

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

КИНЕТОСТАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШАРНИРНОЙ ГРУППЫ АССУРА ЧЕТВЕРТОГО КЛАССА ВТОРОГО ПОРЯДКА

Работа посвящена кинестатическому исследованию шарнирной группы Ассура четвертого класса, второго порядка. Обоснована актуальность такой задачи в свете более широких функциональных возможностей такой группы и отсутствием в учебной, технической и научной литературе простых инженерных методов. 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: кинестатика, сила, момент силы, составляющие реакции, статическое равновесие, план сил.

R. V. AMBARTSUMYANTS, A. P. LIPIN, S. A. ROMASHKEVICH
Odessa National Academy of Food Technologies

DYNAMIC FORCE RESEARCH OF ASSUR CYLINDRICAL JOINTED GROUP OF THE FOURTH CLASS OF THE SECOND ORDER

Dynamic force analysis of mechanisms is one of the determining stages of their projecting and it allows to carry out calculations 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 cylindrical jointed group of the fourth class of the second order. 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 method, 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 operations and graphic plottings. 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 moments balance, allows to get the solution practically without errors.

Keywords: dynamic force analysis, force moment, reaction components, static equilibrium, force plan.

Силовое исследование механических конструкций, например, отдельные части мостов, корпусов подъемно-транспортных машин, механизмов преобразования и передачи механического движения до рабочего органа и др., является одним из важнейших этапов на стадии их проектирования. Такое исследование, как правило, предшествует расчетам их деталей на прочность, жесткость или устойчивость, без чего невозможно дальнейшее конструирование данного устройства. Следовательно, разработка простых инженерных методов решения задачи силового исследования механических конструкций, с возможностью проверки правильности результатов исследования, является весьма актуальной задачей в современном машиностроении.

Особое место среди разнообразных механических конструкций занимают механические передачи, обеспечивающие необходимые кинематические и силовые параметры рабочего органа. В последние десятилетия интерес исследователей и проектировщиков резко возрос относительно более сложных (выше второго класса) групп Ассура (по классификации Ассура-Артоболевского) [1], благодаря более широким их функциональным возможностям. Однако, по мере возрастания класса групп Ассура существенно усложняется решение не только задачи их кинематического синтеза и анализа, но и силового исследования. В научной и технической литературе наиболее обстоятельно решены задачи силового исследования группы Ассура второго класса всех модификаций [1, 2 и др.]. В работах авторов [3, 4] разработаны методики силового исследования всех видов модификаций группы Ассура третьего класса третьего порядка, которые, однако, неприменимы для групп более высокого класса. В работе [5] представлен обобщенный метод кинестатики групп Ассура высоких классов, где доказывается, что статически определимые группы Ассура любого класса сложности со многим числом внешних неизвестных на группе можно привести к такой же системе с тремя неизвестными. Однако, по нашему мнению, метод сложный с точки зрения технического применения на практике.

Целью настоящей работы является разработка простого инженерного метода силового исследования шарнирной группы Ассура четвертого класса второго порядка, с возможностью проверки правильности расчетов и построений, что даст возможность осуществить аналогичные исследования модификаций этой же группы, число которых, без учета изоморфности модификаций, равно 73.

Решение поставленной задачи аналитическим методом можно осуществить составлением системы 12 алгебраических уравнений и её решением. Однако, составление такой системы довольно трудоемко, особенно, если неизвестно начало системы отсчета. Для дальнейшего анализа результатов решений необходимо дополнительно построить годографы реакций связей, что и затрудняет его применение в

инженерной практике.

Решение поставленной в работе задачи осуществим, воспользовавшись особыми точками Ассур.

На рис. 1 представлена расчетная схема рассматриваемой группы (пунктирные линии, кроме звена 2). Здесь же показаны отдельные звенья группы, нагруженные внешними силами и реакциями связей (сплошные линии).

