

МИНИСТРЕСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра деталей машин и прикладной механики

А. А. МУЛЛАБАЕВ, С.Ю. РЕШЕТОВ

КИНЕТОСТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ С УПРОЩЕННЫМИ ГРУППАМИ АССУРА ВТОРОГО КЛАССА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА
ПО ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2009

УДК 531.8 (07)
ББК 34.41a7
М 90

Рецензент

кандидат технических наук, доцент А.М. Ефанов

М90 Муллабаев А.А.
Кинетостатический анализ рычажных механизмов с упрощенными группами Ассура второго класса: методические указания к выполнению курсового проекта по теории механизмов и машин / А.А. Муллабаев, С.Ю. Решетов. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. – 15 с.

В различных источниках, посвященных курсовому проектированию по ТММ, приводится силовой анализ общих (самых сложных) групп Ассура второго класса. Но в курсовых проектах часто встречаются модифицированные (упрощенные) группы Ассура второго класса. Почти все студенты не могут справиться с поставленной задачей, так как порядок расчета упрощенных групп Ассура второго класса будет совершенно другим.

Авторы дают оптимальные порядки силового анализа для указанных групп Ассура.

ББК 34.41a7

© Муллабаев А.А.,
Решетов С.Ю., 2009
© ГОУ ОГУ, 2009

Содержание

	с.
Введение.....	4
1 Силовой анализ упрощенных групп Ассура второго класса.....	4
1.1 Общие сведения.....	4
1.2 Порядок силового анализа группы Ассура второго класса первого вида.....	5
1.3 Силовой анализ упрощенной группы Ассура второго класса второго вида.....	10
1.4 Силовой анализ упрощенной группы Ассура второго класса третьего вида.....	12
1.5 Силовой анализ упрощенной группы Ассура второго класса четвертого вида.....	13
1.6 Силовой анализ упрощенной группы Ассура второго класса пятого вида.....	14
Список использованных источников.....	15

Введение

Методика силового анализа групп Ассура второго класса общего вида (не упрощенных) разработана давно и приводится во многих известных литературных источниках. Для каждого из пяти видов групп Асура второго класса разработана своя методика силового анализа. Но в курсовых проектах очень часто встречаются не группы общего вида, а упрощенные группы. Большинство студентов при этом не могут приспособить общую теорию к силовому анализу упрощенных групп Ассура. В связи с этим возникла необходимость написания данных методических указаний.

1 Силовой анализ упрощенных групп Ассура второго класса

1.1 Общие положения

Известно, что группа Ассура является статически определимой системой. Докажем это утверждение. Степень подвижности W_G группы Ассура равняется нулю и определяется по формуле Малышева А.П.:

$$W_G = 3n_G - 2P_1 = 0, \quad (1)$$

где n_G – число подвижных звеньев в группе Ассура;

$P_1 = P_V$ – число одноподвижных кинематических пар V-класса в группе.

Заметим, что исходная формула, предназначенная для определения степени подвижности плоского механизма, содержит и число двухподвижных кинематических пар IV-класса (P_2). Но перед структурным анализом каждая двухподвижная кинематическая пара заменяется двумя одноподвижными с добавлением фиктивного звена.

Формула (1), во многих книгах, ошибочно приписывается П.Л. Чебышеву. В Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по архивным документам обнаружена историческая ошибка. Установлено:

- 1) фамилия ученого была не «Чебышев», а «Чебышов»;
- 2) формулу (1) вывел Малышев А.П., а не П.Л. Чебышов;
- 3) у П.Л. Чебышова была другая формула для определения степени подвижности плоского механизма.

Формулу (1) перепишем в виде

$$3n_G = 2P_1. \quad (2)$$

Для каждого звена в плоскости можно написать три независимых уравнения статики. Тогда значение $3n_G$ – есть общее число независимых уравнений статики для всей группы Ассура.

