

КИНЕТОСТАТИКА ГРУППЫ АССУРА ЧЕТВЕРТОГО КЛАССА ВТОРОГО ПОРЯДКА С ДВУМЯ ПОСТУПАТЕЛЬНЫМИ ПАРАМИ

Работа посвящена кинестатическому исследованию двух модификаций шарнирной группы Ассура четвертого класса, второго порядка с двумя поступательными парами. Обоснована актуальность такой задачи в свете более широких функциональных возможностей такой группы и отсутствием простых инженерных методов исследования как в учебной, так и технической и научной литературе. Метод базируется на графоаналитическом способе, что более удобно для инженерной практики проектирования и легко выполняется на современных компьютерах и достигается высокая точность. Составлена строгая последовательность проведения отдельных этапов силового исследования с использованием особых точек.

Ключевые слова: поступательная кинематическая пара, кинестатика, сила, момент силы, составляющие реакции, статическое равновесие, план сил.

ROBERT VACHAGANOVICH AMBARTSUMYANTS, SERGEY ALEKSANDROVICH ROMASHKEVICH

Odessa National Academy of Food Technologies

DYNAMIC FORCE RESEARCH OF ASSUR GROUP OF THE FOURTH CLASS OF THE SECOND ORDER WITH TWO KINEMATIC PAIR

Dynamic force analysis of mechanisms is one of the determining stages of their projecting and it allows to carry out calculation for strength and rigidity of elements of the kinematic pairs, units them – selves and prepare the basis for constructing. The work is devoted to dynamic force research of Assur group of the two modification fourth class of the second order with two slider and four turning kinematic pairs. The urgency of this task in terms of wider functional possibilities of such group and absence of simple engineering methods in educational, technical and scientific literature has been substantiated. The method is based on the analytical – tabular methods, and that is more comfortable for engineering practice of projecting. The strict sequence of carrying out separate stages of power research with application special dots has been composed. The force research is completed with verifying construction, which allows to make a conclusion about correctness of calculating operation and graphic plotting's. The numerical example was carried out on a personal computer with application of graphic plotting "Compass". It has been established that application of the second sign of accuracy, when determining arms of corresponding forces in the equations of forces moment balance, allows to get the solution practically without errors.

Keywords: slider kinematic pair, dynamic force research, force moment, reaction components, static equilibrium, force plan.

Для проектирования любого механизма обязательным этапом является, кроме структурного и кинематического исследования, полномасштабное силовое исследование, что позволяет осуществить необходимые расчеты на прочность, жесткость отдельных звеньев и осуществить его конструирование. В учебной, научной и технической литературе в полном объеме изложены вопросы исследования групп Ассура второго класса [1, 2 и др.], благодаря чему, механизмы, синтезированные на их базе, нашли широкое применение в технике. В научной и технической литературе меньше внимания уделено группам Ассура 3-го и 4-го классов, чем объясняется их ограниченное применение в технике.

В работе [3] предложен метод кинестатического исследования шарнирной группы Ассура 4-го класса второго порядка, а в работе [4] – кинестатическое исследование модификации этой же группы с одной поступательной кинематической парой.

Целью данной работы является разработка методов кинестатического исследования группы Ассура четвертого класса второго порядка с двумя поступательными кинематическими парами. Число возможных модификаций рассматриваемой группы $M = C_6^2 = 15$. В виду большого количества разновидностей модификаций в данной работе рассматриваются только две их разновидности, представленные на рис. 1, а, б.

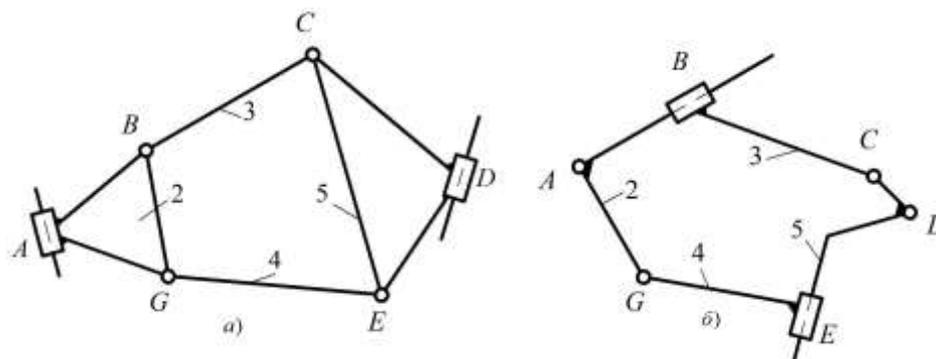


Рис. 1. Модификации группы Ассура четвертого класса второго порядка с двумя поступательными кинематическими парами

