприкасаться по некоторой фактической поверхности, называемой *пятном* контакта.

Кинематические пары *низшие* – вращательная, поступательная, винтовая, цилиндрическая, сферическая и плоскостная. Все остальные пары – это *высшие*.

Кинематические пары классифицируют по числу H степеней свободы в относительном движении звеньев (подвижность пары) и по числу S *условий связи (ограничений)*, накладываемых парой на движение одного звена относительно другого (по И.И. Артоблевскому). При этом предполагается, что все связи – *геометрические*, налагающие ограничения только на координаты точек звена, входящего в кинематическую пару, в его относительном движении.

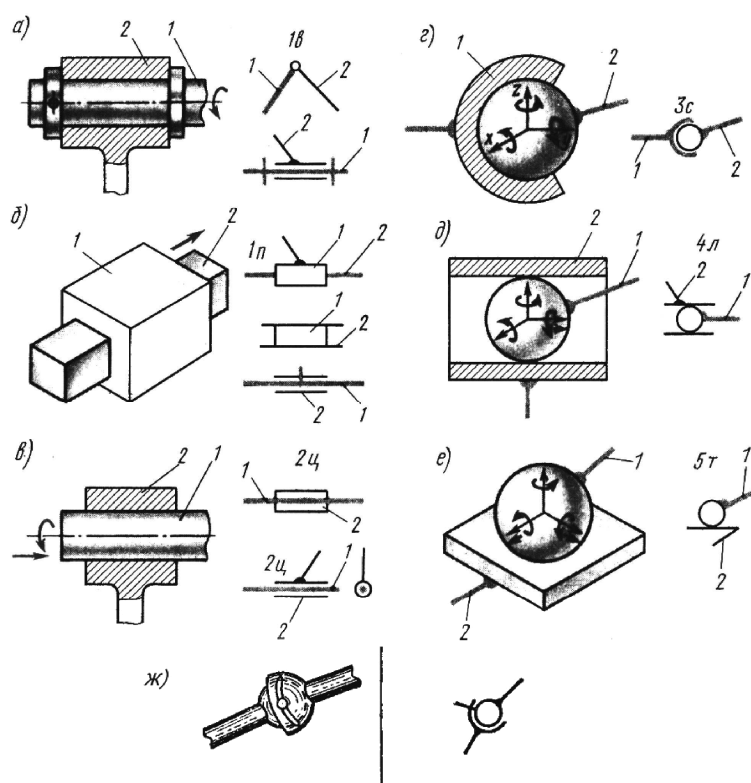


Рисунок 1 – Схемы и условные обозначения основных видов кинематических пар

Так как для свободного тела в пространстве число степеней свободы H равно шести, то величины H и S связаны соотношением $H = 6 - S$, где $S = 1, 2, 3, 4$ или 5 . При $S = 0$ пары не существует, а имеются два тела или звена, движущиеся независимо друг от друга; при $S = 6$ кинематическая пара становится жестким соединением деталей, т.е. одним звеном. По величине S определяют *класс кинематической пары*: различают одноподвижные (V класса, $H = 1, S = 5$), двухподвижные (IV класса, $H = 2, S = 4$), трехподвижные (III класса, $H = 3, S = 3$), четырехподвижные (II класса, $H = 4, S = 2$) и пятиподвижные (I класса, $H = 5, S = 1$). Ниже дано несколько примеров кинематических пар, их условных изображений и обозначений на структурных схемах (рис. 1 а, б, в, г, д, е, ж).

Вращательная пара (рис. 1 а) – одноподвижная (условное обозначение 1в), допускает лишь относительное вращательное движение звеньев вокруг оси (показано стрелкой); звенья 1, 2 соприкасаются по цилиндрической поверхности; следовательно это низшая пара, замкнутая геометрически. Роль такой кинематической пары выполняет и более сложная конструкция – шарикоподшипник.

Поступательная пара (рис. 1 б) – одноподвижная (условное обозначение 1п), с геометрическим замыканием, низшая, допускает лишь прямолинейное поступательное относительное движение звеньев.

Цилиндрическая пара (рис. 1 в) – двухподвижная (2ц), с геометрическим замыканием, низшая, допускает независимые вращательное и поступательное относительные движения звеньев.

Сферическая пара (рис. 1 г) – трехподвижная (3с), допускает три независимых относительных вращений звеньев вокруг осей x , y , z ; пара – низшая, с геометрическим замыканием.

Примеры четырех- и пятиподвижных пар и их условные обозначения (4л и 5т) (рис. 1 д, е). Возможные независимые относительные движения звеньев (вращательные и поступательные) показаны стрелками. Это *высшие пары*, поскольку контакт элементов звеньев линейный (шар в цилиндре) и точечный (шар на плоскости). Пара 4л – с *геометрическим замыканием*, а пара 5т требует *силового замыкания*.

Сферическая пара с пальцем (рис. 1 ж), который перемещается в пальцевом пазу. Двухподвижная (4с, с пальцем) допускает два независимых относительных вращения звеньев: поворот вокруг оси пальца и поворот относительно оси, перпендикулярной плоскости кольцевого паза и проходящей через центр сферы.

