

6. Гурвич, Ю. А. Прикладные критерии устойчивости движения управляемых колес транспортных средств / Ю. А. Гурвич, Ю. Д. Сырокваш // Автомобильная промышленность. – 2005. – № 9. – С. 23–27.
7. Гурвич, Ю. А. Семейство новых прикладных критериев колебательной устойчивости-неустойчивости движения / Ю. А. Гурвич // Теоретическая и прикладная механика. – 2010. – № 25. – С. 306–308.
8. Гурвич, Ю. А. Выбор критерия оптимизации параметров транспортных средств с помощью метода сеток / Ю. А. Гурвич // Машиностроение: респ. межведомств. сб. науч. тр. – Минск : БНТУ, 2018. – Вып. 31. – С. 137–147.
9. Гурвич, Ю. А. Идентификация и многокритериальный выбор в кинематике сложного движения точки / Ю. А. Гурвич, А. Ю. Демко, О. С. Порожнюк // Машиностроение: респ. межведомств. сб. науч. тр. – Минск : БНТУ, 2023. – Вып. 34. – С. 89–98.
10. Аппель, П. Теоретическая механика. Т. I, II / П. Аппель. – М.: Физматгиз, 1960. – Т. I – 515 с., Т. II – 487 с.
11. Лурье, А. И. Аналитическая механика / А. И. Лурье. – М.: Физматгиз, 1961. – 824 с.
12. Космодемьянский, А. А. Курс теоретической механики. Ч. I / А. А. Космодемьянский. – М.: Просвещение, 1965. – 538 с.
13. Космодемьянский, А. А. Курс теоретической механики. Ч. II / А. А. Космодемьянский. – М.: Просвещение, 1966. – 599 с.
14. Бутенин, Н. В. Курс теоретической механики. Т. I. Статика и кинематика / Н. В. Бутенин, Я. Л. Лунц, Д. Р. Меркин. – М.: Наука, 1970. – 240 с.
15. Бутенин, Н. В. Курс теоретической механики. Т. II. Динамика / Н. В. Бутенин, Я. Л. Лунц, Д. Р. Меркин. – М.: Наука, 1971. – 464 с.
16. Кильчевский, Н. А. Курс теоретической механики. Ч. I, II / Н. А. Кильчевский. – М.: Наука, 1977. Ч. I – 479 с., Ч. II – 543 с.

Поступила 10.03.2023

УДК 629.113.073

Гурвич Ю. А., Демко А. Ю.

СИНТЕЗ В ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ. РАЗДЕЛ «СТАТИКА»

Белорусская государственная академия авиации, Минск, Беларусь

Описан алгоритм формирования методами многокритериального синтеза схем статики составных конструкций, состоящими из простых элементов для одноэлементных и конструктивных единиц для многоэлементных схем в соответствии с критериями СТ и работоспособностью конструкций.

Применение в учебном процессе методов многокритериального синтеза статики составных конструкций точки способствует: формированию у студентов навыков многокритериального мышления; сокращению разрыва между современными методами проектирования машин в виде расчетно-методических многокритериальных аппаратов – РММА и знаниями обучающихся по теоретической механике.

Методы многокритериальной идентификации и выбора, используемые в: расчетно-методических многокритериальных аппаратах – РММА; курсе «Теоретическая механика»; разделе – статика составных конструкций – ССК описаны в работах [1–6].

Чтобы сократить разрыв между современными методами проектирования машин и их узлов в виде РММА и знаниями, получаемыми студентами в вузах, необходимо уже сейчас на лекциях и на практических занятиях реализовывать совокупность шести задач статики [6]:

1. Задача о приведении системы сил.
2. Задача о равновесии системы сил.

3. Задача о рациональном решении статики составных конструкций.
4. Задача о многокритериальной идентификации статики составных конструкций.
5. Задача о многокритериальном выборе статики составных конструкций.
6. Синтез статики простых и составных конструкций различной сложности.

Первые две задачи статики являются классическими задачами анализа, которые уже давно подробно описаны во всех учебниках по теоретической механике. Задачи 3–5 этого списка являются новыми и были впервые рассмотрены в статье [6].

