

Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, А.П. ЛИПИН, С.А. РОМАШКЕВИЧ

Одесская национальная академия пищевых технологий

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУППЫ АССУРА ЧЕТВЕРТОГО КЛАССА ВТОРОГО ПОРЯДКА С ДВУМЯ ПОСТУПАТЕЛЬНЫМИ КИНЕМАТИЧЕСКИМИ ПАРАМИ

Робота присвячена силовому дослідженню двох інших модифікацій шарнірної групи Ассура четвертого класу, другого порядку з двома поступальними парами. Обґрунтована актуальність такої задачі в світі більш широких функціональних можливостей такої групи і відсутності простих інженерних методів дослідження, як в учбовій, так і технічній і науковій літературі. Метод базується на кінестатиці з застосуванням графо-аналітичного методу, що більш зручно для інженерної практики проектування і легко виконується з допомогою сучасних комп'ютерів, досягається висока точність. Складена суворі послідовність проведення окремих етапів силового дослідження з застосуванням особливих точок. Приведено спосіб, який дозволяє визначити правильність рішення, а також ступінь точності обчислення та графічних побудов.

Ключові слова: поступальна кінематична пара, силове дослідження, кінестатика, сила, момент сили, реакції, статична рівновага, план сил.

R. AMBARTSUMYANTS, A. LIPIN, S. ROMASHKEVICH

Odessa National Academy of Food Technologies

DYNAMIC FORCE RESEARCH OF ASSUR GROUP OF THE FOURTH CLASS OF THE SECOND ORDER WITH TWO SLIDER 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 aim of this work is to continue to develop methods of force research of other modifications of the second order Assur group with two progressive kinematic pairs. 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. Mass-inertial indicators of all links, their kinematic indicators are set in solving the tasks. The lines of movement of progressive kinematic pairs are not parallel to each other. In the first stage of force study of the strength of friction is not taken into account, gaps in kinematic pairs are absent. The group's links are loaded with equal forces from external forces, gravity, inertia, production forces. Also, the links are loaded with equilibrium moments from external moments, moments from the forces of inertia. 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 с одной поступательной кинематической парой, а в работе [4] – такое же исследование модификации этой же группы, но с двумя поступательными кинематическими парами. Здесь же указано, что число возможных модификаций рассматриваемой группы $M = C_6^2 = 15$.

Целью данной работы является продолжение разработки методов силового исследования других модификаций группы Ассура четвертого класса второго порядка с двумя поступательными кинематическими парами. В виду большого количества разновидностей модификаций и учитывая ограниченный объем статьи в данной работе рассматриваются только две другие модификаций группы, представленные на рис. 1, а, б.

Силовое исследование остальных модификаций рассматриваемой группы будет представлено в последующих работах авторов.

При решении поставленных задач заданы:

-массо-инерционные показатели всех звеньев, их кинематические показатели, а именно, положения, скорости и ускорения как линейных, так и угловых;

-линии перемещения поступательных кинематических пар не параллельны между собой, что исключает появление местной подвижности;

-на первом этапе силового исследования силы трения не учитываем, а при необходимости воспользуемся методом последовательных приближений [1], зазоры в кинематических парах отсутствуют.

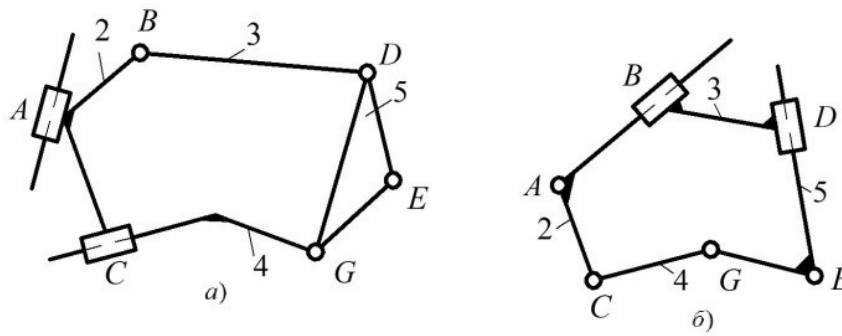


Рис. 1. Модификации группы с двумя поступательными кинематическими парами

Задача 1. Модификация группы Ассур четвертого класса с двумя поступательными кинематическими парами, образованные со звеном 2 (см. рис. 1, а).