Каждая одноподвижная пара V-класса содержит два неизвестных параметра реакций. Например, реакция во вращательной кинематической паре не известна по направлению и по модулю. Известна только точка приложения. У

реакции в поступательной кинематической паре неизвестными являются точка приложения и модуль. Известно только направление этой реакции. Если не учитывать силу трения, то эта реакция направлена перпендикулярно направляющей. Если же учитываем силы трения, то реакция в поступательной паре отклонена от перпендикуляра к направляющей на угол трения. Таким образом, в правой части уравнения (2) получаем число неизвестных параметров реакции для всей группы Ассура.

В результате число независимых уравнений статики для всей группы Ассура равняется числу неизвестных параметров реакций (2). Следовательно, группа Ассура является статически определимой системой.

Известно, что в группе Ассура второго класса мы имеем $n_l=2$ звена и $P_l=3$ одноподвижные кинематические пары. Тогда по формуле (2) для группы Ассура второго класса имеем шесть независимых уравнений статики и шесть неизвестных параметров реакций. Задачу силового анализа группы Ассура второго класса можно было бы решить составлением шести независимых уравнений статики с шестью неизвестными. Но составление этой системы уравнений отняло бы много времени и сил, хотя решение этой системы можно произвести по стандартной программе на ЭВМ. Напомним, что при силовом анализе рычажных механизмов мы получаем систему линейных алгебраических уравнений. Как правило, эта система определена, т.е. совместна и имеет единственное решение. Существует два метода решения систем линейных алгебраических уравнений – метод Гаусса и метод Крамера. Однако, при составлении такой громоздкой системы уравнений вероятность ошибки очень велика.

В курсе «Теория механизмов и машин» для каждого из пяти видов групп Ассура второго класса разработан свой оптимальный порядок силового анализа. При этом после каждого действия находятся неизвестные параметры реакций и отпадает необходимость в составлении и решении систем уравнений. Приведем указанные порядки силового анализа.

1.2 Порядок силового анализа группы Ассура второго класса первого вида

Имеем шесть неизвестных параметров реакций ($\bar{F}_{R12}, \bar{F}_{R23}, \bar{F}_{R03}$). Каждый вектор неизвестен по направлению и по модулю.

Заметим, что в группе Ассура второго класса первого общего вида звенья АВ и ВС могут быть искривлены. Но мы можем мысленно соединить эти точки прямыми линиями, и тогда силовой анализ упрощенной группы Ассура первого вида не будет отличаться от силового анализа группы общего первого вида.

Каждое уравнение статики может быть или алгебраическим уравнением моментов всех сил относительно какой-либо точки или векторным уравнением плана сил. При этом уравнения можно составлять для каждого звена в отдельности или для всей группы в целом. Из алгебраического уравнения найдется один параметр реакции, а из векторного уравнения на плоскости сразу два па-

раметра. Уравнение моментов надо составлять относительно той точки, где пересекаются несколько неизвестных реакций.

Для рисунка 1, *a* оптимальный порядок силового анализа будет следующим.

1. Составляем сумму моментов всех сил, действующих на звено 2, относительно точки «В»:

$$\sum M_B^{(2)}(F_i) = -F_{R12}^\tau(AB) + F_{G2}h_{F_{G2}} - F_2^{un}h_{F_2}^{un} = 0. \quad (3)$$

Откуда находим значение F_{R12}^τ .

На рисунке 1, *a* F_{G2} , F_{G3} – это силы тяжести звеньев 2 и 3 соответственно; F_2^{un} , F_3^{un} – главные векторы сил инерции этих звеньев. Они найдены раньше [1] и являются задаваемыми силами. При этом главные векторы сил инерции перенесены от центров тяжести звеньев для ликвидации сосредоточенных моментов [1]. Напомним, что плечо силы относительно какой-либо точки измеряется как длина перпендикуляра, опущенного из данной точки на направление силы. Плечи сил при этом можно не умножать на масштаб длины и брать непосредственно из чертежа в мм. Для звена (AB) тоже надо брать чертежное значение. Это утверждение справедливо только для того случая, когда сосредоточенные главные моменты сил инерции ликвидированы переносом сил.