Предлагается следующий алгоритм решения поставленной задачи:

1. Разрываем связи в шарнирных соединениях B , C , E , G и представим расчетную модель силового исследования в виде на рис. 3, а. В шарнирах B , G , реакции разлагаем на составляющие – перпендикулярно и по продольной оси звеньев 3 и 4 соответственно: $\bar{R}_{23} = \bar{R}_{23}^\tau + \bar{R}_{23}^n$; $\bar{R}_{24} = \bar{R}_{24}^\tau + \bar{R}_{24}^n$. В шарнирных соединениях C , E возникают реакции \bar{R}_{53} и \bar{R}_{54} соответственно, которых также следует определить. Отметим, что аналогичные реакции возникают и действуют на звеньях 2 и 5 (см. рис. 3, а), согласно третьему закону Ньютона.

2. Рассматриваем равновесие всей группы. Для этого составляем векторное уравнение равновесия сил группы

$$\sum \bar{F}^{2P} = \bar{R}_{12} + \bar{F}_2 + \bar{F}_3 + \bar{F}_4 + \bar{F}_5 + \bar{R}_{05} = 0. \quad (1)$$

На основании векторного уравнения (1) строим план сил (рис. 2, б) откуда находим неизвестные реакции \bar{R}_{12} , \bar{R}_{05} .

3. Составляем уравнения равновесия моментов сил, действующих на звеньях 3 и 4 относительно центров шарнирных соединений C , E соответственно (рис. 3, а). Имеем

$$\sum M_C^{(3)}(\bar{F}) = -R_{23}^\tau \cdot l_{BC} + F_3 h_3 \mu_l - M_3 = 0; \quad (2)$$

$$\sum M_E^{(4)}(\bar{F}) = -R_{42}^\tau \cdot l_{GE} - F_4 h_4 \mu_l - M_4 = 0, \quad (3)$$

где l_{BC} , l_{GE} – длины звеньев 3 и 4 соответственно,

h_3 , h_4 – плечи соответствующих сил до центров шарнирных соединений C и E ,

μ_l – линейный масштабный коэффициент построения расчетной модели.

Из решения линейных уравнений (2), (3) находим модули составляющих реакций \bar{R}_{23}^τ , \bar{R}_{42}^τ и уточняем их направления – положительный знак составляющего означает правильность выбранного направления. В противном случае изменяем направление вектора в противоположную сторону.

4. Рассматриваем равновесие второго звена, нагруженного внешними силами, моментами и реакциями связей (рис. 3, а). Составляем векторное уравнение равновесия сил звена 2

$$\sum \bar{F}^{(2)} = \bar{R}_{32}^n + \bar{R}_{32}^\tau + \bar{F}_2 + \bar{R}_{12} + \bar{R}_{42}^\tau + \bar{R}_{42}^n = 0, \quad (4)$$

На основании векторного уравнения (4) строим план сил (рис. 3, б) откуда находим неизвестные реакции \bar{R}_{32}^n и \bar{R}_{42}^n .

5. В пересечении линий действия векторов $\bar{R}_{32}^n = -\bar{R}_{23}^n$ и $\bar{R}_{42}^n = -\bar{R}_{24}^n$ находим особую точку S (см. рис. 3, а). Рассматриваем равновесие 2 звена, на котором осталось неизвестным расстояние h_{12} определяющей точку приложения реакции \bar{R}_{12} . Составляем уравнение равновесия моментов сил, действующих на звено 2 относительно особой точки S . Имеем

$$\sum M_S^{(2)}(\bar{F}) = -R_{32}^\tau \cdot l_{BS} - F_2 h_2 \mu_l + R_{42}^\tau l_{GS} - M_2 + R_{12} h_{12} \mu_l = 0; \quad (5)$$

где l_{BS} , l_{GS} – расстояния от точек B и G до особой точки Ассур S соответственно,

h_2 – плечо силы \bar{F}_2 до особой точки Ассур S .

