

*Абытов А. А., канд. техн. наук,
Абдраимов Э. С., докт. техн. наук, профессор
engineer2013@inbox.ru
Инженерная академия КР, Кыргызстан*

СИНГУЛЯРНОЕ (ОСОБОЕ) ПОЛОЖЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ, ОПЫТ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ И СОЗДАНИЯ НА ИХ ОСНОВЕ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ

В работе рассматриваются структурные особенности шарнирных схем с сингулярным (особым) положением звеньев, в котором кинематические пары выстраиваются в одну линию. Сингулярное положение создаёт мгновенную кинематическую развязку (неопределённость движения) выходному звену, создавая статически неопределимое положение для схемы. Это обеспечивает условие для подмены, в этот момент, одной структуры на другую, при минимальных энергозатратах и малом воздействии технологической нагрузки на элементы конструкции, участвующих в подмене. Помимо этого, мгновенная кинематическая развязка шарнирной схемы формирует условия для создания ударного механизма. Показана необходимость в активных связях, как формирующих условие статической определимости схемы, а значит и определённости движения выходного звена в сингулярном положении. Основы для развития современного машиноведения определяются подходами к созданию механизмов предложенными Самудином Абдраимовым.

***Ключевые слова:** четырёхзвенная шарнирно-рычажная кинематическая цепь, сингулярное положение, механизм, связь, неопределённость движения.*

*Абытов А. А., тех. илим. канд.,
Абдраимов Э. С., тех. илим. докт., проф.
engineer2013@inbox.ru
КР Инженердик академиясы, Кыргызстан*

**КИНЕМАТИКАЛЫК ЧЫНЖЫРЛАРДЫН СИНГУЛЯРДУУ
(ӨЗГӨЧӨ) АБАЛЫ, АЛАРДЫ КОЛДОНУУ ТАЖРЫЙБАСЫ ЖАНА**

АЛАРДЫН НЕГИЗИНДЕ ӨЗГӨРҮЛМӨ ТҮЗҮЛҮШТӨГҮ МЕХАНИЗМДЕРДИ ТҮЗҮҮ

Иште кинематикалык жууптар бир сапта тизилген звенолордун сингулярдуу (өзгөчө) абалы менен шарнирдик схемалардын структуралык өзгөчөлүктөрү каралат. Сингулярдык абал чынжыр үчүн статикалык аныкталбаган абалды түзүп, чыгуу звеносуна заматта кинематикалык ажыратуу (кыймылдын аныкталбашы) жаратат. Бул азыркы учурда энергияны минималдуу керектөө жана алмаштырууга тартылган конструкциялык элементтерге технологиялык жүктөмдүн бир аз таасири менен бир конструкцияны экинчисине алмаштыруу үчүн шарт түзөт. Кошумчалай кетсек, шарнирдик схеманын бир заматта кинематикалык ажыратылышы сокку механизмдин түзүү үчүн шарттарды түзөт. Активдүү байланыштардын зарылчылыгы схеманын статикалык аныкталуусунун шартын түзүүчү, демек, сингулярдык абалда чыгуучу звенонун кыймылынын аныктыгы катары көрсөтүлөт. Заманбап машина курууну өнүктүрүүнүн негиздери Самудин Абдраимов тарабынан сунушталган механизмдерди түзүүгө болгон мамилелер менен аныкталат.

Өзөктүү сөздөр: төрт звенолуу рычагдуу кинематикалык чынжыр, сингулярдык абал, механизм, байланыш, кыймылдын белгисиздиги.