Если в результате расчета получим $F_{R12}^\tau < 0$, то надо сразу исправить направление этой реакции.

2. Составляем сумму моментов всех сил, действующих на звено 3, относительно той же точки «В».

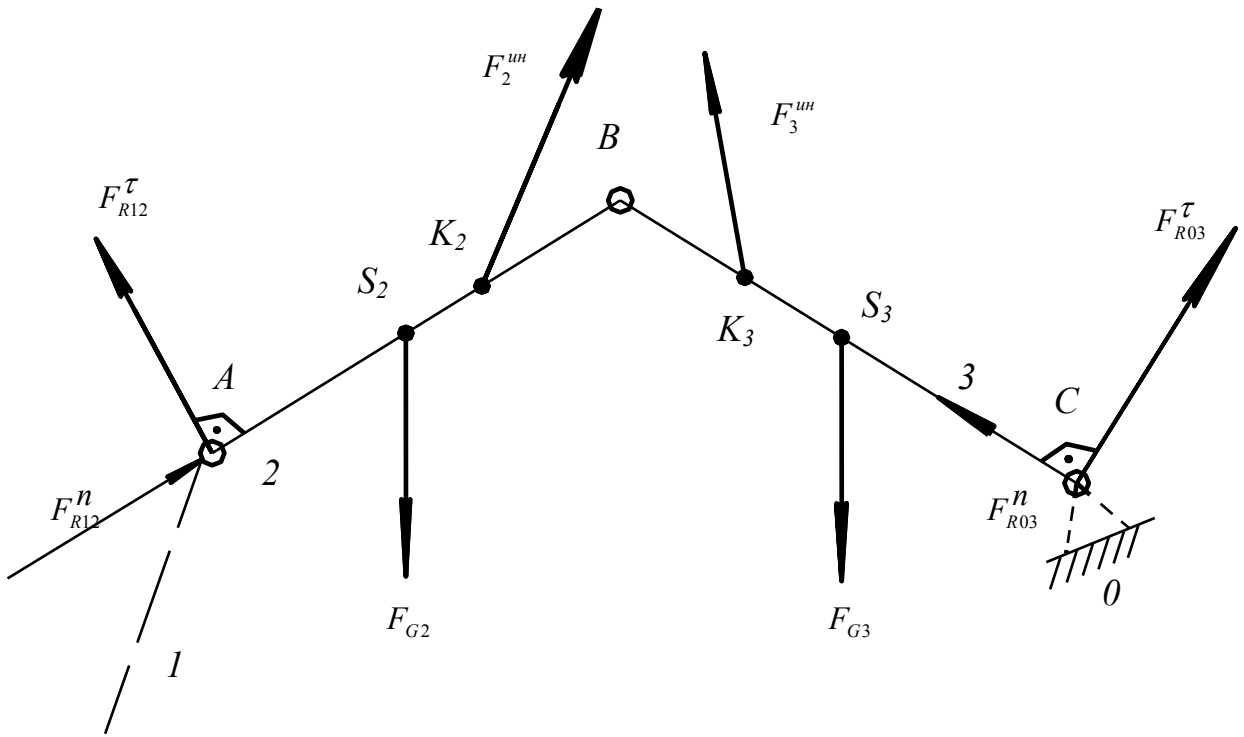
$$\sum M_B^{(3)}(F_i) = F_{R03}^\tau(BC) - F_{G3}h_{F_{G3}} + F_3^{un}h_{F_3}^{un} = 0. \quad (4)$$

Откуда находим значение F_{R03}^τ .

