

Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, С.А. РОМАШКЕВИЧ, А.П. ЛИПИН
Одесская национальная академия пищевых технологий

КИНЕТОСТАТИКА ГРУППЫ АССУРА ЧЕТВЕРТОГО КЛАССА ВТОРОГО ПОРЯДКА С ОДНОЙ ПОСТУПАТЕЛЬНОЙ ПАРОЙ

Работа посвящена кинестатическому исследованию шарнирной группы Ассура четвертого класса, второго порядка с одной поступательной парой. Обоснована актуальность такой задачи в свете более широких функциональных возможностей такой группы и отсутствием простых инженерных методов исследования в учебной, технической и научной литературе. Метод базируется на графоаналитическом способе, что более удобно для инженерной практики проектирования. Составлена строгая последовательность проведения отдельных этапов силового исследования с использованием особых точек Ассура. Силовое исследование завершается проверочным построением, позволяющим заключить о правильности расчетных операций и графических построений.

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

ROBERT VACHAGANOVICH AMBARTSUMYANTS,
SERGEY ALEKSANDROVICH ROMASHKEVICH, ANDREY PAVLOVICH LIPIN
Odessa National Academy of Food Technologies

DYNAMIC FORCE RESEARCH OF ASSUR GROUP OF THE FOURTH CLASS OF THE SECOND ORDER WITH ONE 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 fourth class of the second order with one slider and five 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 Assur 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.

В работе [1] предложен метод кинестатического исследования шарнирной группы Ассура 4-го класса второго порядка. Принимая во внимание, что одноподвижные кинематические пары конструктивно могут быть выполнены не только вращательными (шарнирными), но и поступательными, то возникает задача силового исследования модификаций рассматриваемой группы. Например, если выходное звено механизма четвертого класса, по классификации Ассура-Артоболевского, образует с основанием поступательную кинематическую пару (рис. 1), то передача движения от ведущего звена к ведомому осуществляется двумя потоками – $OABCG$ и $OADEG$. Следовательно, общий поток мощности перераспределяется на два подпотока мощности по указанным контурам позволяющим, во первых, уменьшить массо-инерционные показатели шатунов BC и DE , во вторых улучшить условия передачи усилий от шатунов BC и DE к ползуну, что приводит к существенному повышению также коэффициента полезного действия механизма.

Число возможных модификаций рассматриваемой группы $M = C_6^1 = 6$. Однако, с точки зрения их кинестатического исследования многие из них являются изоморфными. Действительно, если в представленной на рис. 1 схеме механизма поменять местами кинематические пары A и G , то кинестатическое их исследование можно осуществить по одной и той же методике. Аналогично, все модификации данной группы, образованные путем замены шарнирных соединений B , C , D , E по одному поступательными, являются изоморфными и для их кинестатического исследования достаточно разрабатывать единый метод.

Целью настоящей работы является кинестатическое исследование модификации группы Ассура четвертого класса второго порядка с одной поступательной парой. При решении поставленных задач принимаем известными массо-инерционные показатели всех звеньев, их кинематические показатели, а именно, положения, скорости и ускорения как линейных, так и угловых. На первом этапе силового исследования силы трения не учитываем, а при их необходимости воспользуемся методом последовательных приближений [2].

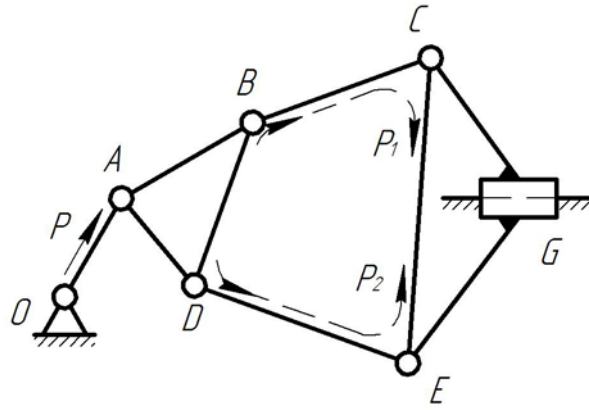


Рис. 1. Структурная схема рычажного механизма четвертого класса второго порядка с одной поступательной кинематической парой

Задача 1. Модификация группы Ассура четвертого класса с одной концевой поступательной кинематической парой (рис. 2, а).