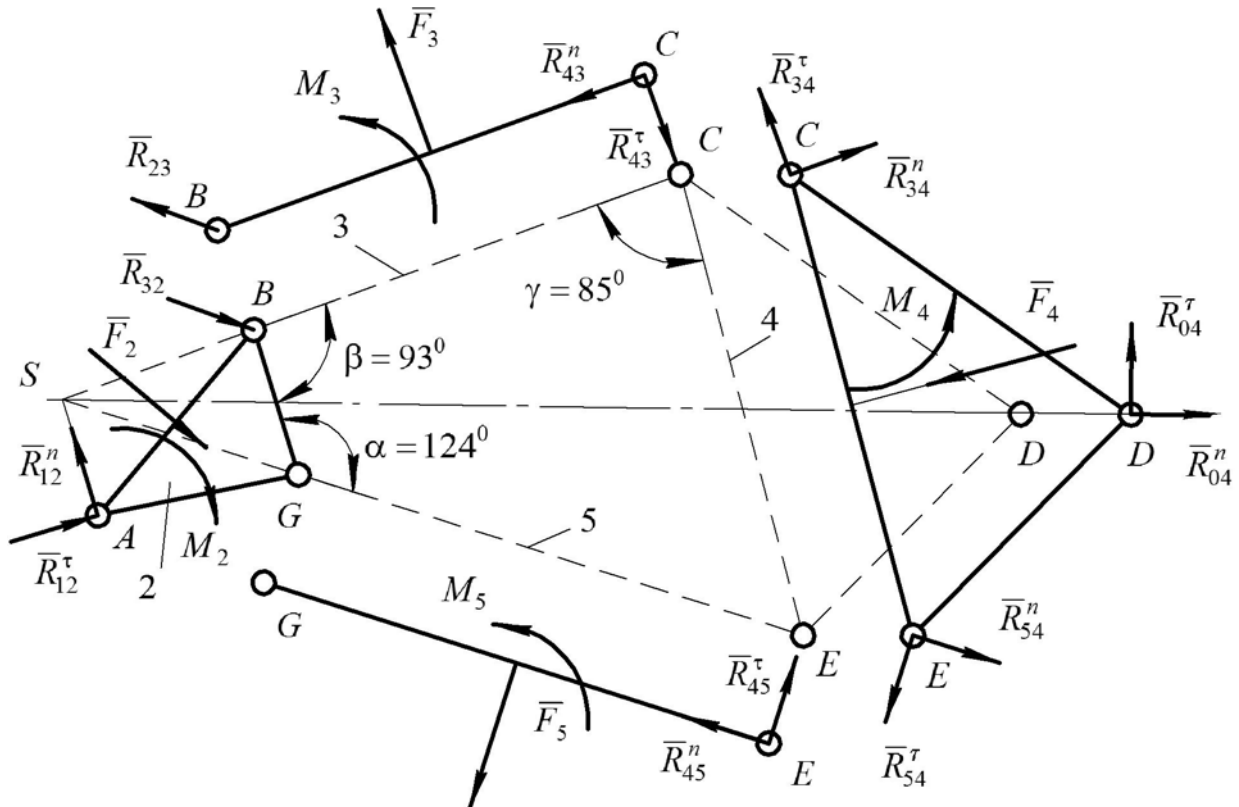


Рис. 1. Расчетная модель силового исследования шарнирной группы Ассур четвертого класса второго порядка

Исходными данными для решения задачи являются:

- 1) кинематическая схема, положение группы, кинематические показатели ее звеньев;
- 2) звенья группы нагружены равнодействующими силами $\bar{F}_i (i = 2, \dots, 5)$ от внешних сил и сил инерции, равнодействующими моментами $\bar{M}_i (i = 2, \dots, 5)$ от внешних моментов и моментов сил инерции;
- 3) силы трения не учитываем (в случае необходимости можно воспользоваться известным методом последовательных приближений) [1];
- 4) звенья группы абсолютно жесткие, зазоры в кинематических парах отсутствуют;
- 5) продольные оси звеньев 3 и 5 всегда пересекаются и их точка пересечения S (особая точка Ассур) не находится на прямой, проходящей через центры шарнирных соединений A и D .

В шарнирах группы неизвестны модуль и направление реакций и для их нахождения разлагаем на составляющие: в шарнире D – $\bar{R}_{04} = \bar{R}_{04}^\tau + \bar{R}_{04}^n$. Нормальную составляющую \bar{R}_{04}^n направим по прямой DS (рис. 1), а тангенциальную составляющую \bar{R}_{04}^τ – перпендикулярно к прямой DS ; в шарнире A – $\bar{R}_{12} = \bar{R}_{12}^\tau + \bar{R}_{12}^n$. Нормальную составляющую \bar{R}_{12}^n направляем по прямой AS , а тангенциальную составляющую \bar{R}_{12}^τ – перпендикулярно к прямой AS . Предполагается, что звено 2 соединено с входным звеном 1 механизма, а звено 4 является ведомым и шарнирно соединено со стойкой механизма. Реакции в шарнирах C и E также разложим на составляющие (рис. 1) по продольным осям звеньев 3 и 5 соответственно и в перпендикулярном их направлении. Направление названных векторов выбираем произвольно и в ходе решения задачи их уточняем. Из анализа расчетной модели следует, что на шарнирной группе Ассур четыре неизвестные величины \bar{R}_{12}^n , \bar{R}_{12}^τ , \bar{R}_{04}^n , \bar{R}_{04}^τ . Для их нахождения поступаем следующим образом. Рассматриваем равновесие звеньев 3 и 5 (рис. 1). Составляем уравнение равновесия моментов сил, действующих на звенья 3 и 5 относительно центров шарниров B и G соответственно. Имеем:

$$\sum M_B^{(3)}(F) = 0; \quad \sum M_G^{(5)}(F) = 0. \quad (1)$$

Поскольку в каждом из скалярных уравнений (1) только одно неизвестное, то решая их, находим