Звенья группы нагружены равнодействующими силами $\bar{F}_i (i = 2, \dots, 5)$ от внешних сил, сил тяжести, сил инерции, производственных сил. Также звенья нагружены равнодействующими моментами $\bar{M}_i (i = 2, \dots, 5)$ от внешних моментов, моментов от сил инерции и др. (рис. 2).

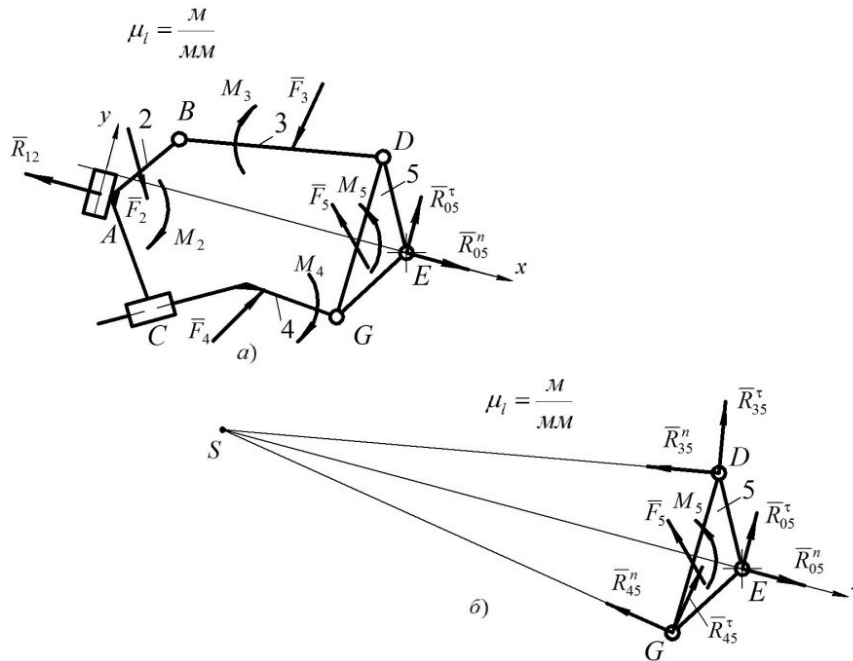


Рис. 2. Расчетные модели группы – а), звена 5 – б)

Через центр шарнира E проводим ось x , перпендикулярную линии перемещения поступательной кинематической пары A , а ось y совместим с линией перемещения этой пары A . Неизвестную реакцию \bar{R}_{05} в шарнире E разложим на составляющие – по оси x \bar{R}_{05}^n и по оси y – \bar{R}_{05}^τ . Реакция \bar{R}_{12} в поступательной кинематической паре A – перпендикулярно к оси y . Здесь неизвестным являются также точка приложения реакций \bar{R}_{12} .

Для определения значения названных неизвестных, а также полные реакции в шарнирных соединениях B, D, E, G предлагаем следующую последовательность решения.

1. Рассматриваем статическое равновесие группы (рис.2, а) и составляем уравнение равновесия проекций сил по оси y $\sum^{sp} Y = 0$. Из этого уравнения находим составляющую \bar{R}_{05}^τ реакции в шарнире E .

2. Разрываем связи в шарнирных соединениях D, G и представим расчетную модель силового исследования звена 5 (рис. 2, б). В шарнире, D , реакцию \bar{R}_{35} разлагаем на составляющие – перпендикулярно и продольно оси звена 3 $\bar{R}_{35} = \bar{R}_{35}^\tau + \bar{R}_{35}^n$. В пересечении линий действия сил \bar{R}_{05}^n и \bar{R}_{35}^n находим особую точку S . В шарнире, G реакцию \bar{R}_{45} разлагаем на составляющие – по линии GS и перпендикулярно $\bar{R}_{45} = \bar{R}_{45}^\tau + \bar{R}_{45}^n$.

3. Рассматриваем статическое равновесие звена 3 и составляем уравнение равновесия моментов сил относительно центра шарнира B $\sum^3 M_B(F) = 0$. Из этого уравнения находим составляющую $\bar{R}_{53}^\tau = -\bar{R}_{35}^\tau$.