Каждой паре в реальных конструкциях могут соответствовать конструктивные варианты кинематических соединений в виде нескольких деталей, имеющих различное сочетание местных подвижностей, не влияющих, однако, на основную подвижность пары. Например, *роликовый подшипник эквивалентен двухподвижной цилиндрической паре*; *шарикоподшипник сферический, допускающий перекосы осей в определенных пределах, эквивалентен сферической трехподвижной паре*; *упорный шарикоподшипник со сферической наружной поверхностью, установленный на конусной поверхности, эквивалентен пятиподвижной точечной паре*.

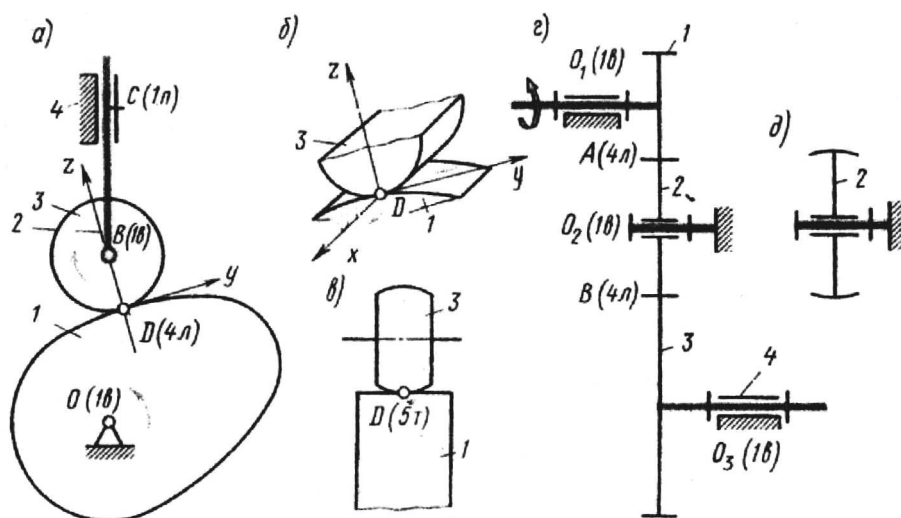


Рисунок 2 – Примеры линейных и точечных высших кинематических пар (4л и 5т)

Структурные формулы механизмов

Механизмы классифицируют по различным признакам, и, в первую очередь, их делят на механизмы с низшими парами, которые иногда называют *стержневыми* или *рычажными*, и с высшими парами; те и другие могут быть плоскими и пространственными. *Плоским* называется механизм, все подвижные точки которого движутся в параллельных плоскостях. Механизм является *пространственным*, если подвижные точки его звеньев описывают не плоские траектории или траектории, лежащие в пересекающихся плоскостях.

Схему механизма, содержащую стойку, подвижные звенья, кинематические пары с обозначением вида и указывающую взаимное расположение элементов механизма, называют *структурной схемой механизма*.

Наиболее распространенные механизмы с *низшими* парами – рычажные, клиновые и винтовые; с *высшими* парами – кулачковые, зубчатые, фрикционные, маль-

тийские и храповые. В названиях ряда механизмов отражены их конструктивные признаки и характер движения входного и выходного звеньев. Например, термин «кривошипно-коромысловый» механизм означает, что механизм преобразует непрерывное вращательное движение *входного* звена (кривошипа) в возвратно-вращательное движение *выходного* звена (коромысла).

Реальные поверхности и реальные профили элементов пар могут иметь отклонения формы и расположения. Числовое значение предельных отклонений нормируется допусками *цилиндричности, круглости, плоскостности, прямолинейности, параллельности* в зависимости от степени точности и интервала размеров.

В теории механизмов рассматривают поверхности с идеальной формой и идеальным расположением. При несоблюдении этого условия в парах появляются *избыточные локальные связи*, так как *уравнения связей* не являются тождественными и пара становится *статически неопределимой*. Если элементы в кинематической паре *конгруэнтны*, т.е. поверхности совпадают во всех своих точках, то пару называют *низшей*. Пары с линейным и точечным соприкосновением элементов называют *высшими*. *Линия* – это общая часть смежных областей поверхности.

Систему звеньев, соединенных между собой парами, называют *кинематической цепью*. Различают *плоские и пространственные, замкнутые и незамкнутые, простые и сложные кинематические цепи*.

В простой цепи звено входит в одну или две кинематические пары.

В сложной цепи имеется хотя бы одно звено, образующее больше двух кинематических пар (*базисное звено*).

Литература:

1. Теория механизмов и механика машин : учебник для вузов / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов и др. ; Под ред. академика К.В. Фролова. – М. : Высшая школа, 2001. – 496 с.

2. Теория механизмов и механика машин : учебник для вузов / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов и др. ; Под ред. академика К.В. Фролова. – М. : Высшая школа, 1987. – 496 с.

References:

1. Theory of mechanisms and machine mechanics : textbook for universities / K.V. Frolov, S.A. Popov, A.K. Musatov and others ; Under the editorship of academician K.V. Frolov. – M. : High school, 2001. – 496 p.

2. Theory of mechanisms and machine mechanics : textbook for universities / K.V. Frolov, S.A. Popov, A.K. Musatov and others ; Under the editorship of academician K.V. Frolov. – M. : High school, 1987. – 496 p.