\bar{R}_{43}^τ и \bar{R}_{45}^τ соответственно.

Рассматриваем равновесие 4-го звена (рис. 1), загружая его реакциями связей и внешними силами. Поскольку $\bar{R}_{34}^\tau = -\bar{R}_{43}^\tau$, и $\bar{R}_{54}^\tau = -\bar{R}_{45}^\tau$, то на звено 4 действуют неизвестные силы \bar{R}_{34}^n , \bar{R}_{04}^n , \bar{R}_{54}^n и \bar{R}_{04}^τ . Так как линии действия составляющих \bar{R}_{34}^n , \bar{R}_{04}^n , \bar{R}_{54}^n проходит через особую точку S Ассура, то составляем уравнение равновесия моментов сил звена 4 относительно точки S

$$\sum M_S^{(4)}(F) = 0; \quad (2)$$

Из выражения (2) находим значение составляющей \bar{R}_{04}^τ . Если результат расчета имеет положительный знак, то выбранное предварительно направление силы правильно, в противном случае – направляем вектор в противоположную сторону.

После нахождения составляющей \bar{R}_{04}^τ рассматриваем равновесие всей группы и составляем уравнение равновесия моментов сил относительно т. S (рис. 1). Имеем:

$$\sum M_S^{(gp)}(F) = 0; \quad (3)$$

Так как линии действия неизвестных сил \bar{R}_{04}^n и \bar{R}_{12}^n проходят через точку S , то из решения скалярного уравнения (3) находим значение составляющей \bar{R}_{12}^τ . Полученный при этом знак показывает, как направлен этот вектор.

Таким образом, на группе остаются всего два неизвестных вектора – \bar{R}_{04}^n и \bar{R}_{12}^n . Для их определения составляем векторное уравнение равновесия сил группы

$$\bar{R}_{12}^n + \bar{R}_{12}^\tau + \bar{F}_2 + \bar{F}_3 + \bar{F}_4 + \bar{F}_5 + \bar{R}_{04}^\tau + \bar{R}_{04}^n = 0. \quad (4)$$

Решение векторного уравнения (4) целесообразно осуществить графическим методом, т.е. построением плана сил. Из построенного плана сил находим составляющие \bar{R}_{12}^n , \bar{R}_{04}^n и, следовательно, полные реакции \bar{R}_{12} и \bar{R}_{04} в шарнирах A и D .

Из рис. 1 следует, что на звене 4 остались лишь два неизвестных \bar{R}_{34}^n , \bar{R}_{54}^n . Составляем векторное уравнение равновесия сил звена 4

$$\bar{R}_{34}^n + \bar{R}_{34}^\tau + \bar{F}_4 + \bar{R}_{04} + \bar{R}_{54}^\tau + \bar{R}_{54}^n = 0. \quad (5)$$

На основании (5) строим план сил и находим как значения, так и направления составляющих \bar{R}_{34}^n и \bar{R}_{54}^n реакций в шарнирах C и E .

Определение реакций в шарнирах B и G уже не представляет никакого труда. Для этого достаточно построить планы сил звеньев 3 и 5, записывая уравнения равновесия сил $\sum \bar{F}^{(3)} = 0$; $\sum \bar{F}^{(5)} = 0$.

Таким образом, во всех шарнирах группы Ассура реакции найдены. Общее число неизвестных величин на группе равно 12-и. Для их нахождения составлены четыре векторных уравнения для сил и четыре алгебраических уравнений моментов, т.е. 12 алгебраических уравнений. Для проверки правильности всех расчетных операций и графических построений рассматриваем равновесие звена 2 поскольку оно ни в одном из 12-ти уравнений не использовалось и записываем для него уравнение равновесия сил и считая, что реакция \bar{R}_{32} или, например, \bar{R}_{52}^* неизвестна

$$\bar{R}_{12}^n + \bar{R}_{12}^\tau + \bar{F}_2 + \bar{R}_{32} + \bar{R}_{52}^* = 0. \quad (6)$$

После построения на основании (6) плана сил звена и нахождения \bar{R}_{52}^* определяем относительную погрешность по модулю $\Delta_R = \left| R_{52} - R_{52}^* \right|$ и по направлению $\Delta\varphi = \left| \varphi_{R_{52}} - \varphi_{R_{52}^*} \right|$.