Из решения уравнения (5) находим значение h_{12} .

6. Рассматриваем равновесие 3-го звена и строим его план сил (рис. 3, г) на основании векторного уравнения $\bar{R}_{23} + \bar{F}_3 + \bar{R}_{53} = 0$ и находим вектор $\bar{R}_{53} = -\bar{R}_{35}$.

7. Рассматриваем равновесие 4-го звена. Записываем условие равновесия сил $\bar{F}_{24} + \bar{F}_4 + \bar{R}_{54} = 0$ и строим план сил (рис. 3, д) откуда находим $\bar{R}_{45} = -\bar{R}_{54}$.

8. Составляем уравнение равновесия моментов сил звена 5 относительно центра шарнирного соединения, например, E .

$$\sum M_E^{(5)}(\bar{F}) = -R_{05} \cdot h_{05} \cdot \mu_l + R_{35}^n \cdot h_{51} \cdot \mu_l + \bar{R}_{35}^\tau h_{52} \mu_l - F_5 \cdot h_{53} \cdot \mu_l - M_5 = 0, \quad (6)$$

где h_{05} – расстояние, определяющее точку приложения реакции \bar{R}_{05} ,

h_{51} , h_{52} , h_{53} – плечи соответствующих сил относительно точки E .

Из решения уравнения (6) находим значение h_{05} .

Задача 2. Модификация группы Ассур 4-го класса с двумя поступательными парами по рис. 1, б.

Как и в предыдущей задаче, звенья группы загружены равнодействующими $\bar{F}_i (i = 2, \dots, 5)$ внешних сил, сил трения, сил инерции и моментов сил инерции $\bar{M}_i (i = 2, \dots, 5)$, а также реакциями связей.

Предлагается следующий алгоритм для определения реакций в кинематических парах группы.

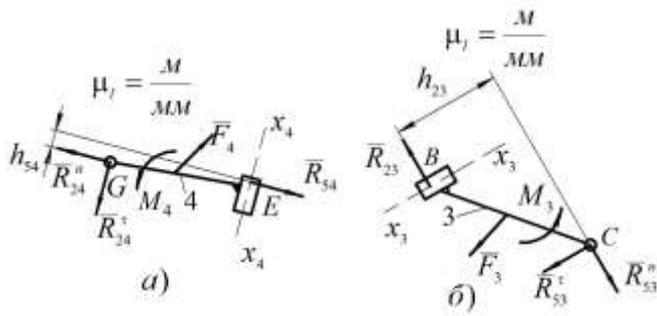


Рис. 4. Расчетные схемы кинестатики звеньев: 4 – а); 3 – б)

1. Рассматриваем равновесие 4-го и 3-го звеньев (рис. 4, а, б)

Обозначим линии перемещения ползунов E и B через $x_4 - x_4$, $x_3 - x_3$ соответственно. Реакцию в шарнире G разлагаем на составляющие $\bar{R}_{24} = \bar{R}_{24}^\tau + \bar{R}_{24}^n$, направив нормальную составляющую \bar{R}_{24}^n перпендикулярно $x_4 - x_4$, а \bar{R}_{24}^τ – параллельно $x_4 - x_4$. Аналогично поступаем с реакцией \bar{R}_{53}

в шарнире C : $\bar{R}_{53} = \bar{R}_{53}^\tau + \bar{R}_{53}^n$. Составляем уравнение равновесия проекций сил звеньев 3 и 4 на направление $x_3 - x_3$ и $x_4 - x_4$: $\sum_{np} (F)_{x_3 x_3}^{(3)} = 0$, и $\sum_{np} (F)_{x_4 x_4}^{(4)} = 0$. Из решения этих уравнений находим модули и направления составляющих реакций \bar{R}_{24}^τ и \bar{R}_{53}^τ .