*Abytov A. A., cand. techn. science
Abdraimov E. S., doct. techn. science, prof.
engineer2013@inbox.ru
Engineering academy KR, Kyrgyzstan*

SINGULAR (SPECIAL) POSITION OF KINEMATIC CHAINS, EXPERIENCE OF THEIR APPLICATION AND CREATION OF MECHANISMS OF VARIABLE STRUCTURE ON THEIR BASIS

The paper deals with the structural features of hinged schemes with a singular (special) position of the links, in which the kinematic pairs line up in one line. Singular position, creates an instantaneous kinematic decoupling (indeterminacy of motion) to the output link, creating a statically indeterminate position for the circuit. This provides a condition for replacing, at this moment, one structure for another, with minimal energy consumption and a small effect of the technological load on the structural elements involved in the replacement. In addition, the instantaneous kinematic decoupling of the hinged circuit forms the conditions for creating a percussion mechanism. The need for active connections is shown as forming a condition for the static definability of the scheme, and hence the definiteness of the movement of the output link in a singular position. The foundations for the development of modern mechanical engineering are determined by the approaches to the creation of mechanisms proposed by Samudin Abdraimov.

Key words: Four-link articulated-lever kinematic chain, singular position, mechanism, connection, motion uncertainty.

В практике машиностроения широко применяются механизмы, имеющие не только один привод. Причём в современных механизмах дополнительные привода могут включаться дискретно в строго определённое время, обеспечивая тем самым, необходимый закон движения выходному звену.

Такого рода многоподвижные механизмы можно отнести к механизмам с переменной подвижностью, имеющих изначально несколько

степеней свободы, числу которых предусматривают число задаваемых обобщённых координат. При этом те или иные структурные группы кинематической цепи (звенья и их связи) могут, как приводиться в движение, так и бездействовать, меняя число подвижных звеньев за один цикл работы механизма. Данное обстоятельство позволяет относить механизмы с переменной подвижностью к механизмам с переменной структурой (МПС).

Несколько иной пример механизма с переменной структурой – ударный механизм Алабужева П.М., где закон движения звеньев (в том числе обездвижение) скачкообразно меняется как под внешним воздействием, предусмотренным технологическими особенностями, так и упругим свойством пружин, используемых в конструкции. В данном случае функции привода выполняет внешнее воздействие и упругая связь. Краткая информация об этом механизме имеется в работе [1] на странице 706. Такого типа механизмы переменной структуры могут реализовывать закон движения выходного звена, адаптированного к технологическим особенностям. При этом технологические особенности формируют временные связи, благодаря дополнительной подвижности, приводящая к смене одних подвижных звеньев другими, в том числе неподвижными. Происходит замена одной рычажной схемы другой, в данном случае, шарнирно-рычажный четырёхзвенный механизм холостого хода преобразуется в кривошипно-ползунный ударный механизм рабочего хода.

Если внешнее воздействие обеспечить не технологическими особенностями, а специальными приводами, то возникают предпосылки к созданию разновидностей рычажных схем способных менять вид и структуру механизма, соответствующей той или иной технологической операции. Примеры создания механизмов с таким подходом представлены в работах [2, 3, 4]. Важную роль играет так называемое особое положение звеньев минимизирующее энергозатраты при смене структуры механизма, позволяющая избегать воздействие технологической нагрузки на элементы конструкции, при этом обеспечивая максимально высокое быстродействие.

Для шарнирно-рычажного четырёхзвенного механизма сингулярным (особым) положением мы называем положение, в котором все его кинематические пары выстраиваются в линию. Несмотря на одну степень подвижности, позволяющую задавать одну обобщённую координату, в особом положении возникает мгновенная кинематическая развязка (неопределимость) движению выходного звена, проявляемая его дополнительной подвижностью. Иначе говоря, в этом положении условия связи кинематической цепи нарушаются, она оказывается двухподвижной. Учитывая наличие одного привода, кинематическая цепь оказывается в этом положении статически неопределимой. Однако, на практике известны механизмы с сингулярным положением звеньев, где определённость движения достигается благодаря применению дополнительных устройств, формирующих временно действующие связи. Из этого вытекает

особенность – механизм обладает переменным числом связей, благодаря чему сохраняется определённость движения звеньев, а значит условие существования механизма. Без временно действующих связей будет иметь место кинематическая цепь с неопределённым движением выходного звена в особом положении.

Примеры шарнирно-рычажных четырёхзвенных механизмов, у которых имеет место переменное число связей для преодоления особого положения звеньев, представлены на рис. 1. б, в, г. Эти примеры взяты из справочника Крайнева А.Ф. [5]. Как видно, было предложено немало решений, с временными связями возникающие при применении устройств типа «вилки-зацепов». Схема на рисунке 1. а не входит в эту группу, т.к. тут определённость движения достигается за счет инерционных свойств выходного звена.