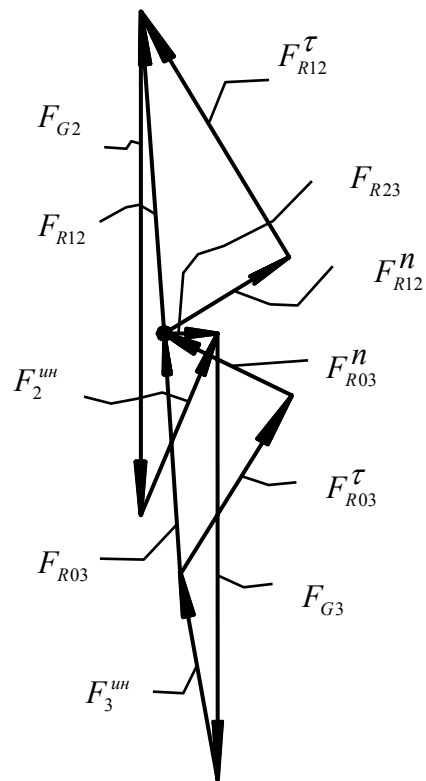
Теперь в третьем действии можно составить векторное уравнение плана сил. Сначала попытаемся составить векторное уравнение всех сил, действующих на звено 2. Будем иметь три неизвестных параметра реакции (F_{R12}^n , \bar{F}_{R23}). Напомним, что вектор F_{R12}^n содержит один неизвестный параметр (модуль), а направление нам известно – параллельно АВ. Вектор \bar{F}_{R23} неизвестен по направлению и по модулю, т.е. содержит два неизвестных параметра.

Каждое векторное уравнение на плоскости может быть расписано на два алгебраических уравнения по проекциям сил на оси координат. Получим систему двух уравнений с двумя неизвестными. Следовательно, из одного векторного уравнения на плоскости можно найти только два неизвестных параметра реакций, а в нашей первой попытке мы имеем три неизвестных параметра. При этой попытке задача не решается.

Второй раз попытаемся составить векторное уравнение всех сил, действующих на звено 3. В этом случае мы также получим три неизвестных параметра реакции (F_{R03}^n , \bar{F}_{R23}). При второй попытке задача также не решается.



a



б

Рисунок 1 – Силовой анализ группы Ассура II класса первого вида:
 а – расчетная схема, б – план сил.

В третьей попытке составим векторное уравнение всех сил, действующих на всю группу Ассура. В этом случае реакция в шарнире «В» является внутренней и не учитывается, так как

$$\bar{F}_{R23} + \bar{F}_{R32} = 0.$$

Остается два неизвестных параметра реакции (F_{R12}^n , F_{R03}^n). Задача при третьей попытке решается. Графическое решение полученного векторного уравнения называется планом сил.

3. Строим план сил для всей группы Ассура.

Для возможности построения плана сил неизвестные векторы F_{R12}^n и F_{R03}^n должны быть записаны рядом. Остальные известные силы могут располагаться как угодно, но наиболее оптимальный порядок записи сил будет следующим. Сначала записываем силу F_{R12}^τ , найденную в первом пункте. Потом записываем все заданные силы, действующие на звено 2. Далее записываем все задаваемые силы, действующие на звено 3. Потом записываем найденную во втором пункте силу F_{R03}^τ . Далее записываем неизвестные силы F_{R03}^n и F_{R12}^n . Силы F_{R12}^n и F_{R12}^τ окажутся рядом, что облегчает построение плана сил. Кроме того, при таком порядке записи сил значительно облегчается задача нахождения реакции в шарнире «В».

Таким образом, векторное уравнение для всей группы Ассура запишется в виде:

$$\sum F_i^{(2,3)} = \bar{F}_{R12}^\tau + \bar{F}_{G2} + \bar{F}_2^{un} + \bar{F}_{G3} + \bar{F}_3^{un} + \bar{F}_{R03}^\tau + \bar{F}_{R03}^n + \bar{F}_{R12}^n = 0. \quad (5)$$

Откуда найдем значения сил F_{R03}^n и F_{R12}^n после построения плана сил.