2. Рассматриваем равновесие всей группы (рис. 5, а). Реакцию в шарнире A разлагаем на составляющие $\bar{R}_{12} = \bar{R}_{12}^\tau + \bar{R}_{12}^n$. Нормальную составляющую \bar{R}_{12}^n направим по прямой AD , а тангенциальную \bar{R}_{12}^τ – перпендикулярно к прямой AD .

Составляем уравнение равновесия моментов сил группы относительно центра шарнира D $\sum M_D^{(ep)}(\bar{F}) = 0$, из решения которого находим модуль и направление составляющей \bar{R}_{12}^τ .

3. Рассматриваем кинематическую цепь 2 – 3 (рис. 5, б)

В пересечении линий действия составляющих реакций \bar{R}_{53}^n и \bar{R}_{24}^n находим точку S и составляем уравнение равновесия моментов сил кинематической цепи 2 – 3 относительно этой точки $\sum M_S^{(2,3)}(\bar{F}) = 0$, из решения которого находим модуль и направление составляющей \bar{R}_{12}^n .

Составляем векторное уравнение равновесия сил кинематической цепи 2 – 3

$$\sum \bar{F}^{(2,3)} = \bar{R}_{12}^n + \bar{R}_{12}^\tau + \bar{F}_2 + \bar{F}_3 + \bar{R}_{24}^\tau + \bar{R}_{24}^n + \bar{R}_{53}^\tau + \bar{R}_{53}^n = 0 \quad (7)$$

На основании (7) строим план сил (рис. 5, в) и находим составляющие \bar{R}_{53}^n , \bar{R}_{24}^n и соответственно полные реакции в шарнирах C и G – \bar{R}_{53} и \bar{R}_{24} .

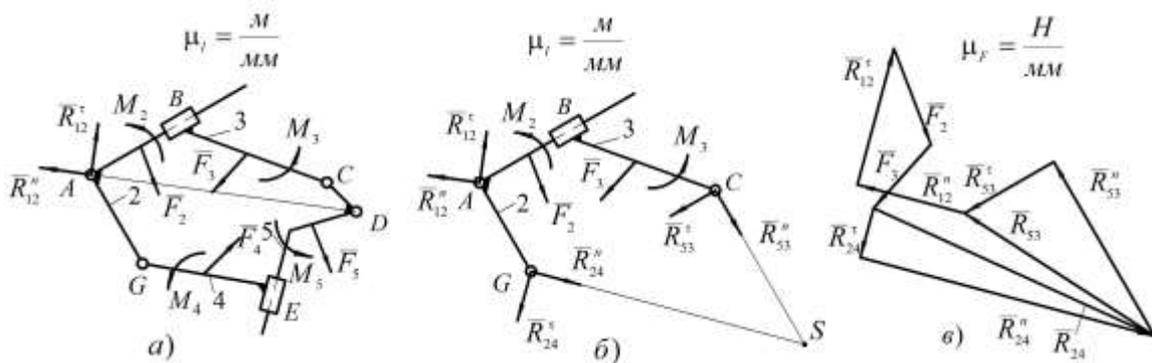


Рис. 5. Расчетная схема кинестатики группы – а); расчетная схема кинестатики кинематической цепи 2 – 3 – б); план сил кинематической цепи 2 – 3 – в)

4. Составляем уравнение равновесия проекций сил звеньев 3 и 4 на направления, перпендикулярные, $x_3 - x_3$, $x_4 - x_4$ (см. рис. 4 а, б) $\sum_{np} (F)_{x_3 x_3}^{(3)} = 0$, и $\sum_{np} (F)_{x_4 x_4}^{(4)} = 0$ и из решения этих уравнений находим реакции \bar{R}_{24} и \bar{R}_{54} .

5. Составляем уравнения равновесия моментов сил, действующих на звено 3 относительно центра шарнира C (см. рис. 4, б) $\sum M_C^{(3)}(\bar{F}) = 0$, из решения которого находим плечо h_{24} и, следовательно, точку приложения реакции \bar{R}_{24} .

