

ВЛИЯНИЕ ИЗБЫТОЧНЫХ СВЯЗЕЙ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И НАДЁЖНОСТЬ МАШИН

Догадин Д.С., Коннов В.С.

Научный руководитель – доцент Дьяконова В.Я.

Сибирский Федеральный Университет

Механизм состоит из звеньев, соединённых кинематическими парами.

Избыточными (пассивными) связями называют такие связи, устранение которых не увеличивает подвижности механизма. Кинематические пары должны выбираться такими, чтобы механизм был статически определимым (т.е. не имел бы избыточных связей). Такие механизмы получили название самоустанавливающихся.

Число избыточных связей определяют по формуле Малышева:

$$q = W - 6n + 5p_5 + 4p_4 + 3p_3 + 2p_2 + p_1,$$

где: W – число обобщённых координат механизма, равное числу степеней свободы;

n – число подвижных звеньев;

p_5 – количество кинематических пар 5 класса;

p_4 – количество кинематических пар 4 класса;

p_3 – количество кинематических пар 3 класса;

p_2 – количество кинематических пар 2 класса;

p_1 – количество кинематических пар 1 класса;

Класс кинематической пары определяется числом связей (ограничений), накладываемых парой на движение одного звена относительно другого (по И.И. Артоблеву).

При недостаточной точности изготовления механизма с избыточными связями трение в кинематических парах может сильно увеличиваться и привести к заклиниванию звеньев, поэтому избыточные связи во многих механизмах нежелательны. Однако, при передаче больших сил для обеспечения жёсткости и прочности системы приходится изготавливать статически неопределимые механизмы с избыточными связями.

В статически неопределимых механизмах необходимо ужесточить допуски, что ведёт к их удорожанию и не всегда возможно. О.Ф. Тищенко установил, что стоимость изготовления обратно пропорциональна квадрату допуска.

Применение механизмов без избыточных связей позволяет получить следующие преимущества:

- 1) удешевление изготовления и сборки за счёт расширения допусков на изготовление;
- 2) повышение надёжности, т.к. статически определимые механизмы не чувствительны к изменению размеров звеньев;
- 3) уменьшение трения и увеличение КПД, т.к. отсутствуют натяги;
- 4) увеличение нагрузочной способности и долговечности за счёт самоустанавливаемости звеньев;
- 5) уменьшение габаритов, так, в горном машиностроении, применение самоустанавливающейся шестерни с длиной зуба 32,5 модуля позволило разместить редуктор внутри ротора экскаватора;
- 6) уменьшение напряжения материала звеньев, т.е. увеличение их нагрузочной способности;
- 7) уменьшение числа кинематических пар (в некоторых случаях);

8) устранение перекосов, так в двигателях внутреннего сгорания за счёт устранения перекоса поршня улучшается герметичность, лёгкость хода и экономичность двигателя.

Большой вклад в разработку рациональных механизмов без избыточных связей внёс Л.Н. Решетов, а впервые этим вопросом стали заниматься с 30-х годов прошлого столетия. В настоящее время многие заводы перешли на самоустанавливающиеся механизмы; например, в редукторах зерновых комбайнов «Нива», «Колос», «Енисей».

Чтобы внедрить механизмы без избыточных связей, необходимо разработать структурные схемы для основных видов механизмов.

Рассмотрим четырёхшарнирный механизм с парами пятого класса (рис. 1а).

Количество избыточных связей: $q = 1 - 6 \cdot 3 + 5 \cdot 4 = 3$

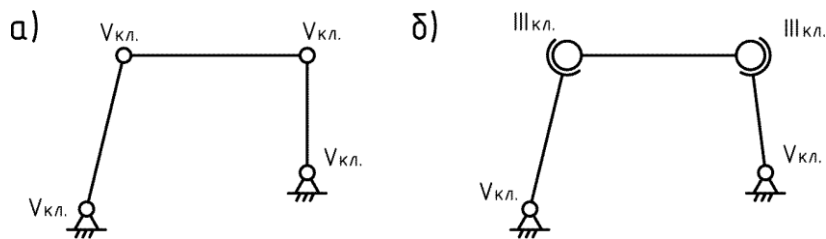


Рис. 1. Четырёхшарнирный механизм:
а) с парами пятого класса; б) рулевое управление автомобиля

Конструкция (рис. 1а) применялась в приводах и была очень трудоёмкой в изготовлении и эксплуатации. Для создания статически определимого механизма были заменены две кинематические пары 5-го класса у шатуна на шаровые 3-го класса (рис. 1б). Такой механизм применяют во всех автомобилях в рулевой трапеции и передней подвеске автомобилей «Жигули» и «Москвич». Степень подвижности механизма (рис. 1б) $W = 2$, вторая подвижность – безвредное вращение шатуна вокруг своей оси.

Кривошипно-ползунные механизмы нашли широкое применение в двигателях внутреннего сгорания, паровозах, паровых машинах и т.д.

