

УДК 621.01

Д.П. ДРЯГИН

Сумской государственной университет, Украина

ОДНОРОДНОСТЬ – НЕОДНОРОДНОСТЬ И ОДНОСЕМЕЙСТВЕННОСТЬ – НЕОДНОСЕМЕЙСТВЕННОСТЬ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Определены признаки однородности и неоднородности, а также односемейственности и неоднородности кинематических цепей с точки зрения их закономерного контурозвального строения. Семейственность цепей зависит от значений общей связности S_0 , а неоднородность определяется наличием автомоноконтуров и автодисконтуров.

закономерная контурозвальность, неоднородность и неоднородность кинематических цепей

Введение

Общая постановка проблемы и ее связь с научно-практическими задачами. Современные механизмы и машины, структурно отображаемые с помощью кинематических цепей, представляют собой сравнительно часто неоднородные и неоднородные системы.

Факторы неоднородности и неоднородности обязательно должны учитываться, так как они влияют на критерий структурного качества и, как следствие, на работоспособность, надежность и долговечность механизмов и машин.

Обзор публикаций и анализ нерешенных проблем. Во второй половине 19 века и в первой половине 20 века были получены известными авторами лишь однородные и односемейственные структурно-функциональные решения [1, 2]. В конце 20 века авторам Л.Т. Дворникову и В.И. Пожбелко удалось в своих работах учесть фактор неоднородности кинематических цепей [3, 4], но фактор неоднородности так и не был учтен, что, например, привело к ошибочному определению избыточной связности в механизме шарнирного четырехзвенника с «пассивным звеном» в работе [5].

Цель исследования состоит в раскрытии возможностей закономерной контурозвальной методики

структурно-функционального исследования как неоднородных, так и неоднородных кинематических цепей, основанной на публикациях [6 – 9].

Результаты исследования

Закон контурозвального строения [6, 7] позволяет определить признаки однородности и неоднородности, а также односемейственности и неоднородности кинематических цепей.

Однородными можно принять следующие цепи:

- монотурные одноэлементные, линейные и разветвленные;
- дисконтурные многоэлементные, линейные и разветвленные;
- структурное кольцо.

Монотурно-дисконтурные цепи, существование которых возможно при значениях общей связности $0 \leq S_0 \leq 5$, с точки зрения закона контурозвальности – неоднородные, так как содержат контурозвенья первого и второго классов, т.е. монотуры и дисконтур.

Следует отметить особое влияние нуль-контуров на неоднородность кинематических цепей.

Например, введение нуль-контура в состав структурного кольца, содержащего m звеньев и

$p_{\Sigma} = m$ кинематических пар, приводит к аннигиляции (превращению) его в моноконтурно-диконтурную линейную неоднородную цепь, содержащую $n_0 = 1$, $n_{II} = 1$, $n_I = m - 1$, т.е. кольцо делится на нуль-контур и двухэлементную цепь примыкания.

Введение второго нуль-контура в состав структурного кольца приводит к его делению на два нуль-контура и две двухэлементные цепи примыкания, каждая из которых содержит по одному диконтур и, в случае равномерного деления, по $\left(\frac{m-4}{2}\right)$ моноконтур.

Дальнейшее увеличение множества нуль-контуров в составе структурного кольца может привести к преобразованию двухэлементных моноконтурно-диконтурных цепей примыкания в автодиконтур.

Большую роль в определении однородности и неоднородности цепей играют структурные группы как двухэлементные линейные плоские, так и пространственные цепи примыкания, содержащие при одном диконтуре от одного в диаде до десяти в гендекаде моноконтуров. По своей природе группы неоднородны. Они составляют основу замкнутых изменяемых контуров кинематических цепей, всегда характеризуемых признаком общей связности S_0 , определяющей, в свою очередь, номер семейства цепи [2].

Если множество замкнутых контуров цепи относится к одному семейству, например, к третьему ($S_0 = 3$), то можно утверждать, что цепь диадная односемейственная.

Если множество замкнутых контуров цепи делится на подмножества контуров с различными значениями S_0 , то цепь неодносемейственная.

В общем случае, с учетом предела изменений

$$0 \leq S_0 \leq 5$$

может существовать шестисемейственная цепь.

Признак семейственности цепи очень важный, так как определяет ее функциональные свойства, а именно – избыточную связность q и подвижность W .

Односемейственные групповые цепи, например, диадные ($S_0 = 3$), или триадные ($S_0 = 2$), или тетрадные ($S_0 = 1$), или пентадные ($S_0 = 0$) и т.д., можно принять, следуя принципу П.О. Сомова [1], за однородно-групповые.

Если же в однородно-групповой цепи, т.е. в односемейственной цепи, будет наблюдаться дополнительное существование автомоноконтуров и автодиконтуров, то такая цепь уже неоднородна, но односемейственна.