В огромном количестве литературы по теоретической механике, в том числе в [7], отсутствует описание использования методов многокритериального синтеза статически определимых составных конструкций, несмотря на то, что вся гражданская и военная техника уже очень давно собирается методами, подобными синтезу – из простых элементов формируются сложные конструкции, например, автомобили, самолеты, океанские лайнеры, строительные конструкции.

Данная статья посвящена описанию 6 пункта – синтезу статики многоэлементных составных конструкций. Это позволит устранить пробел, существующий в литературе по теоретической механике по вопросам синтеза составных конструкций.

В этой связи была поставлена цель: разработать и применить методы многокритериального синтеза в решениях различных по сложности задач в одно – и многоэлементных статически определимых составных конструкциях.

1. Постановка и алгоритм решения задач многокритериального синтеза одно- и многоэлементных статически определимых составных конструкций.

В статье используются схемы, к которым приложена плоская произвольная система сил. На это указывают расположенные под углом, действующие на балки силы.

1. Алгоритм формирования методами многокритериального синтеза схем одно – и многоэлементных статически определимых составных конструкций осуществляется простыми элементами конструкций в соответствии с двумя критериями: решающим критерием СТ – степень статической определимости-неопределимости составных конструкций и их работоспособностью [6].

2. Методы многокритериального синтеза различных схем составных конструкций будут применены к:

- одноэлементным схемам;
- двухэлементным схемам;
- трехэлементным схемам.

3. Многокритериальный синтез одноэлементных схем конструкций осуществляется с помощью простых элементов: трех видов опор – жесткая заделка, шарнирно-неподвижная опора, шарнирно-подвижная опора и присоединенного к ним горизонтального стержня.

4. Многокритериальный синтез схем двухэлементных конструкций осуществляется с помощью конструктивных единиц, которые являются комбинацией из: трех видов опор – жесткая заделка, шарнирно-неподвижная опора, шарнирно-подвижная опора, и присоединенного к ним горизонтального стержня с шарниром на конце. У каждой конструктивной единицы указано значение критерия СТ.

5. Многокритериальный синтез трехэлементных схем осуществляется с помощью конструктивных единиц, которые являются комбинацией из: трех видов опор – жесткая заделка, шарнирно-неподвижная опора, шарнирно-подвижная опора и присоединенного к ним горизонтального стержня с одним или двумя шарнирами на его концах. У каждой конструктивной единицы указано значение критерия СТ.

6. На сформированных схемах одно – и многоэлементных составных конструкций будут показаны все векторы составляющих реакций опор и шарниров для проведения проверки значений критериев СТ и работоспособность конструкции по методу, описанному в [6].

II. Многокритериальный синтез схем одно- и многоэлементных статически определимых составных конструкций.

Пример 1. Описание алгоритма формирования методами синтеза статически определимых одноэлементных схем из простых элементов конструкций (рис. 1). Показать на сформированных схемах все векторы составляющих реакций опор и шарниров, проверить корректность сформированных схем с помощью критериев СТ и работоспособность конструкции.

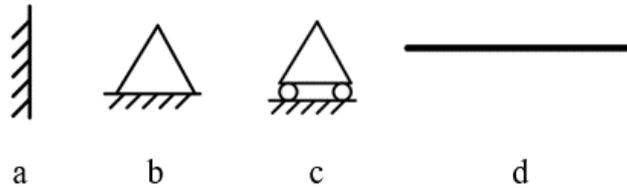


Рис. 1. Простые элементы одноэлементных схем

1. Определим структурные формулы будущих схем конструкций, используя обозначения простых элементов, показанных на рис. 1:

$$(c + d + b); (a + d), \quad (1)$$

где буквами обозначены простые элементы конструкций на рис. 1.

2. Сформируем отличные друг от друга статически определимые схемы конструкций с помощью простых элементов, показанных на рис. 1 по структурным формулам (1) и укажем на сформированных схемах все векторы составляющих реакций опор и шарниров (рис. 2).

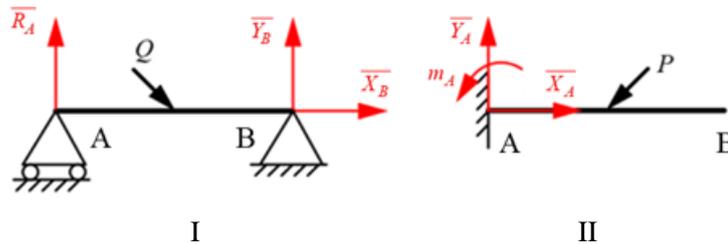


Рис. 2. Примеры одноэлементных схем

3. Проведем проверку корректности синтеза двух схем простыми элементами с помощью критериев СТ и работоспособность конструкции.