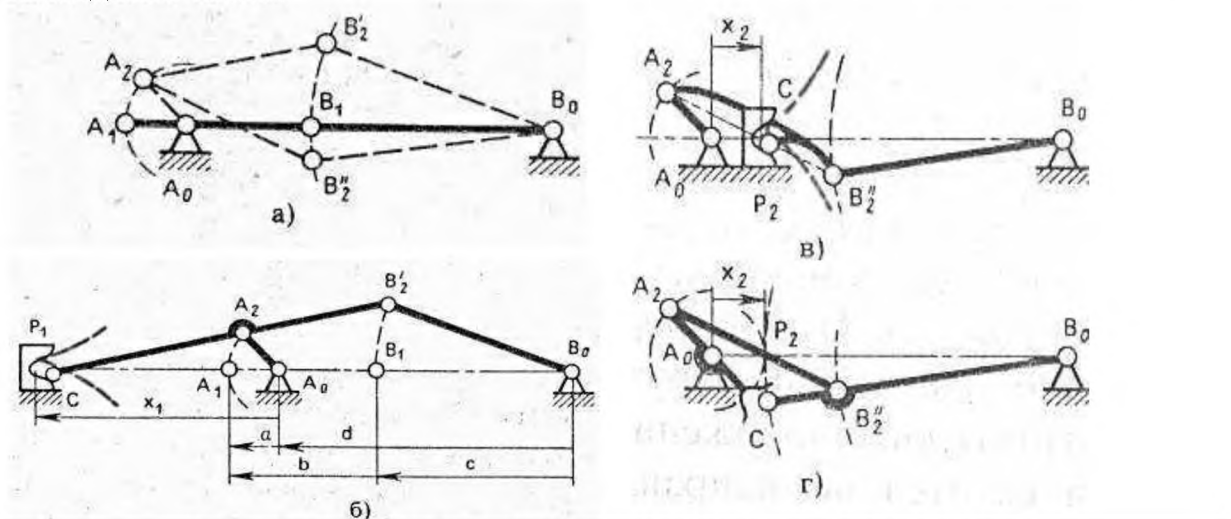


Рисунок 1. Шарнирно-рычажные четырёхзвенные механизмы с временными связями в особом положении.

В качестве примера шарнирно-рычажного четырёхзвенного механизма с особым положением звеньев, можно рассмотреть всем хорошо известный механизм двойного шарнирного параллелограмма, у которого второй шатун, в классической советской литературе по теории механизмов и машин, воспринимается как пассивная связь.

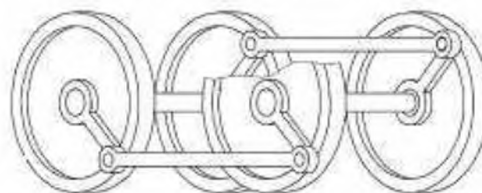


Рисунок 2. Спарка паровоза на основе механизма двойного шарнирного параллелограмма с разведёнными на 90^0 шатунами

Этот механизм нашел применение в приводе колёс спарок паровоза (рисунок 2.). Второй шатун участвует в определённости движения

выходных звеньев - вторых параллельных кривошипов. Без второго шатуна шарнирного параллелограмма, движение первого ведомого кривошипа шарнирного параллелограмма оказалось бы неопределимым в особом положении его звеньев. Механизм из параллелограммной схемы мог бы преобразоваться в антипараллелограммный. Хотя в любом другом положении отличном от особого положения, второй шатун шарнирного параллелограмма выполняет дублирующую функцию, иначе говоря, оказывается пассивной связью.

В спарке колёс шатуны механизма двойного шарнирного параллелограмма разведены на 90^0 из условия – передачи максимального усилия от привода паровоза. При других углах разведения шатунов они так же будут обеспечивать определённую движению выходного звена механизма, в том числе при 0^0 и 180^0 .