4. Составляем уравнение равновесия моментов сил звена 5 относительно точки $S \sum^5 M_S(F) = 0$. Из этого уравнения находим реакцию \bar{R}_{45}^{τ} .

5. Рассматриваем статическое равновесие звена 4 (рис. 3, а). Загружаем его реакциями связей $\bar{R}_{54} = \bar{R}_{54}^{\tau} + \bar{R}_{54}^n$, \bar{R}_{42} в поступательной кинематической паре C , а также равнодействующими \bar{F}_4 и M_4 от всех внешних сил и моментов. Составляем векторное уравнение равновесия сил звена 4

$$\sum \bar{F}^4 = \bar{R}_{24} + \bar{R}_{54}^{\tau} + \bar{R}_{54}^n + \bar{F}_4 = 0. \tag{1}$$

На основании векторного уравнения (1) строим план сил (рис. 3, б) откуда находим неизвестные векторы \bar{R}_{24} и \bar{R}_{54}^n .

Для определения точки приложения реакции \bar{R}_{24} составляем уравнение равновесия моментов звена относительно центра шарнира $G \sum^4 M_G(F) = 0$. Из решения этого уравнения находим расстояние h_{24} (см рис. 3, а).

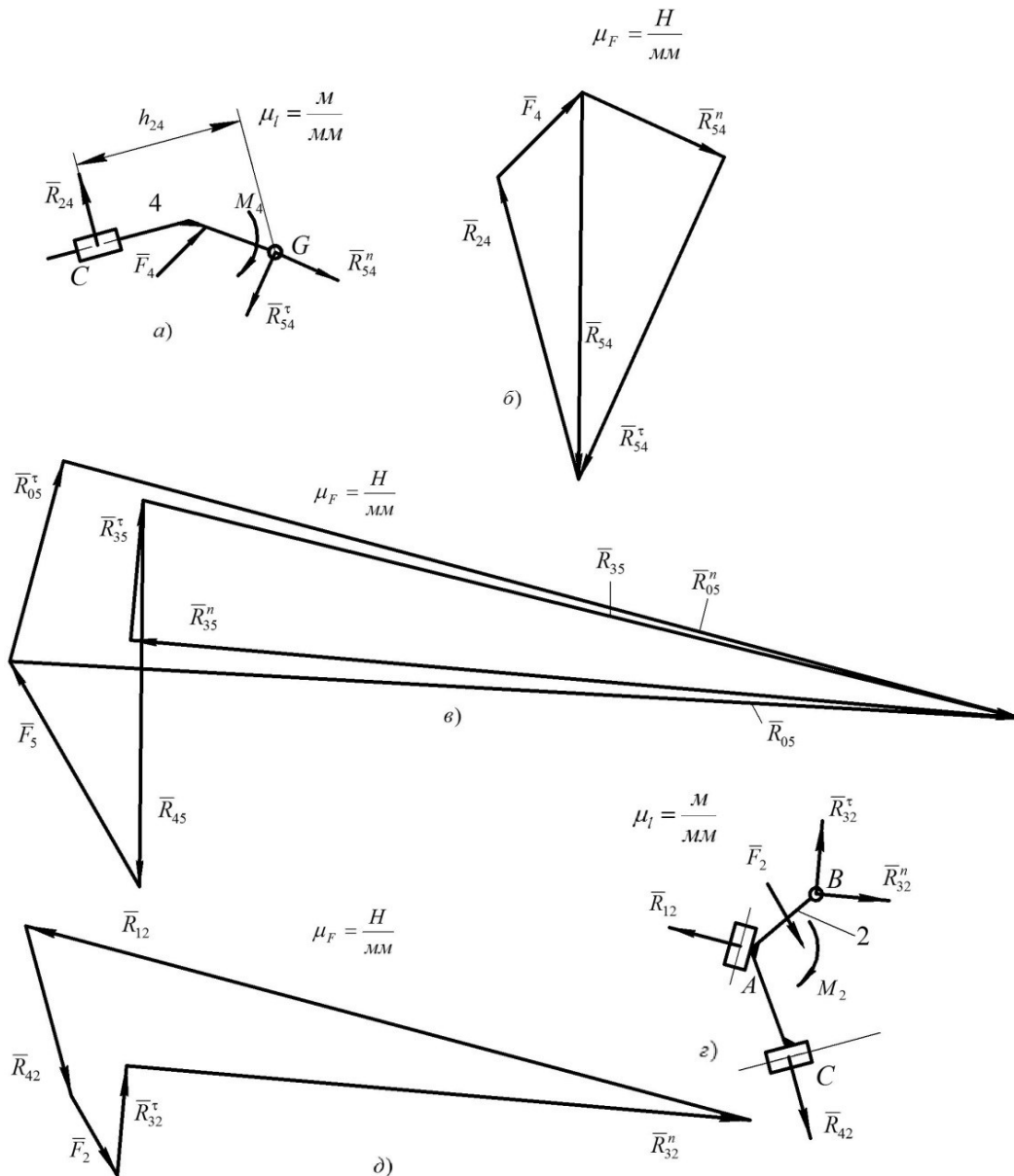


Рис. 3. Расчетные модели: звена 4 – а), звена 2 – г), планы сил звена 4 – б), звена 5 – в), звена 2 – д)

5. Составляем векторное уравнение равновесия сил звена 5

$$\sum \bar{F}^5 = \bar{R}_{35}^n + \bar{R}_{35}^{\tau} + \bar{R}_{45}^{\tau} + \bar{F}_5 = 0. \tag{2}$$

На основании уравнения (2) строим план сил звена 5 (рис. 3, в) откуда находим неизвестные реакции \bar{R}_{35}^n и \bar{R}_{05}^n .

6. Рассматриваем статическое равновесие звена 2 (рис. 3, г). Загружаем его реакциями связей $\bar{R}_{32} = \bar{R}_{32}^{\tau} + \bar{R}_{32}^n$, направив \bar{R}_{32}^{τ} по оси звена 3 и перпендикулярно к ней составляющую \bar{R}_{32}^n , в поступательной кинематической паре C реакциями \bar{R}_{12} и \bar{R}_{42} , а также равнодействующими \bar{F}_2 и M_2 от всех внешних сил и