Звенья группы нагружены равнодействующими силами $\bar{F}_i (i = 2, \dots, 5)$ от внешних сил, сил тяжести, сил инерции, производственных сил, а также равнодействующими моментами $\bar{M}_i (i = 2, \dots, 5)$ от внешних моментов, моментов от сил инерции и др. Предполагаем, что продольные оси шатунов BC и DE группы ни в одном положении группы не параллельны и они пересекаются в особой точке S Ассура (рис. 2, б). На первом этапе силового исследования рассматриваемой группы силы трения не учитываем, считаем идеальность всех кинематических пар, т.е. зазоры в них отсутствуют.

Отметим, что в случае необходимости учета сил трения, после выполнения первого этапа силового исследования, можно применить метод последовательных приближений [2].

На рассматриваемой группе извне действуют внешние неизвестные реакции $\bar{R}_{12} = \bar{R}_{12}^{\tau} + \bar{R}_{12}^n$ и \bar{R}_{05} , где \bar{R}_{12}^n и \bar{R}_{12}^{τ} направлены по прямой AS и перпендикулярно к ней. Неизвестной является также точка k приложения реакции \bar{R}_{05} . Для определения значения названных четырех неизвестных, а также полные реакции в шарнирных соединениях A, B, C, D, E предлагаем следующую последовательность решения.

1. Разрываем связи в шарнирных соединениях B, C, D, E и представим расчетную модель силового исследования в виде на рис. 1, б. В шарнирах B, D , реакции разлагаем на составляющие – по продольной оси звеньев 3 и 4 соответственно и перпендикулярно: $\bar{R}_{23} = \bar{R}_{23}^{\tau} + \bar{R}_{23}^n$; $\bar{R}_{24} = \bar{R}_{24}^{\tau} + \bar{R}_{24}^n$. 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 (рис. 2, б), согласно третьему закону Ньютона.

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

$$\sum M_C^{(3)}(\bar{F}) = -R_{23}^{\tau} \cdot l_{BC} - F_3 h_3 \mu_l + M_3 = 0; \quad (1)$$

$$\sum M_E^{(4)}(\bar{F}) = -R_{42}^{\tau} \cdot l_{DE} - F_4 h_4 \mu_l + M_4 = 0, \quad (2)$$

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

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

μ_l – линейный масштабный коэффициент построения расчетной модели.

Из решения линейных уравнений (1), (2) находим модули составляющих реакций $\bar{R}_{23}^{\tau}, \bar{R}_{23}^n$ и уточняем их направления – положительный знак составляющего означает правильность выбранного направления. В противном случае изменяем направление вектора в противоположную сторону.

3. Рассматриваем равновесие второго звена, нагруженного внешними силами, моментами и реакциями связей (рис. 2, б). 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 Ассура. Реакцию в шарнире A разлагаем на составляющие $\bar{R}_{12} = \bar{R}_{12}^{\tau} + \bar{R}_{12}^n$. Составляющую \bar{R}_{12}^{τ} направим перпендикулярно к линии AS , а \bar{R}_{12}^n – по линии AS . Составляем уравнение равновесия моментов сил звена 2 относительно точки S

$$\sum M_S^{(2)}(\bar{F}) = R_{12}^r \cdot h_{12} \cdot \mu_l - R_{42}^r \cdot h_{42} \cdot \mu_l + M_2 - F_2 \cdot h_2 \cdot \mu_l - R_{32}^r \cdot h_{32} \cdot \mu_l = 0, \quad (3)$$

где $h_{12}, h_{32}, h_{42}, h_2$ – плечи сил $\bar{R}_{12}^r, \bar{R}_{32}^r, \bar{R}_{42}^r$ и \bar{F}_2 относительно точки S .