Масштаб плана сил назначается в зависимости от площади оставленного места на листе. В курсовых проектах можно рекомендовать масштаб:

$$\mu_F = \frac{F_{\max}}{\bar{F}_{\max}} = \frac{F_{\max}}{150}, \quad \frac{H}{\text{мм}}$$

Этот масштаб надо округлять и определить чертежные силы.

$$\bar{F}_{R12}^\tau = \frac{F_{R12}^\tau}{\mu_F},$$

$$\bar{F}_{G2} = \frac{F_{G2}}{\mu_F}, \text{ и т.д.}$$

При этом наибольшая из известных сил $\bar{F}_{\max} \approx 150$ мм.

Для построения плана сил выбираем точку «0» примерно в середине оставленного места, рисуем все задаваемые и найденные силы. Затем от конца силы F_{R03}^τ проводим направление силы F_{R03}^n . Сумма всех сил равна нулю, поэтому из точки «0» проводим направление силы F_{R12}^n . Пересечение этих направлений дает решение задачи. Сразу же можно найти полные реакции в шарнирах «А» и «С»:

$$\bar{F}_{R12} = \bar{F}_{R12}^n + \bar{F}_{R12}^\tau;$$

$$\bar{F}_{R03} = \bar{F}_{R03}^\tau + \bar{F}_{R03}^n.$$

Умножением на масштаб μ_F можно найти модули этих реакций. Эти реакции нужны для прочностного расчета шарниров.

4. Определяем реакцию в промежуточном шарнире «В».

Реакцию в шарнире «В» можно найти методом РОЗУ (Разрезаем, Отбрасываем, Заменяем, Уравновешиваем) известного по курсу «Сопротивление материалов». Изложим суть метода РОЗУ применительно к рисунку 1, а.

Р – разрезаем группу Ассур в шарнире «В».

О – отбрасываем второе звено.

З – заменяем действие отброшенного второго звена на третье реакцией \bar{F}_{23} .

У – уравновешиваем оставшееся звено 3.

Таким образом, векторное уравнение для нахождения реакции в промежуточном шарнире запишется:

$$\sum F_i^{(3)} = \bar{F}_{G3} + \bar{F}_3^{un} + F_{R03}^\tau + \bar{F}_{R03}^n + \bar{F}_{R23}^n = 0. \quad (6)$$

Откуда реакцию \bar{F}_{R23} по направлению и по модулю.

Реакцию \bar{F}_{R23} можно было бы определить построением другого плана сил по векторному уравнению (6). Но при оптимальной записи сил в уравнении (5) для нахождения \bar{F}_{R23} достаточно на первом плане соединить конец вектора \bar{F}_{R03}^n с началом вектора F_{G3} (см. уравнение (6)). Дополнительный план сил не нужен.

На этом заканчивается силовой анализ группы Ассур второго класса первого вида, так как найдены все шесть неизвестных параметров реакции. Вкратце рассмотрим силовой анализ упрощенных групп Ассур остальных четырех видов.

1.3 Силовой анализ упрощенной группы Ассур второго класса второго вида

Эта группа приведена на рисунке 2, а. При этом для простоты изложения материала, задаваемые силы не приведены (хотя они имеются).

По сравнению с группой общего вида упрощение состоит в следующем: точка «В» попадает в центр ползуна. Это означает, что если все силы, кроме F_{R03} , проходят через точку «В», то сила F_{R03} тоже проходит через точку «В», т.е. плечо $h_{F_{03}} = 0$. При этом будет использовано одно из шести независимых уравнений. Остается пять уравнений и пять неизвестных параметров реакций (\bar{F}_{R12} , \bar{F}_{R23} , F_{R03}).

Напомним, что F_{R03} имеет только один неизвестный параметр (модуль). Направление этой силы перпендикулярно линии I-I (если не учитывать силу трения).