Пример. Определить реакции в шарнирах группы Ассура четвертого класса при заданных параметрах: $(AB) = 32\text{мм}$, $(BG) = 20\text{мм}$, $(AG) = 27\text{мм}$, $(BC) = 60\text{мм}$, $(GE) = 70\text{мм}$, $(CE) = 63\text{мм}$, $(CD) = 55\text{мм}$, $(DE) = 41\text{мм}$; $\alpha = 124^\circ$, $\beta = 93^\circ$, $\gamma = 85^\circ$, моменты $\bar{M}_i (i = 2, \dots, 5)$, силы $F_2 = F_3 = F_4 = 50\text{H}$, $F_5 = 100\text{H}$, линия их действия проходит посередине отрезков AB , BC , GE и CE соответственно и перпендикулярно к ним.

Согласно, вышеприведенному использована следующая последовательность решения задачи:

1) по заданным геометрическим параметрам строим положение группы (рис. 2, а) и загружаем внешними силами;

2) определяем реакции \bar{R}_{45}^{τ} , \bar{R}_{43}^{τ} из решения уравнений (1);

3) определяем реакцию \bar{R}_{04}^{τ} из решения уравнения (2);

4) определяем реакцию \bar{R}_{12}^{τ} из решения уравнения (3);

5) строим план сил группы (рис. 2, б) и находим реакции \bar{R}_{12}^n , \bar{R}_{04}^n ;

6) строим план сил звена 4 (рис. 2, в) и находим реакции \bar{R}_{34}^n , \bar{R}_{54}^n ;

7) строим планы сил звеньев 3 и 5 (рис. 2, з, д), находим полные реакции \bar{R}_{23} , \bar{R}_{25} ;

8) строим план сил звена 2 (рис. 2, е) для проверки расчетов и контроля.

Графические построения и измерение размеров по длине проводим на персональном компьютере, используя «Компас». Измерение проводим с точностью до двух знаков после запятой. Проверка показала, что векторы $\bar{R}_{25} = -\bar{R}_{52}^*$ по величине и по направлению полностью совпадают, т.е. погрешность нулевая.