Рассмотрим пример 1.

На рис. 1 изображена «трехповодковая группа Ассура с базисным звеном» 2, имеющая «поводки» 1, 3 и 4 одинаковой длины и параллельные друг другу. Эта группа присоединена свободными элементами концевых пар O_1 (1в), O_2 (1в), O_3 (1в) к нуль-контур-стойке.

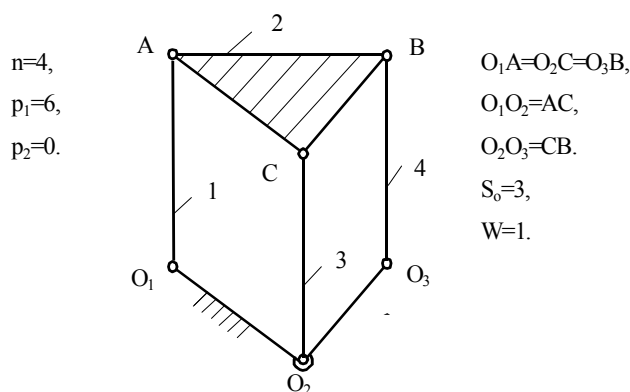


Рис. 1. «Трехповодковая группа Ассура» ненулевой подвижности

Рассматриваемая цепь имеет три общих условия связи (и три общих свободы), поэтому имеем основание к применению формулы П.Л. Чебышева:

$$W = 3n - 2p_1 = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 6 = 0.$$

Применим контурозвенный подход к исследованию данной цепи:

$$n_I = 2n - p_I = 2 \cdot 4 - 6 = 2;$$

$$n_{II} = p_I - n = 6 - 4 = 2.$$

Составим таблицу контурозвенности в двух вариантах.

Первый вариант (рис. 2) соответствует существованию двухдиадной групповой цепи, но следует заметить, что одна из диад – контурно-замкнутая (КЗД), а вторая – контурно-незамкнутая (КНЗД) [7]:

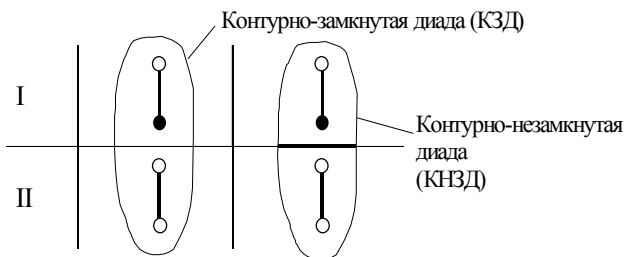


Рис. 2. Первый вариант таблицы контурозвенности

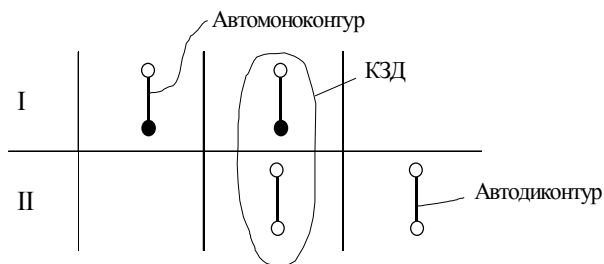


Рис. 3. Второй вариант таблицы контурозвенности

Существование контурно-незамкнутой диады приводит при принятых геометрических условиях к ее делению на автомоноконтур и автодиконтур, при этом контурно-замкнутая диада сохраняется (рис. 3).

Таким образом, при принятых геометрических соотношениях наблюдается не «трехповодковая группа Ассура», а неоднородная кинематическая цепь ненулевой подвижности, содержащая автомоноконтур, диаду и автодиконтур.

Именно поэтому в работе [7] для таких плоских цепей предложена следующая формула подвижности:

$$W = n_1 - N_{\partial} = 2 - 1 = 1, \quad (1)$$

которая применима и для однородных цепей.

Контурозвенно-групповой анализ, отвечающий условию (1), приведен на рис. 4.

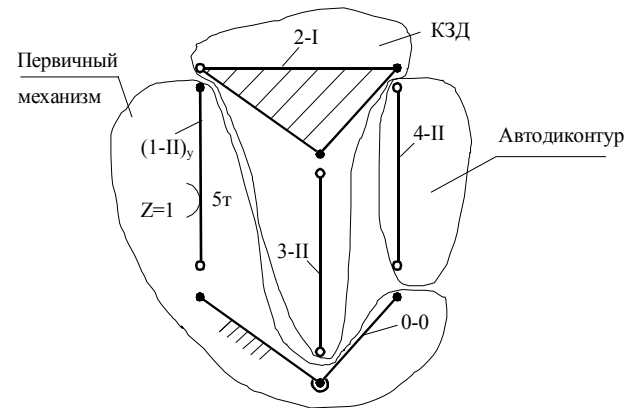


Рис. 4. Контурозвенно-групповой анализ неоднородной цепи плоского механизма

Единичное принуждение управлением движением $Z = 1$ с помощью пары 5т превращает автомоноконтур 1-I в автодиконтур (1-II)_y управления движением, что предопределяет правильное нахождение избыточной связности системы с учетом ее неконсервативности (рис. 4).