В первом действии составляем сумму моментов всех сил, действующих на звено 2 относительно шарнира «В» и определяем реакцию F_{R12}^{τ} , так же, как и в группе Ассур первого вида:

$$\sum M_B^{(2)}(F_i) = \dots = 0. \quad (7)$$

Откуда найдем реакцию F_{R12}^{τ} .

Во втором действии записываем векторное уравнение для сил, действующих на всю группу Ассур, и определяем реакции F_{R03} и F_{R12}^n :

$$\sum \bar{F}_i^{(2,3)} = \dots = 0. \quad (8)$$

Напомним, что уравнение (8) не содержит реакции F_{R23} , так как эта реакция для всей группы Ассур является внутренней.

Откуда из плана сил построением находим реакции F_{R03} и F_{R12}^n .

В третьем действии для определения реакции в шарнире «В» применяем метод вышеописанный метод РОЗУ. Находим векторную сумму всех сил, действующих на третье звено:

$$\sum \bar{F}_i^{(3)} = \dots = 0. \quad (9)$$

Откуда из построенного плана сил находим реакцию \bar{F}_{R23} .

Реакция F_{R23} определяется сразу по модулю и по направлению.

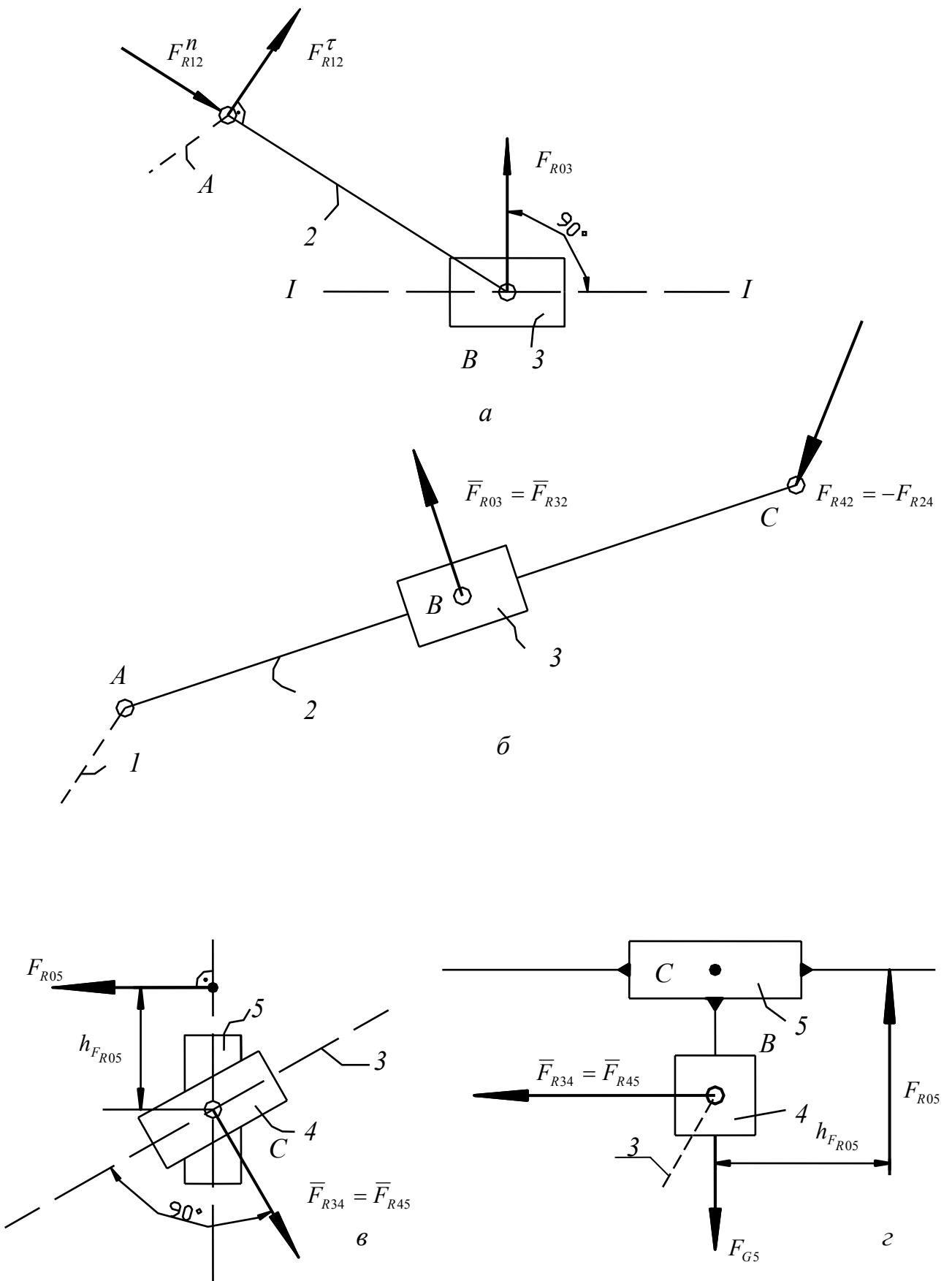


Рисунок 2 – Упрощенные группы Ассур второго класса:
 а – 2-вида, б – 3-вида, в – 4-вида, г – 5-вида.

Напомним, что уравнение (8) должно быть записано в оптимальном порядке, т.е. в том же порядке, что и уравнение (5). Разница состоит только в том, что реакция F_{R03} не раскладывается на нормальную и тангенциальную. При оптимальной записи сил для нахождения \bar{F}_{R23} остается на первом плане сил провести всего одну прямую. Отпадает необходимость построения второго плана сил по уравнению (9).

На этом силовой анализ упрощенной группы Ассур второго вида заканчивается, так как найдены все оставшиеся пять неизвестных параметров реакций.