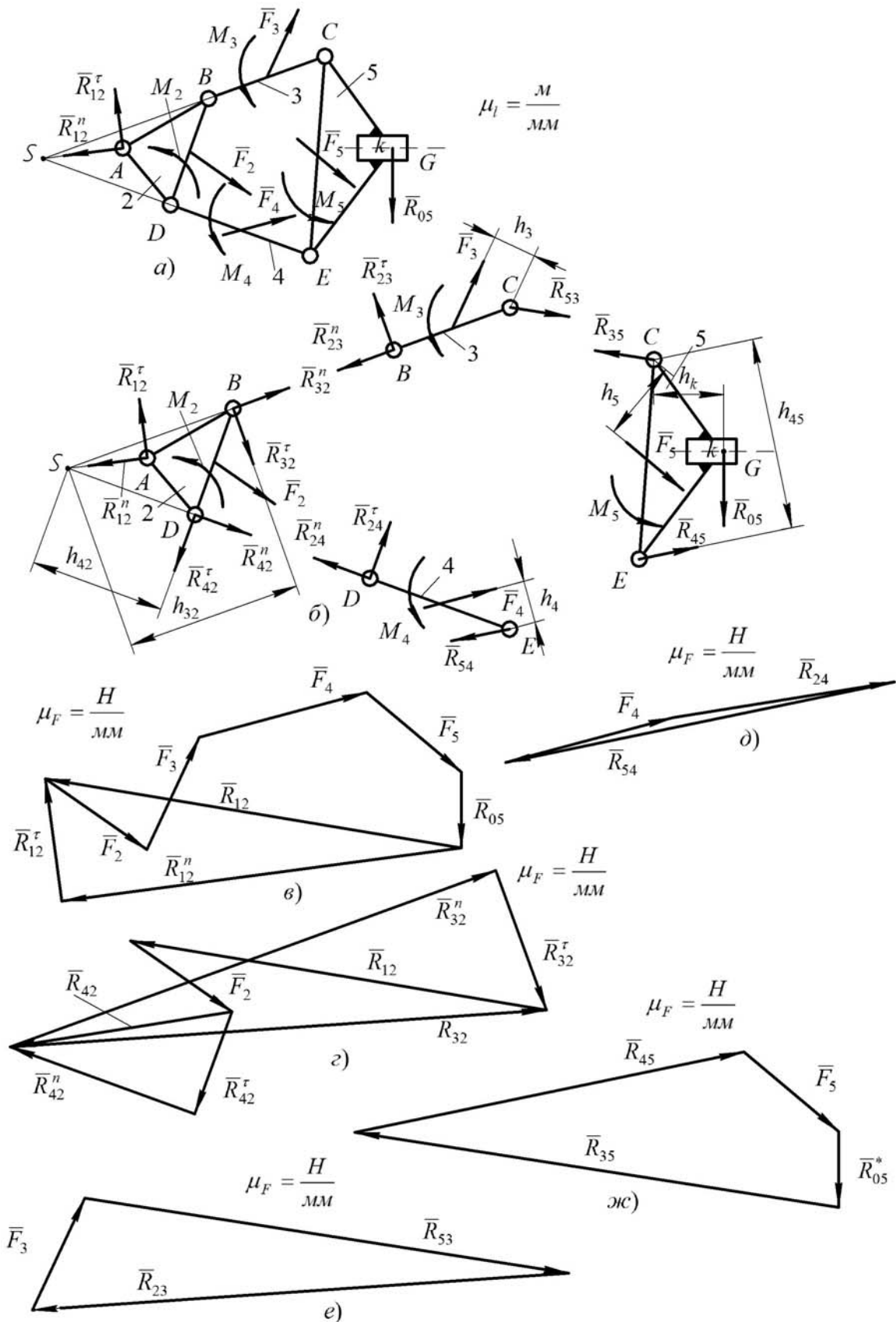


Рис. 2. Модификация группы Ассур с одной концевой поступательной кинематической парой; а) расчетная модель кинестатики группы; б) планы сил группы; в) планы сил второго, третьего, четвертого, пятого звеньев; г), д), е), ж) соответственно

Примечание. При составлении уравнения (3) учтены направления моментов сил относительно точки S .

Из решения линейного уравнения (3) находим модуль реакции \bar{R}_{12}^{τ} и уточняем ее направление.

4. Рассматриваем равновесие всей группы, на которой остались три неизвестных: \bar{R}_{12}^n , \bar{R}_{05} и точка k приложения реакции \bar{R}_{05} .

Составляем векторное уравнение равновесия группы

$$\bar{R}_{12}^n + \bar{R}_{12}^{\tau} + \bar{F}_2 + \bar{F}_3 + \bar{F}_4 + \bar{F}_5 + \bar{R}_{05} = 0. \quad (4)$$

На основании векторного уравнения (4) строим план сил (рис. 2, в) откуда находим неизвестные реакции \bar{R}_{12}^n , \bar{R}_{05} .