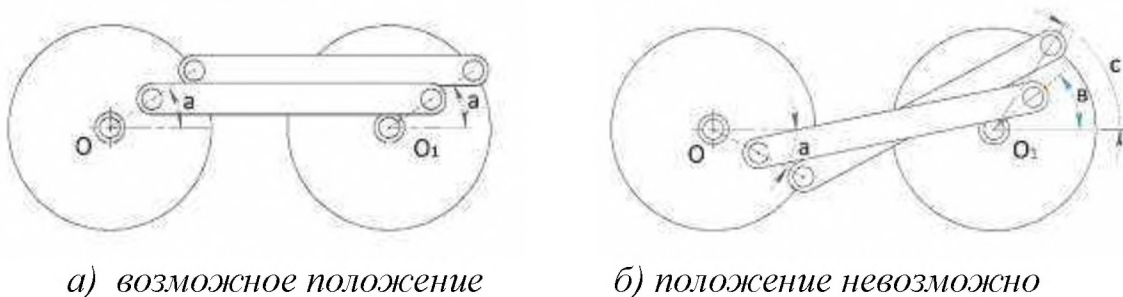


Рисунок 3. Шарнирный механизм сдвоенных параллелограммов с неразведёнными шатунами (углом 0^0)

На рисунке 3. демонстрируется случай, когда шатуны не разведены, т.е. угол между ними равен 0^0 . На рисунке 3. а шатунные углы на ведущем и ведомом кривошипе относительно оси OO_1 совпадают. Передаточная функция от ведомого к ведущему кривошипу равна 1. На рисунке 3. б показано положение шатунных углов при попытке перехода в антипараллелограммную схему. Очевидно, что такое положение в этом механизме невозможно, ввиду разницы передаточных функций обеих антипараллелограммных схем, что и является условием однозначной работы только в параллелограммном режиме. Это позволяет констатировать тот факт, что пассивная связь второго шатуна и в этом случае оказывается временно действующей связью, обеспечивающей определённость движения ведомых кривошипов параллелограммной схемы вошедшей в особое положение звеньев. При чём, вне зависимости от взаимного расположения обоих шатунов (разведены они или нет на какой-то угол, оказываются оба шатуна в особом положении одновременно или поочерёдно), дублирующий шатун является временно действующей связью.

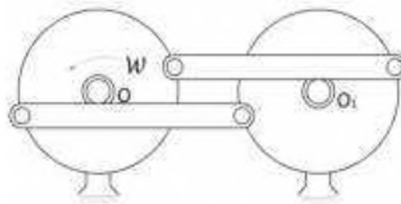


Рисунок 4. Шарнирный механизм двойных параллелограммов с разведёнными шатунами на угол 180^0

На рисунке 4. представлен механизм двойных параллелограммов с разведёнными шатунами на 180^0 . Данный механизм обладает схожими особенностями, а именно, определённой движением во всех положениях, в том числе сингулярном.

На рисунке 5. представлена кинематическая цепь, у которой выходное звено L_3 способно реализовать три возможных варианта возвратно-качательного движения не разрывая связи с входным звеном – кривошипом L_1 . Первый вариант – возвратно-качательное движение по траектории 3-2; второй вариант – по траектории 4-2; третий вариант – по траектории 3-4. Это возможно благодаря возникающей второй подвижности выходного звена L_3 в особом положении O_1O_2 вследствие мгновенной кинематической развязки движения.

Основываясь на этой кинематической цепи, нами создаются ударные механизмы С. Абдраимова, схема которого представлена на рисунке 6, имеющее переменное число связей. Ударник имеет инструмент «i» – пику, установленную так, что её торец находится на линии особого положения O_1O_2 , воспринимая соударение звена L_3 и передавая полученный ударный импульс через себя в обрабатываемую среду. Это соударение создаёт условие для движения выходного звена L_3 только по траектории 3-2. Соударение пока не воспринимается как связь в кинематической цепи, но именно эта временная связь создает условие определённости движения звеньев по траектории 3-2, соответственно и условие существования механизма. В положении 2, благодаря передаточной функции, выходное звено имеет максимальную скорость, что способствует созданию ударного механизма предложенного С.Абдраимовым.