1.4 Силовой анализ упрощенной группы Ассур второго класса третьего вида

Упрощение (см. рисунок 2, б) по сравнению с группой третьего общего вида состоит в том, что звено 3 является невесомым и звено 2 не искривлено, точка «В» попадает на линию (АС).

В первом действии начнем с рассмотрения равновесия невесомого звена 3. Для этого звена сила тяжести и главный вектор сил инерции равны нулю. Если нет других задаваемых сил, действующих на звено 3, то можно записать

$$\sum \bar{F}_i^{(3)} = \bar{F}_{R03} + \bar{F}_{R23} = 0.$$

или

$$\bar{F}_{R03} = -\bar{F}_{R23}.$$

Поменяем знак перед реакцией F_{R23} .

$$\bar{F}_{R03} = \bar{F}_{R32}.$$

Остается рассмотреть равновесие одного звена 2. Имеем три независимых уравнения статики и три неизвестных параметра реакций (\bar{F}_{R12} , F_{R32}). Напомним, что реакция F_{R32} перпендикулярна (АС), если не учитывать силы трения. Поэтому эта реакция имеет только один неизвестный параметр – модуль.

Задача решается в два действия. Сначала составляем сумму моментов всех сил, действующих на звено 2 относительно точки «А» и находим реакцию F_{R32} .

$$\sum M_A^{(2)}(F_i) = \dots = 0. \quad (10)$$

Откуда находим реакцию $\bar{F}_{R32} = \bar{F}_{R03}$.

Во втором действии записываем векторное уравнение плана сил для звена 2 и находим реакцию \bar{F}_{R12} (сразу по модулю и по направлению):

$$\sum \bar{F}_i^{(2)} = \dots = 0; \quad (11)$$

Откуда находим реакцию \bar{F}_{R12} .

На этом заканчивается силовой анализ упрощенной группы Ассур второго класса третьего вида, так как найдены все неизвестные параметры реакций.