5. Рассматриваем равновесие 2-го звена, составляем векторное уравнение равновесия сил, действующих на него

$$\bar{R}_{12} + \bar{F}_2 + \bar{R}_{32}^n + \bar{R}_{32}^{\tau} + \bar{R}_{42}^{\tau} + \bar{R}_{42}^n = 0. \quad (5)$$

На основании векторного уравнения (5) строим план сил звена 2 (рис 2, г) откуда находим значения составляющих \bar{R}_{32}^n , \bar{R}_{42}^n и, следовательно полные реакции в шарнирных соединениях B и D .

6. Составляем векторные уравнения равновесия сил звеньев 3, 4

$$\bar{R}_{23} + \bar{F}_3 + \bar{R}_{53} = 0, \quad \bar{R}_{24} + \bar{F}_4 + \bar{R}_{54} = 0 \quad (6)$$

На основании (6) строим планы сил звеньев 3, 4 и находим полные реакции $\bar{R}_{53} = -\bar{R}_{35}$, $\bar{R}_{54} = -\bar{R}_{45}$ в шарнирных соединениях C и E соответственно (рис. 2, д, е).

7. Составляем уравнение равновесия моментов сил звена 5 относительно центра шарнирного соединения, например, C .

$$\sum M_C^{(5)}(\bar{F}) = -R_{05} \cdot h_k \cdot \mu_l - R_{45} \cdot h_{45} \cdot \mu_l + F_5 \cdot h_5 \cdot \mu_l + M_5 = 0, \quad (7)$$

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

h_{45}, h_5 – плечи соответствующих сил относительно точки C .

Из уравнения (7) находим значение h_k .

8. Проверка правильности расчетных операций и графических построений. Поскольку для пятого звена нами было использовано уравнение равновесия моментов сил, то векторное уравнение равновесия сил даст возможность оценить правильность решения задачи. Имеем

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

На основании (8) строим план сил, предполагая, что реакция \bar{R}_{05}^* неизвестна. На основании построенного плана находим погрешность $\Delta R_{05} = |R_{05} - R_{05}^*|$ по модулю и по направлению. Как показывают числовые расчеты при правильных геометрических построениях ошибка рассматриваемого вектора практически нулевая.

Если шарнирное соединение A преобразовано в поступательное, то представленная методика силового исследования легко применима и для такого случая. Отличие заключается лишь в том, что меняется последовательность расчетов, а именно:

– после рассмотрения равновесий звеньев 3 и 4 необходимо рассмотреть равновесие 5-го звена, разложив реакцию в шарнирном соединении G на составляющие через особую точку S Ассура.

Задача 2. Поступательная кинематическая пара находится на четырехугольном контуре рассматриваемой группы, например, в соединении B (рис. 3, а).

Расчетная модель кинетостатического исследования такой группы нагруженной равнодействующими всех сил $\bar{F}_i (i = 2, \dots, 5)$ и моментов сил $\bar{M}_i (i = 2, \dots, 5)$ представлена на рис. 3, б.

Предлагается следующая последовательность кинетостатического исследования.

1. С центром шарнирного соединения C свяжем прямоугольную декартову систему координат направив ось Y -в по направлению поступательной кинематической пары B . Реакцию в шарнирном соединении C звена 3 разлагаем на составляющие – по оси Y -в – \bar{R}_{53}^{τ} , по оси X -в – \bar{R}_{53}^n .

Составляем уравнение равновесия проекций сил на оси Y -в $\sum Y^{(3)} = 0$, откуда находим модуль составляющей \bar{R}_{53}^{τ} и уточняем правильность выбранного её направления.

2. Рассматриваем равновесие звена 4. Реакция в шарнирном соединении E разлагаем на составляющие: \bar{R}_{54}^n – по продольной оси ED звена и \bar{R}_{54}^{τ} – перпендикулярно к ED . Составляем уравнение

равновесия моментов сил, действующих на звено 4 относительно центра шарнира D . Из этого уравнения находим модуль вектора \bar{R}_{54}^{τ} и уточняем его направление. Аналогичным образом поступаем с шарнирным соединением D . Из уравнения равновесия моментов сил $\sum M_E^{(4)}(F) = 0$ находим составляющую \bar{R}_{24}^{τ} .