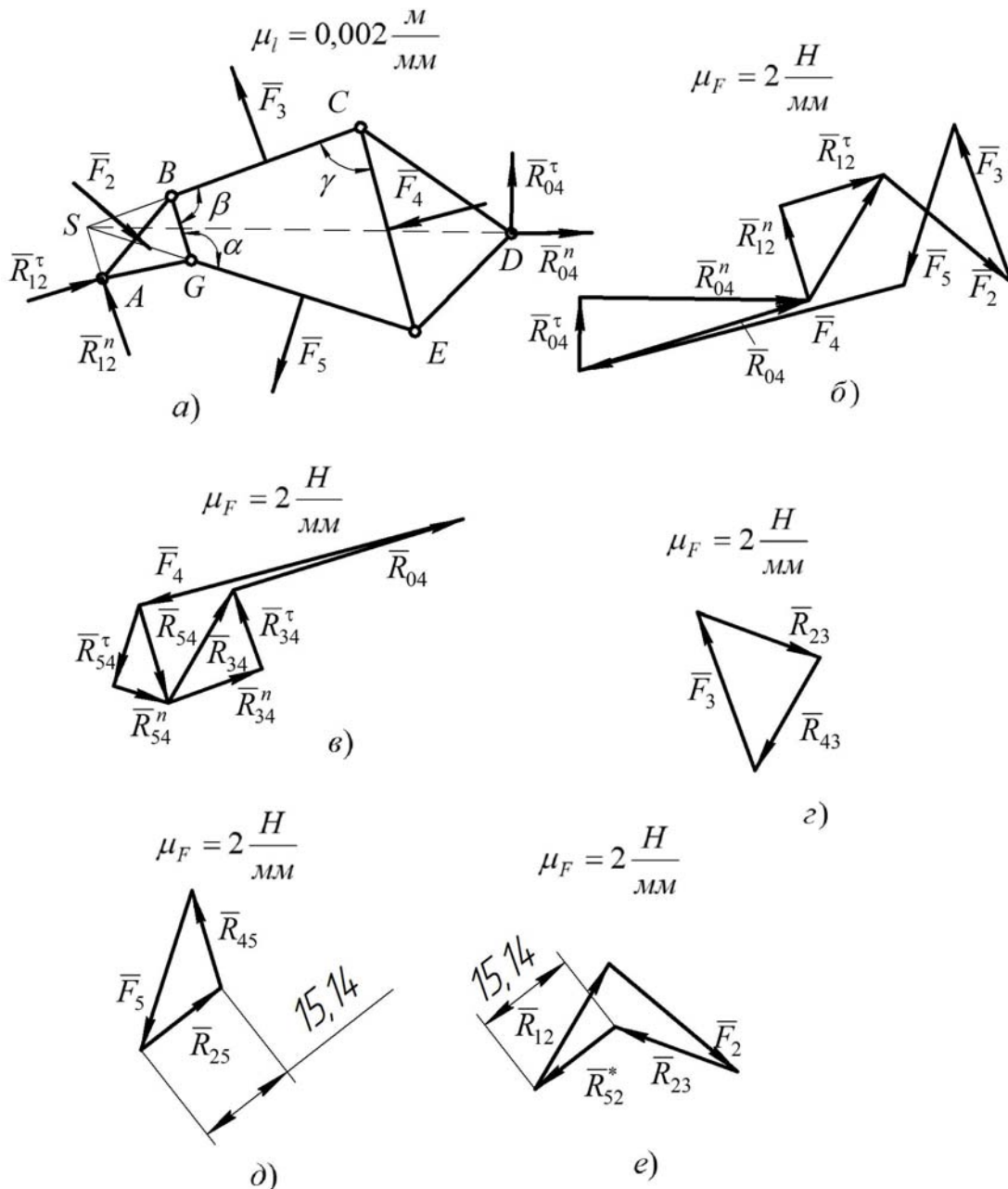


Рис. 2. Расчетное положение шарнирной группы – а, планы сил: б – группы; в – звена 4; з – звена 3; д – звена 5; е – звена 2

Выводы

1. Предложен простой, визуально удобный инженерный метод силового исследования шарнирной группы Ассур четвертого класса, второго порядка.
2. Выполнение силового исследования следует осуществить строго по предложенной последовательности во избежание ошибок.
3. Использование точности измерений расстояний до второго знака после запятой при решении уравнений (1), (2), (3) позволяет получить решение практически без погрешностей.

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. Кинестатика модификаций групп Ассур третьего класса третьего порядка. Часть 1. Модификации с одной и двумя поступательными кинематическими парами / Р.В. Амбарцумянц, С.А. Ромашкевич // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 4. – С. 45–51.
4. Амбарцумянц Р. В. Кинестатика модификаций групп Ассур третьего класса третьего порядка. Часть 2. Модификация с тремя и четырьмя поступательными кинематическими парами / Р.В. Амбарцумянц, С.А. Ромашкевич // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 1. – С. 218–223.
5. Амбарцумянц Р.В. Обобщенный метод кинестатики сложных плоских кинематических групп / Р.В. Амбарцумянц // Теория механизмов и машин. – Харьков, 1973. – № 14. – С. 49–52.

References

1. Artobolevskij I.I. Teorija mehanizmov i mashin : ucheb. dlja vuzov / I.I. Artobolevskij. – 4-e izd., pererab. i dopol. – M. : Nauka. Gl. red. fiz.-mat. literatury, 1988. – 640 s.
2. Levitskij N. I. Teorija mehanizmov i mashin / N. I. Levitskij. – M. : Nauka, 1990. – 592 s.
3. Ambarcumjanc R. V. Kinetostatika modifikacij grupp Assura tret'ego klassa tret'ego porjadka. Chast' 1. Modifikacii s odnoj i dvumja postupatel'nymi kinematiceskimi parami / R.V. Ambarcumjanc, S.A. Romashkevich // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2017. – № 4. – S. 45–51.
4. Ambarcumjanc R. V. Kinetostatika modifikacij grupp Assura tret'ego klassa tret'ego porjadka. Chast' 2. Modifikacija s tremja i chetyr'mja postupatel'nymi kinematiceskimi parami / R.V. Ambarcumjanc, S.A. Romashkevich // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2018. – № 1. – S. 218–223.
5. Ambarcumjanc R.V. Obobshhennyj metod kinetostatiki slozhnyh ploskih kinematiceskikh grupp / R.V. Ambarcumjanc // Teorija mehanizmov i mashin. – Har'kov, 1973. – № 14. – S. 49–52.

Рецензія/Peer review : 30.10.2018 р. Надрукована/Printed : 15.2.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Гладушняк А.К.