6. Составляем уравнение равновесия моментов сил, действующих на звено 4 относительно центра шарнира G $\sum M_G^{(4)}(\bar{F}) = 0$, из решения которого находим плечо h_{54} , что определяет точку приложения реакции \bar{R}_{54} .

7. Рассмотрим равновесие звена 5 (рис. 6, а). Поскольку реакции в кинематических парах C и E найдены, а именно $\bar{R}_{35} = -\bar{R}_{53}$ и $\bar{R}_{45} = -\bar{R}_{54}$, то неизвестным остается только реакция в шарнире D . Для ее определения составляем векторное уравнение равновесия сил, действующих на звено 5

$$\sum \bar{F}^{(5)} = \bar{F}_5 + \bar{R}_{45} + \bar{R}_{35} + \bar{R}_{05} = 0. \quad (8)$$

На основании (8), построив план сил, находим реакцию \bar{R}_{05} (рис. 6, б).

Еще раз напоминаем: учет сил трения, что особенно важно при наличии поступательных кинематических пар, можно осуществить методом последовательных приближений используя предложенный метод и добавляя внешним силам силы трения в кинематических парах, значения которых определяют согласно закону Кулона, принимая во внимание значения реакций, определенные на первом этапе.

Заключение. Надеемся, что представленные решения задачи по кинестатике модификации группы 4-го класса заинтересуют инженеров конструкторов для широкого применения таких групп в современных технологических машинах. Также более широкого применения в перспективных шагающих машинах, необходимых как для сельского хозяйства, так и для непроходимых для человека местностей.

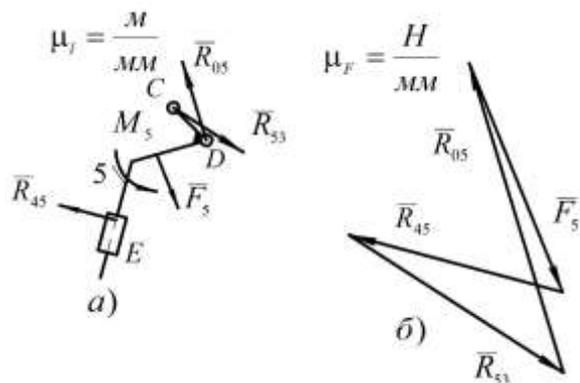


Рис. 6. Расчетная схема кинестатики звена 5 – а); план сил звена 5 – б)

Литература

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин : учеб. для вузов / И.И. Артоболевский. – 4-е изд., перераб. и допол. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. литературы, 1988. – 640 с.
2. Левитский Н. И. Теория механизмов и машин / Н. И. Левитский. – М. : Наука, 1990. – 592 с.
3. Амбарцумянц Р. В. Кинестатическое исследование шарнирной группы Ассур четвертого класса второго порядка / Р.В. Амбарцумянц, А.П. Липин, С.А. Ромашкевич // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 1. – С. 12–16.
4. Амбарцумянц Р. В. Кинестатика группы Ассур четвертого класса второго порядка с одной поступательной парой / Р.В. Амбарцумянц, С.А. Ромашкевич, А.П. Липин // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 5. – С. 24–29.

References

1. Artobolevskij I.I. Teoriya mehanizmov i mashin : ucheb. dlya vuzov / I.I. Artobolevskij. – 4-e izd., pererab. i dopol. – M. : Nauka. Gl. red. fiz.-mat. literatury, 1988. – 640 s.
2. Levitskij N. I. Teoriya mehanizmov i mashin / N. I. Levitskij. – M. : Nauka, 1990. – 592 s.
3. Ambarcumyanc R. V. Kinetostaticheskoe issledovanie sharnirnoj grupy Assura chetvertogo klassa vtorogo poryadka / R.V. Ambarcumyanc, A.P. Lipin, S.A. Romashkevich // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 1. – S. 12–16.
4. Ambarcumyanc R. V. Kinetostatika grupy Assura chetvertogo klassa vtorogo poryadka s odnoy postupatelnoy paroj / R.V. Ambarcumyanc, S.A. Romashkevich, A.P. Lipin // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 5. – S. 24–29.

Рецензія/Peer review : 18.12.2019 р.

Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Гладушняк А.К.