Схема – I.

Определим $H_i, Y_i, CT_i, i=1$:

$$1. H_1 = 3 (R_A, X_B, Y_B);$$

$$2. \sum_{i=1}^1 Y_i = Y_1 = 3 (\sum X = 0, \sum Y = 0, \sum m_B = 0);$$

$$3. CT_1 = H_1 - Y_1 = 3 - 3 = 0.$$

Синтезированная одноэлементная конструкция I, изображенная на рис. 2 – статически определимая и работоспособная.

Схема – II.

Определим H_{II} , Y_i , CT_{II} , $i=1$:

$$1. H_{II} = 3 (X_A, Y_A, m_A);$$

$$2. \sum_{i=1}^1 Y_i = Y_1 = 3 (\sum X = 0, \sum Y = 0, \sum m_A = 0);$$

$$3. CT_{II} = H_{II} - Y_1 = 3 - 3 = 0.$$

Синтезированная одноэлементная конструкция II, изображенная на рис. 2, статически определимая и работоспособная.

Результат синтеза. Синтез двух одноэлементных конструкций с помощью простых элементов выполнен корректно, все конструкции – статически определимые и работоспособные.

Пример 2. Описание алгоритма формирования методами синтеза статически определимых двухэлементных схем из конструктивных единиц, которые являются комбинацией из: трех видов опор и присоединенного к ним горизонтального стержня с шарниром на конце (рис. 3). Показать на сформированных схемах все векторы составляющих реакций опор и шарниров, проверить корректность сформированных схем с помощью критериев CT и работоспособность конструкции.

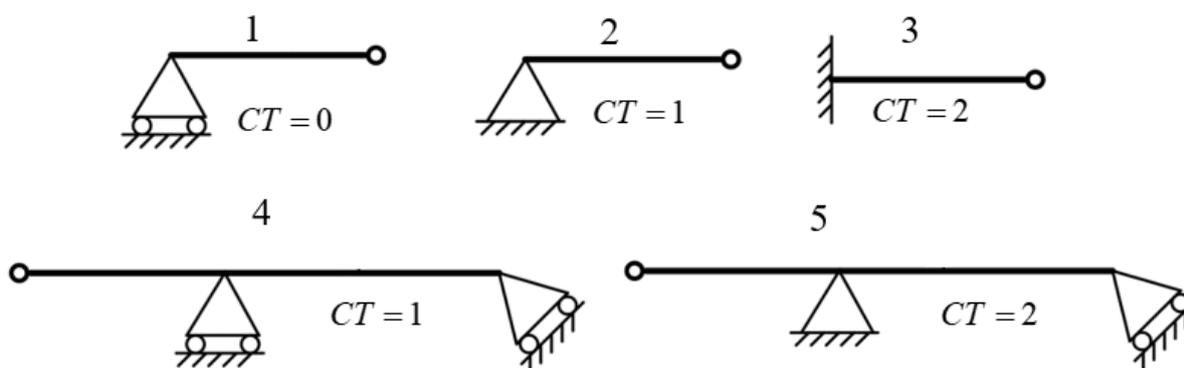


Рис. 3. Конструктивные единицы для синтеза двухэлементных схем

1. Определим структурные формулы будущих схем конструкций, используя обозначения конструктивных единиц, показанных на рис. 3:

$$(3 + 1); (2 + 4), \quad (2)$$

где цифрами обозначены конструктивные единицы на рис. 3.

2. Сформируем отличные друг от друга статически определимые схемы конструкций с помощью конструктивных единиц, показанных на рис. 3 по структурным формулам (2), а также укажем на сформированных схемах все векторы составляющих реакций опор и шарниров (рис. 4).