Избыточная связность данной неоднородной цепи равна [7]:

$$q = 3N_{\partial} + 4n_{II\text{авт}} = 3 \cdot 1 + 4 \cdot 1 = 7.$$

Если пренебречь неоднородностью рассматриваемой цепи, то избыточная связность будет определена на единицу меньше, что и показано в работе [5], но в этом случае невозможно обосновать значение $W = Z = 1$.

Итак, неоднородность той или иной кинематической цепи обуславливается не только неодносемейственностью [3, 4], но и возможностью деления групп на автомоноконтуры и автодиконтуры [7].

Последний фактор неоднородности кинематических цепей выявляется только на основании анализа их контурозвенно-группового строения.

Аналитический учет контурозвенной неоднородности, а также неодносемейственности, обусловленной неодинаковыми значениями общей связ-

ности, возможен на основании применения следующих двух формул [8, 9]:

$$q = L_0 + C + Z - 6(1 + n_I + n_{II}) \quad (2)$$

И

$$S_0 = \frac{q}{n_{II}}, \quad (3)$$

при этом в общем случае под S_0 будем понимать не только значение общей связности, но также осредненную избыточную связность, приходящуюся на один диконтур.

Если по формуле (3) регулярно получается ряд значений $S_0 = 0, 1, 2, 3, 4, 5$, то можно утверждать, что имеем дело с односемейственными цепями.

Если же по этой формуле получаются значения S_0 в виде нецелых чисел, то можно утверждать о существовании автодиконтуров как признаке неоднородности, или о неодносемейственности, обусловленной различной общей связностью в замкнутых изменяемых контурах кинематической цепи.

Рассмотрим пример 2 (рис. 5).

Подвижных звеньев $n = 7$.

Одноподвижных пар $p_1 = 11$.

1. Моноконтурно-диконтурное деление:

$$n_I = 2n - p_1 = 2 \cdot 7 - 11 = 3;$$

$$n_{II} = p_1 - n = 11 - 7 = 4.$$

2. Избыточная связность механизма:

$$\begin{aligned} q &= L_0 + C + Z - 6(1 + n_I + n_{II}) = \\ &= 6 + (5 + 5 + 5 + 5 + 5 + 5 + 5 + 5 + 5 + 5 + 5 + 5) + \\ &\quad + 1 - 6(1 + 3 + 4) = 62 - 48 = 14. \end{aligned}$$

3. Избыточная связность, приходящаяся на один диконтур:

$$S_0 = \frac{q}{n_{II}} = \frac{14}{4} = 3,5.$$

4. Проверим подвижность механизма [9]:

$$\begin{aligned} W &= \Sigma H - (6 - S_0)n_H = \\ &= (1+1+1+1+1+1+1+1+1+1) - (6-3,5) \cdot 4 = \\ &= 11 - 10 = 1. \end{aligned}$$

Подвижность равна единичному принуждению управления движением $Z = 1$ [8], следовательно, решение правильное.

5. Проверим избыточную связность по формуле [7]:

$$q = 3N_{\partial} + 4n_{II_{geom}} = 3 \cdot 2 + 4 \cdot 2 = 14.$$

Структурный состав механизма определяется по топологической таблице контуров-звеньев (рис. 6):

Поконтурный анализ указывает на существование плоского клинового контура ($S_0 = 4$) $[(1 - I), (2 - II)]$, диады 1 ($S_0 = 3$) $[(3 - I) + (4 - II)]$, диады 2 ($S_0 = 3$) $[(5 - I) + (6 - II)]$ и автодиконтура $7 - II$.

Выводы

1. Закономерная контурозвенность определяет существование однородных и неоднородных, а также односемейственных и неоднородных кинематических цепей.