моментов соответственно. Модуль и направление составляющей \bar{R}_{32}^{τ} находим, рассматривая равновесие звена 3 и составляя уравнение равновесия моментов сил относительно центра шарнира D . Далее, составляем векторное уравнение равновесия сил звена 2

$$\sum \bar{F}^2 = \bar{R}_{32}^n + \bar{R}_{32}^{\tau} + \bar{R}_{42} + \bar{R}_{12} + \bar{F}_2 = 0. \quad (3)$$

На основании уравнения (3) строим план сил звена 2 (рис. 3, д) откуда находим неизвестные реакции \bar{R}_{35}^n и \bar{R}_{05}^n . Для определения точки приложения реакции \bar{R}_{12} составляем уравнение равновесия моментов звена относительно центра шарнира B $\sum^2 M_B(F) = 0$. Из решения этого уравнения находим точку приложения этой реакции.

Для проверки всех расчетных операций и графических построений можно использовать условие статического равновесия сил звена 3, а именно – векторная сумма всех сил должна равняться нулю, поскольку это условие нами не было использовано при силовом исследовании группы.

Задача 2. Модификация группы Ассур четвертого класса с двумя поступательными кинематическими парами, образованные со звеном 2 (см. рис. 1, а).

Звенья группы нагружены равнодействующими силами $\bar{F}_i (i = 2, \dots, 5)$ от внешних сил, сил тяжести, сил инерции, производственных сил. Также звенья нагружены равнодействующими моментами $\bar{M}_i (i = 2, \dots, 5)$ от внешних моментов, моментов от сил инерции и др. (рис. 4, а). Линии перемещения поступательных кинематических пар в соединениях B и D не параллельны.