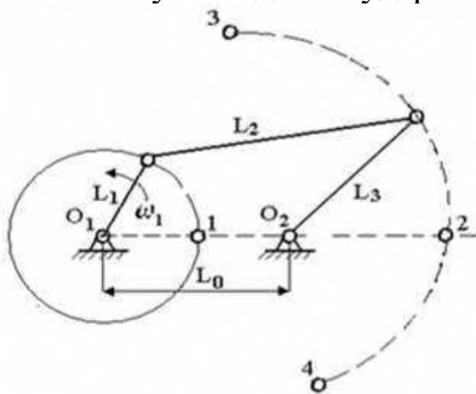


Рисунок 5. Кинематическая цепь с мгновенной кинематической развязкой

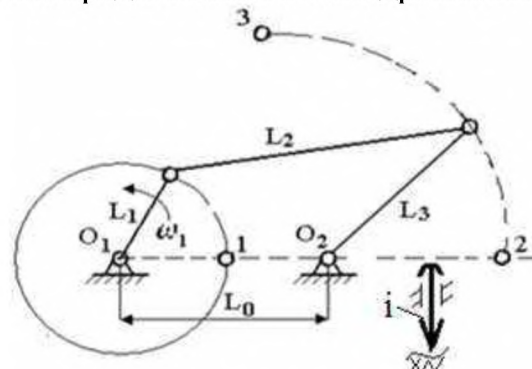


Рисунок 6. Механизм ударный с переменным числом связей

Это обстоятельство даёт основание для признания данного вида связи, обсуждения присущих ей свойств, её классификационных признаков и т.д. В случае с ударником такая связь выполняет не только типичную ей функцию наложения ограничения на движение, она так же может формировать дополнительные обобщенные координаты в особой зоне выходному звену. Такую связь можно назвать активной. Надо отметить, что представленная на рисунке 5. схема шарнирно-рычажной четырёхзвенной кинематической цепи является одним из трёх сборок. Представленную сборку принято называть схемой с наибольшим шатуном – по наибольшему звену схемы. Остальные две разновидности получили названия: схемы с наибольшим коромыслом и схемы с наибольшим основанием, обладающих аналогичными свойствами. С.Абдраимов сгруппировал эти схемы под общим названием – *начальные механизмы переменной структуры*.

В завершении надо отметить, что интерес машиноведов к рычажным схемам с особым положением звеньев всё больше возрастает. Нам необходимо раскрывать представления о свойствах присущих им. Данная статья, основанная на опыте создания рычажных ударных механизмов С.Абдраимова, формирует современные знания развивающие и меняющие представления в отношении пассивных связей шарнирно-рычажных четырёхзвенных механизмов с особым положением звеньев.

Следует говорить о временно возникающих активных связях кинематической цепи, определяющие закон движения выходного звена в особом положении звеньев, в том числе в параллелограммных механизмах. Как такие связи классифицировать и учитывать в структуре механизма – это задача для следующих работ, выводы которых позволят расширить представления о кинематических цепях с мгновенной кинематической развязкой, рассматриваемых в современной литературе по теории механизмов и машин.

Литература:

1. Кожевников С. Н., Есипенко Я. И., Раскин Я. М. Механизмы. Справочник. Изд. 4-е, перераб. и доп. -М., «Машиностроение», 1976 г. Рис. 11.94, -с 706.
2. Абдраимов С., Невенчанная Т. О. Построение механизмов переменной структуры и исследование их динамики. – Фрунзе.: Илим, 1990. – 175 с.
3. Абдраимов Э. С. Структурный синтез механизмов переменной структуры. – Бишкек: Илим, 2001. – 100 с.
4. Токтакунов Ж. Ш. Создание структурных и кинематических схем механизмов переменной структуры на примере кулисного, синусного и кривошипно-ползунного механизмов. Автореферат канд. дисс. – Бишкек, 2004.
5. Крайнев А. Ф. Словарь-справочник по механизмам. – 2-е изд., –М.: Машиностроение, 1987, -560 с.