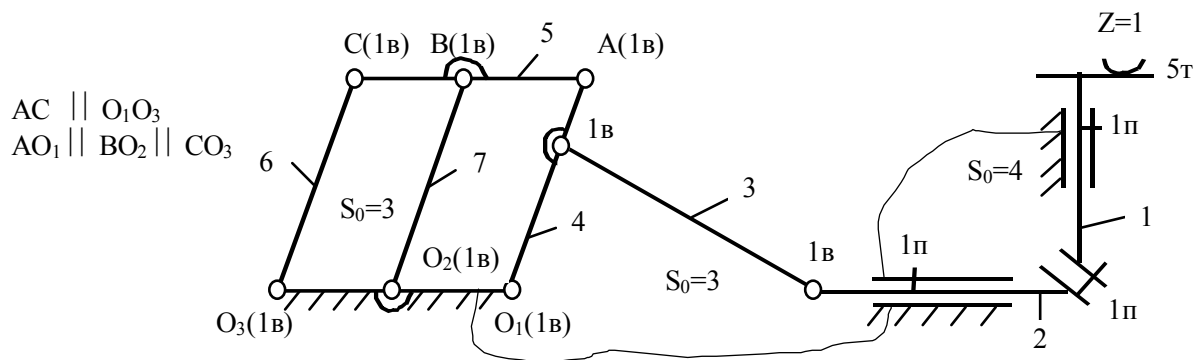


Рис. 5. Неоднородный и неодоносемейственный механизм

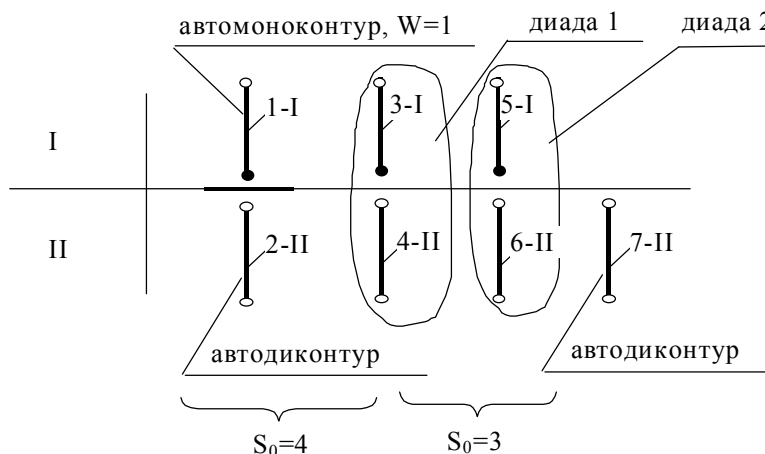


Рис. 6. Топологическая таблица контуров-звеньев

2. Однородными являются: одноэлементные моноконтурные цепи, структурное кольцо, многоэлементные диконтурные цепи, групповые цепи, отвечающие заданному критерию общей связности S_0 .

3. К неоднородным относятся: двухэлементные линейные цепи, всегда содержащие по одному диконтур и некоторому множеству моноконтуров, которое не может быть пустым;

— группы;

— цепи, содержащие внегрупповые контуры звенья, т.е. автомоноконтур и автодиконтур.

4. Односемейственные цепи имеют множество замкнутых изменяемых контуров с одинаковым значением общей связности S_0 .

5. Неодносемейственные цепи имеют множество замкнутых изменяемых контуров с различными значениями общей связности. В общем случае возможно существование шестисемейственной цепи со значениями $S_0 = 0, 1, 2, 3, 4, 5$.

Литература

1. Сомов П.О. О степенях свободы кинематической цепи // Журн. русского физ.-хим. общества. — 1887. — Т.19, вып. 9. — С. 443-476.
2. Добровольский В.В. Система механизмов. — М.: Машгиз, 1943. — 96 с.

3. Дворников Л.Т. Проблемы исследования не-односемейственных механизмов // Материалы 6-й научно-практ. конф. по проблемам машиностроения, металлург. и горн. машин. — Новокузнецк: Изд-во СибГГМА, 1997. — С. 3-12.

4. Пожбелко В.И. Универсальная структурная формула и классификация механических систем любой структуры // Известия вузов. Машиностроение. — 2000. — № 1-2. — С. 3-11.

5. Машнев М.М., Красковский Е.Я., Лебедев П.А. Теория механизмов и машин и детали машин. — Л.: Машиностроение, 1980. — 512 с.

6. Дрягин Д.П. Закон строения механизмов // Вісник Сумського державного університету. — 1999. — № 2 (13). — С. 79-80.

7. Дрягин Д.П. Будова механізмів. Нові методи структурного аналізу та синтезу. — Суми: Вид-во СумДУ, 2001. — 67 с.

8. Дрягин Д.П. Принуждение и свобода кинематических цепей // Известия вузов. Машиностроение. — 2001. — № 6. — С. 49-53.

9. Дрягин Д.П. Аналитические основы оптимизации структуры механизмов // Вісник Сумського державного університету. — 2000. — № 19. — С. 89-93.

Поступила в редакцию 8.06.2006

Рецензент: канд. техн. наук, доцент В.Г. Неня, Сумской государственной университет, Сумы.