3. Рассматриваем равновесие звена 5. К внешним силам добавляем реакции в шарнире C $\bar{R}_{35}^{\tau} = -\bar{R}_{53}^{\tau}$, $\bar{R}_{35}^n = -\bar{R}_{53}^n$, $\bar{R}_{45}^{\tau} = -\bar{R}_{54}^{\tau}$ и $\bar{R}_{45}^n = -\bar{R}_{54}^n$ (рис. 3, б). В пересечении линий действия сил \bar{R}_{35}^n и \bar{R}_{45}^n находим особую точку S . Реакцию в шарнирном соединении G разлагаем на составляющие $\bar{R}_{05} = \bar{R}_{05}^{\tau} + \bar{R}_{05}^n$. Нормальную составляющую \bar{R}_{05}^n направляем по прямой GS , а тангенциальную \bar{R}_{05}^{τ} – перпендикулярно к прямой GS . Составляем уравнение равновесия моментов сил на звено 5 относительно точки S $\sum M_S^{(5)}(F) = 0$. Из этого уравнения находим модуль вектора \bar{R}_{05}^{τ} и уточняем его направление.

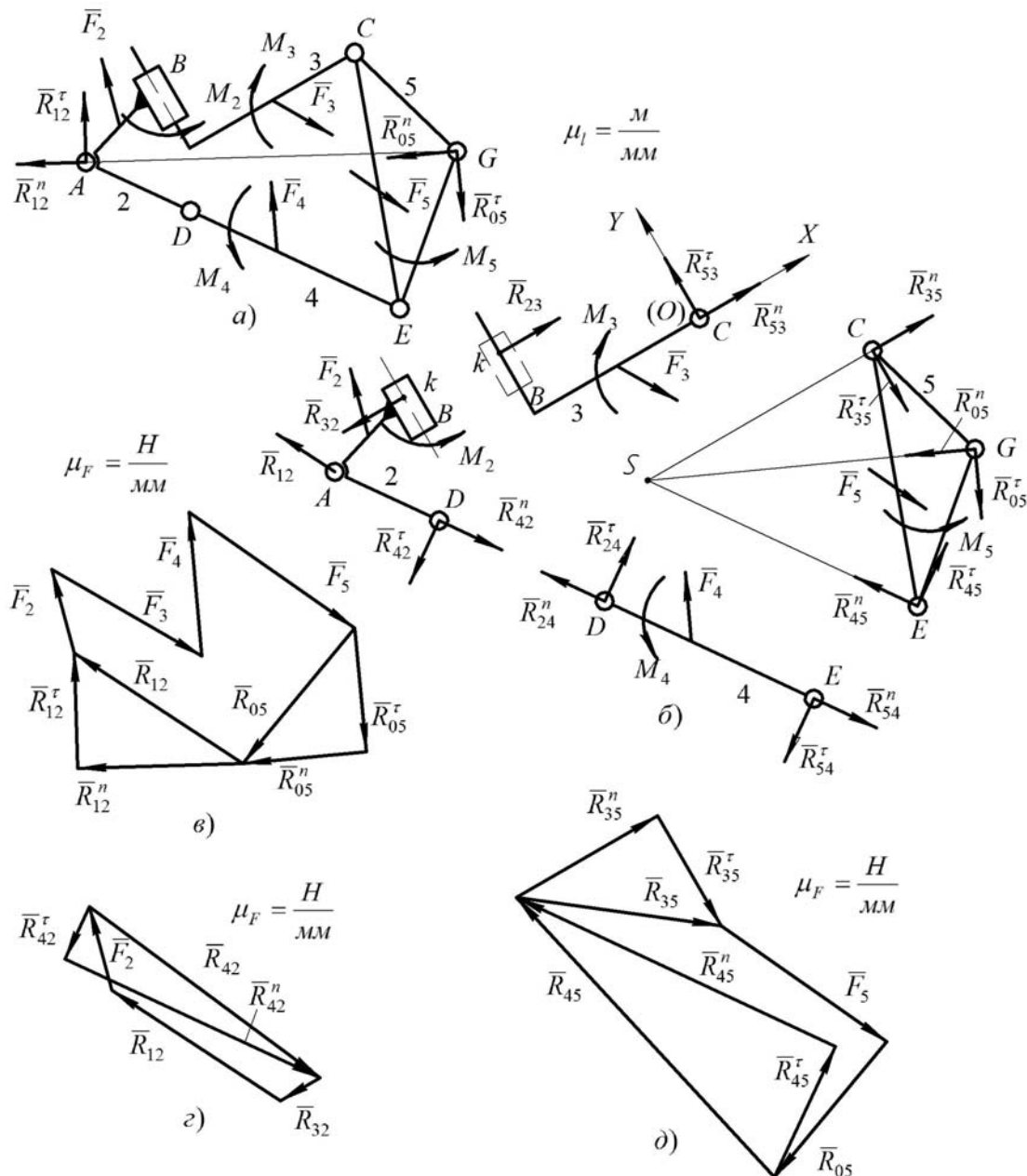


Рис. 3. Группа Ассура четвертого класса с одной поступательной кинематической парой на четырехугольном контуре: а) расчетная схема кинестатики группы; б) планы сил: группы; в) планы сил звеньев 2, 5; г), д) соответственно