1.5 Силовой анализ упрощенной группы Ассур второго класса четвертого вида

Упрощение (рисунок 2, в) состоит в том, что направляющие ползунков проходят через центральный шарнир «С» и звено 4 невесомо.

Начнем с рассмотрения равновесия невесомого звена 4. Для него можно записать:

$$\sum \bar{F}_i^{(4)} = \bar{F}_{R34} + \bar{F}_{R54} = 0.$$

или

$$\bar{F}_{R34} = -\bar{F}_{R54}.$$

Поменяем знак перед F_{R54} .

$$\bar{F}_{R34} = \bar{F}_{R45}.$$

Рассмотрим равновесие оставшегося звена 5. Имеем три независимых уравнения статики и три неизвестных параметра реакций (F_{R34} , F_{R05} , $h_{F_{R05}}$). Здесь направления реакций F_{R34} и F_{R05} известны. Они перпендикулярны направляющим.

В первом действии составляем векторное уравнение плана сил для звена 5 и, построив план сил, определяем реакции F_{R34} и F_{R05} .

$$\sum \bar{F}_i^{(5)} = \dots = 0; \quad (12)$$

Откуда находим реакции F_{R34} и F_{R05} после построения плана сил.

Во втором действии, для нахождения плеча $h_{F_{R05}}$ составляем сумму моментов всех сил относительно точки «С». Если все задаваемые силы проходят через точку «С», то это плечо равно нулю. Уравнение равновесия для второго действия можно записать в виде:

$$\sum M_C^{(5)}(F_i) = \dots = 0. \quad (13)$$

Откуда находим плечо силы $F_{R05} : h_{F_{R05}}$ относительно точки С.

На этом заканчивается силовой анализ упрощенной группы Ассура второго класса 4-вида.

1.6 Силовой анализ упрощенной группы Ассура второго класса пятого вида

Эта группа Ассура (рисунок 2, з) имеет два упрощения: точка «В» попадает на направляющую ползуна 4 и звено 4 невесомо.

Порядок силового анализа группы Ассура по рисунку 2, з будет точно таким же, что и для рисунка 2, в. Разница состоит только в том, что план сил для 5-го вида представляет прямоугольник.

Список использованных источников

1. Муллабаев, А.А. Силовой (кинетостатический) анализ рычажных механизмов: методические указания к курсовому проекту по ТММ/ А.А. Муллабаев. – Оренбург: ОрПИ, 1988 – 28 с.: ил.
2. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин: учебник для втузов / И.И. Артоболевский. – Изд. 4-е перераб. и доп. – М.: Наука, 1988. – 639 с.: ил. – ISBN 5-02-013810-X.
3. Фролов, К.В. Теория механизмов и машин: учебник для втузов/ К.В. Фролов [и др.]; под общ. ред. К.В. Фролова. – М.: Высшая школа, 1987. – 495 [1] с.: ил.
4. Кореняко, А.С. Теория механизмов и машин: учебник для втузов/ А.С. Кореняко. – Киев: Вища школа, 1976. – 444 с.: ил.
5. Попов, С.А. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин: учебное пособие для машиностроительных специальностей вузов / под ред. К.В. Фролова. – М: Высшая школа, 1986. – 294 [1] с.: ил.
6. Левицкая, О.Н. Курс теории механизмов и машин: учебное пособие для механических специальностей вузов / О.Н. Левицкая, Н.И. Левицкий. – 2-е изд. перераб. и доп. – М: Высшая школа, – 1985.– 279 с.: ил.
7. Муллабаев, А.А. Силовой анализ упрощенных групп Ассур второго класса: методические указания к выполнению курсового проекта по теории механизмов и машин / А.А. Муллабаев. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. – 13 с. – (Зарегистрировано в НМО УМУ ГОУ ОГУ как учебно-методическое издание. Рег. уч. №26М09112005).