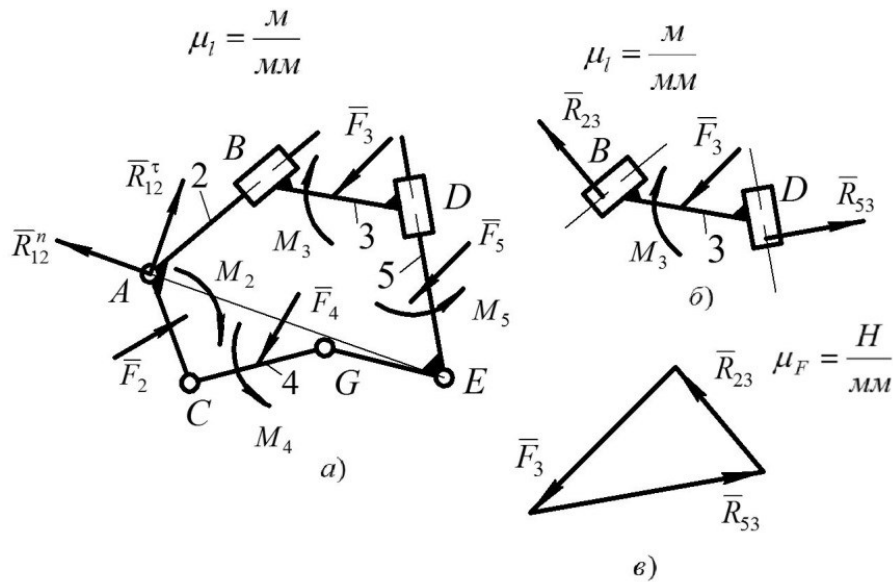


Рис. 4. Расчетные модели группы – а), звена 3 – б), план сил звена 3

Для определения значения реакций в кинематических парах предлагаем следующую последовательность решения.

1. Реакцию в шарнире A разлагаем на составляющие $\bar{R}_{12} = \bar{R}_{12}^{\tau} + \bar{R}_{12}^n$, нормальную составляющую \bar{R}_{12}^n направляем по прямой AE , а тангенциальную \bar{R}_{12}^{τ} – перпендикулярно к прямой AE .

2. Рассматриваем статическое равновесие звена 3 (см. рис. 4, б). Поскольку силы трения на первом этапе исследования не учтены, то реакции \bar{R}_{23} и \bar{R}_{53} направлены перпендикулярно к соответствующим направляющим. Составляем векторное уравнение равновесия сил звена 3

$$\sum \bar{F}^3 = \bar{R}_{23} + \bar{R}_{53} + \bar{F}_3 = 0. \quad (4)$$

На основании уравнения (4) строим план сил (рис. 4, в) и находим реакции \bar{R}_{23} и \bar{R}_{53} .

4. Рассматриваем статическое равновесие звена 2 (рис. 5, а). Реакцию в шарнире C разлагаем на составляющие $\bar{R}_{42} = \bar{R}_{42}^{\tau} + \bar{R}_{42}^n$, нормальную составляющую \bar{R}_{42}^n направляем по продольной оси CG , а тангенциальную \bar{R}_{42}^{τ} – перпендикулярно к этой же оси. Тангенциальную составляющую $\bar{R}_{42}^{\tau} = -\bar{R}_{24}^{\tau}$ находим, рассматривая равновесие звена 4 и составляя уравнение равновесия моментов относительно центра шарнира G $\sum^4 M_G(F) = 0$. Составляем векторное уравнения равновесия сил звена 2.

$$\sum \bar{F}^2 = \bar{R}_{12}^n + \bar{R}_{12}^{\tau} + \bar{R}_{42}^{\tau} + \bar{R}_{42}^n + \bar{F}_2 = 0. \quad (5)$$

На основании уравнения (5) строим план сил (рис. 5, в) и находим реакции \bar{R}_{12}^n и \bar{R}_{42}^n .

4. Составляем уравнение равновесия моментов сил звена 2 относительно центра шарнира A (рис. 5, а) $\sum^2 M_A(F) = 0$. Из решения этого уравнения находим расстояние h_{32} .

5. Составляем векторное уравнение равновесия сил звена 4, строим его план сил и находим полную реакцию \bar{R}_{54} в шарнире G .