4. Рассматриваем равновесие группы. Реакцию в шарнирном соединении A разлагаем на составляющие: \bar{R}_{12}^n – по прямой AG (рис. 3, а) и \bar{R}_{12}^{τ} – перпендикулярно к прямой AG . Составляем

уравнение равновесия моментов сил группы относительно центра G $\sum M_G^{(sp)}(F)=0$, откуда находим модуль вектора \bar{R}_{12}^{τ} и уточняем его направление. Составляем векторное уравнение равновесия сил группы

$$\bar{R}_{12}^n + \bar{R}_{12}^{\tau} + \bar{F}_2 + \bar{F}_3 + \bar{F}_4 + \bar{F}_5 + \bar{R}_{05}^{\tau} + \bar{R}_{05}^n = 0. \quad (9)$$

На основании (9) строим план сил группы (рис. 3, в) откуда находим реакции \bar{R}_{12} и \bar{R}_{05} .

Для определения точки приложения реакции \bar{R}_{32} составляем уравнение равновесия моментов сил звена 2 относительно центра шарнирного соединения, например A $\sum M_A^{(2)}(F)=0$, откуда находим расстояние h_{32} (рис. 3, б).

5. Рассматриваем равновесие звена 2 (рис. 3, в). Загружаем его также реакциями связей \bar{R}_{32} , $\bar{R}_{42}^n = -\bar{R}_{24}^n$, $\bar{R}_{42}^{\tau} = -\bar{R}_{24}^{\tau}$. Составляем векторное уравнение равновесия звена 2

$$\bar{R}_{32} + \bar{F}_2 + \bar{R}_{12} + \bar{R}_{42}^{\tau} + \bar{R}_{42}^n = 0. \quad (10)$$

На основании (10) строим план сил звена 2 откуда находим векторы \bar{R}_{32} и \bar{R}_{42} (рис. 3, г).

6. Рассматриваем равновесие 5-го звена, составляем векторное уравнение равновесия сил $\bar{F}_5 + \bar{R}_{05} + \bar{R}_{45}^{\tau} + \bar{R}_{45}^n + \bar{R}_{35}^n + \bar{R}_{35}^{\tau} = 0$ и на его основании строим план сил, откуда находим \bar{R}_{35} и \bar{R}_{45} (рис. 3, д).

Таким образом реакции во всех кинематических парах определены.

Для проверки правильности расчетов и графических построений можно воспользоваться уравнением равновесия проекций сил по оси X -в для звена 3, считая, что сила \bar{R}_{23}^* является неизвестной величиной. Отклонение $\Delta R_{23} = |R_{23} - R_{23}^*| \rightarrow \min$ показывает правильность величин и построений.

Заключение. Количество конструктивных исполнений рассматриваемой группы (количество модификаций) равно шести. Однако с точки зрения кинетостатического их исследования интерес представляет лишь две их разновидности, которые и рассмотрены в этой работе. Методику силового исследования других модификаций группы четвертого класса с одной поступательной кинематической парой можно проводить аналогичным образом. Учет сил трения в кинематических парах, что может быть важным при наличии поступательной кинематической пары, как ранее было отмечено, можно осуществить методом последовательных приближений [2] после выполнения первого этапа исследований.

Литература

1. Амбарцумянц Р. В. Кинетостатическое исследование шарнирной группы Ассура четвертого класса второго порядка / Р.В. Амбарцумянц, А.П. Липин, С.А. Ромашкевич // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 1. – С. 12–16.
2. 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.
3. Левитский Н. И. Теория механизмов и машин / Н. И. Левитский. – М. : Наука, 1990. – 592 с.

References

1. Ambarcumyanc R. V. Kinetostaticheeskoe 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.
2. 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.
3. Levitskij N. I. Teoriya mehanizmov i mashin / N. I. Levitskij. – M. : Nauka, 1990. – 592 s.

Рецензія/Peer review : 03.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Гладушняк А.К.