Классическая схема кривошипно-ползунного механизма с парами 5-го класса (рис. 2а) имеет число избыточных связей $q = 1 - 6 \cdot 3 + 5 \cdot 4 = 3$.

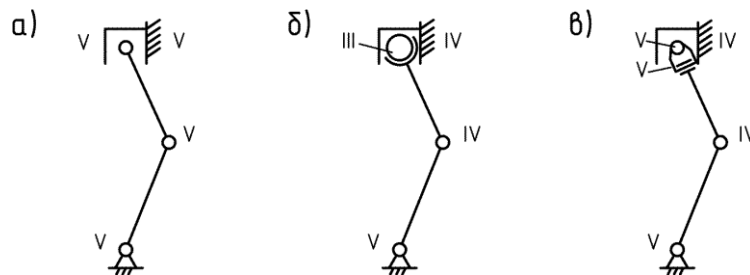


Рис. 2. Кривошипно-ползунный механизм
а) $q = 3$; б) $q = 0$; в) $q = 0$.

Механизм (рис. 2б) с двумя парами 4-го класса, с одной сферической с числом избыточных связей $q = 0$ применяется в двигателях внутреннего сгорания с запальным шаром (нефтянках). В некоторых случаях сферическую пару заменяют 2-мя парами 5-го класса (рис. 2в). Такая конструкция улучшает запуск механизма, уменьшает износ поршневых колец и втулок цилиндров.

Устранение избыточных связей в механизмах прокатных станов позволило увеличить точность проката.

Рассмотрим более сложные схемы механизмов горных машин, состоящих из нескольких структурных групп Ассура.

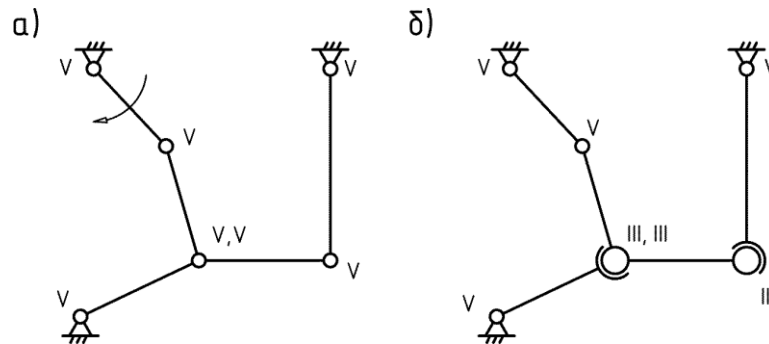


Рис. 3. Щековая камнедробилка
а) $q = 6$; б) $q = 0$.

Например, механизм щековой камнедробилки (рис. 3а) имеет количество избыточных связей: $q = 1 - 6 \cdot 5 + 5 \cdot 7 = 6$.

Чтобы сделать конструкцию камнедробилки статически определимой, необходимо заменить 3 вращательные кинематические пары на шатуне на сферические, тогда $q = 1 - 6 \cdot 5 + 5 \cdot 4 + 3 \cdot 3 = 0$ (рис. 3б).

Инерционный конвейер (рис. 4а) имеет число избыточных связей: $q = 1 - 6 \cdot 5 + 5 \cdot 7 = 6$.

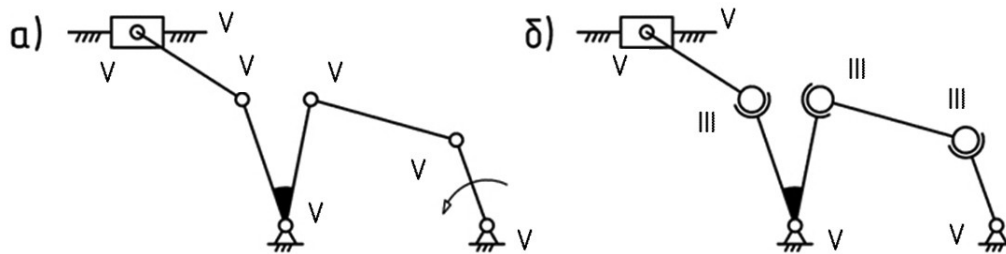


Рис. 4. Инерционный конвейер с постоянным давлением груза на дно желоба.
а) $q = 6$; б) $q = 0$

Заменой трёх кинематических пар 5-го класса на три кинематические пары 3-го класса на шатунах получим конвейер без избыточных связей $q = 0$ (рис. 4б), что увеличивает надёжность, т.к. размеры звеньев могут изменяться от просадки фундамента (конвейер устанавливается на фундамент), замены сменных изнашиваемых деталей и остаточных деформаций при авариях. Однако, статически определимые механизмы нечувствительны к изменению размеров звеньев и, следовательно, более надёжны.

До настоящего времени осталось много механизмов, в которых избыточные связи не устранены, что значительно увеличивает стоимость их изготовления, усложняет сборку, увеличивает трение, уменьшает КПД, повышает напряжение материала, уменьшает долговечность.

Среди учёных-механиков нет единого мнения по разработке рациональных механизмов, что сдерживает развитие новых механизмов без избыточных связей.