6. Рассматриваем статическое равновесие звена 5 (рис. 5, б). Загружаем его внешними силами и моментами, а также известными реакциями $\bar{R}_{35} = -\bar{R}_{53}$ и $\bar{R}_{45} = -\bar{R}_{54}$. На звене неизвестным остается только реакция в шарнире E . Составляем векторное уравнения равновесия сил звена 5.

$$\sum \bar{F}^5 = \bar{R}_{35} + \bar{R}_{45} + \bar{F}_5 = 0. \tag{6}$$

На основании уравнения (6) строим план сил (рис. 5, г) и находим полную реакцию \bar{R}_{05}^n . Для определения точки приложения реакции $\bar{R}_{35} = -\bar{R}_{53}$ составляем уравнение равновесия моментов сил звена 5 относительно центра шарнира E $\sum^5 M_E(F) = 0$. Решая, это уравнение находим расстояние h_{35} (рис. 5, б).

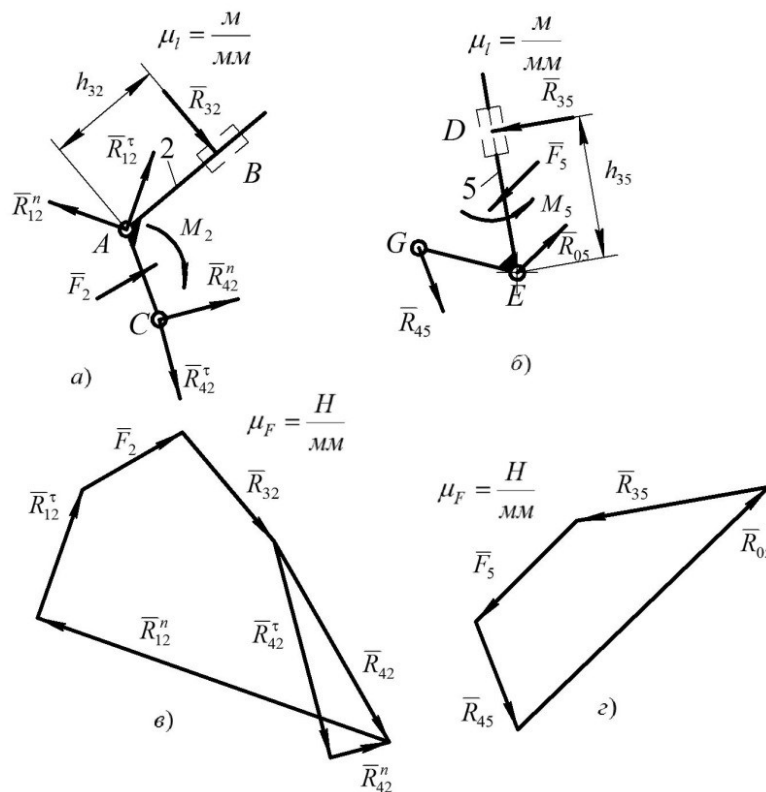


Рис. 5. Расчетные модели звеньев 2, 5 –а), б) и их планы сил – в), г) соответственно

Для проверки всех расчетных операций и графических построения можно использовать условие статического равновесия сил звена 3, а именно – векторная сумма моментов всех сил относительно любой произвольной точки звена, (например, точки приложения любой силы) должна равняться нулю, поскольку это условие нами не было использовано при силовом исследовании группы.

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 кинетостатике 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.

Литература

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин : учеб. для вузов / И.И. Артоболевский. – 4-е изд., перераб. и доп. – 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. Кинетостатическое исследование шарнирной группы Ассур четвертого класса второго порядка с одной поступательной парой / Р.В. Амбарцумянц, А.П. Липин, С.А. Ромашкевич // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 5. – С. 24–29.
4. Амбарцумянц Р. В. Кинетостатика группы Ассур четвертого класса второго порядка с двумя поступательными парами / Р.В. Амбарцумянц, С.А. Ромашкевич // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2020. – № 1.

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. Kinetostaticeskoe issledovanie sharnimoy gruppy Assura chetvertogo klassa vtorogo poryadka s odnoy postupatelnoy paroj / R.V. Ambarcumyanc, A.P. Lipin, S.A. Romashkevich // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 5. – S. 24–29.
4. Ambarcumyanc R. V. Kinetostatika gruppy Assura chetvertogo klassa vtorogo poryadka s dvumya postupatelnyimi parami / R.V. Ambarcumyanc, S.A. Romashkevich // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2020. – № 1.

Надійшла / Paper received : 09.10.2020 Надрукована/Printed :27.11.2020