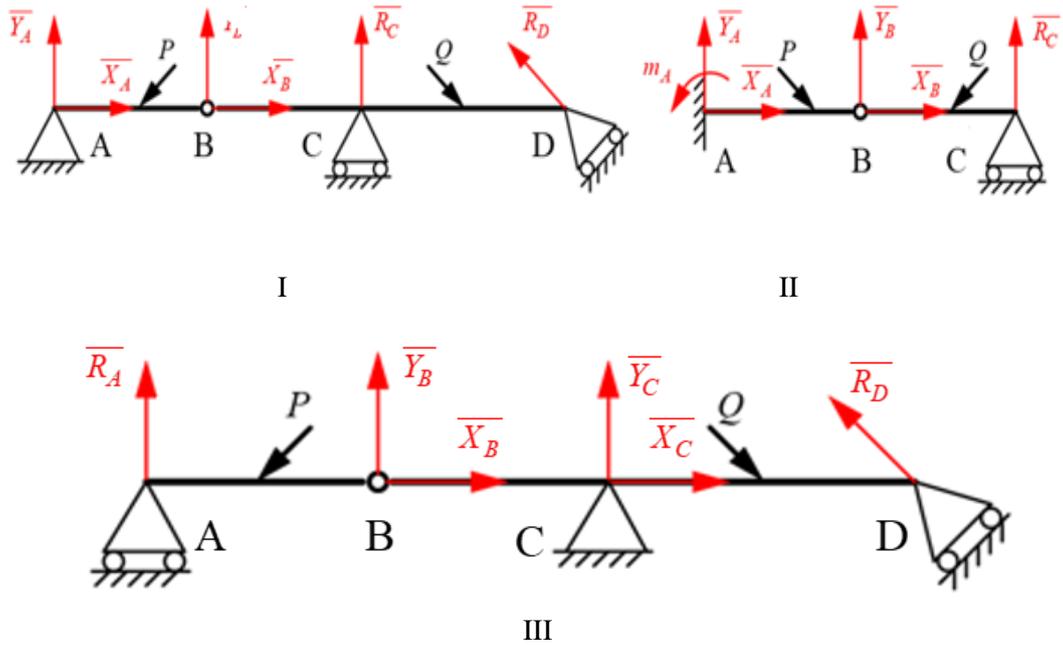


Рис. 4. Двухэлементные схемы

3. Проведем проверку корректности синтеза двух схем простыми элементами с помощью критериев CT и работоспособность конструкции.

Схема – I.

Определим $H_I, Y_i, CT_I, i = 2$:

1. $H_I = 6 (X_A, Y_A, X_B, Y_B, R_C, R_D)$;

2. $\sum_{i=1}^2 Y_i = Y_1 + Y_2 = 3 + 3 = 6$;

3. $CT_I = H_I - (Y_1 + Y_2) = 6 - (3 + 3) = 0$.

Синтезированная двухэлементная конструкция на схеме I, изображенная на рис. 4 – статически определимая и работоспособная.

Схема – II.

Определим $H_{II}, Y_i, CT_{II}, i = 2$:

1. $H_{II} = 6 (X_A, Y_A, m_A, X_B, Y_B, R_C)$;

2. $\sum_{i=1}^2 Y_i = Y_1 + Y_2 = 3 + 3 = 6$;

3. $CT_{II} = H_{II} - (Y_1 + Y_2) = 6 - (3 + 3) = 0$.

Синтезированная двухэлементная конструкция на схеме II, изображенная на рис. 4 – статически определимая и работоспособная.

Схема – III.

Определим $H_{III}, Y_i, CT_{III}, i = 2$:

$$1. H_{III} = 6 (R_A, X_B, Y_B, X_C, Y_C, R_D);$$

$$2. \sum_{i=1}^2 Y_i = Y_1 + Y_2 = 3 + 3 = 6;$$

$$3. CT_{III} = H_{III} - (Y_1 + Y_2) = 6 - (3 + 3) = 0.$$

Синтезированная двухэлементная конструкция на схеме III, изображенная на рис. 4 – статически определимая и работоспособная.

Результат синтеза. Синтез трех двухэлементных конструкций с помощью конструктивных единиц выполнен корректно, все конструкции – статически определимые и работоспособные.

Пример 3. Описание алгоритма формирования методами синтеза статически определимых трехэлементных схем из конструктивных единиц (рис. 5). Показать на сформированных схемах все векторы составляющих реакций опор и шарниров с целью проверки корректности формирования схем с помощью критериев CT и работоспособность конструкции.

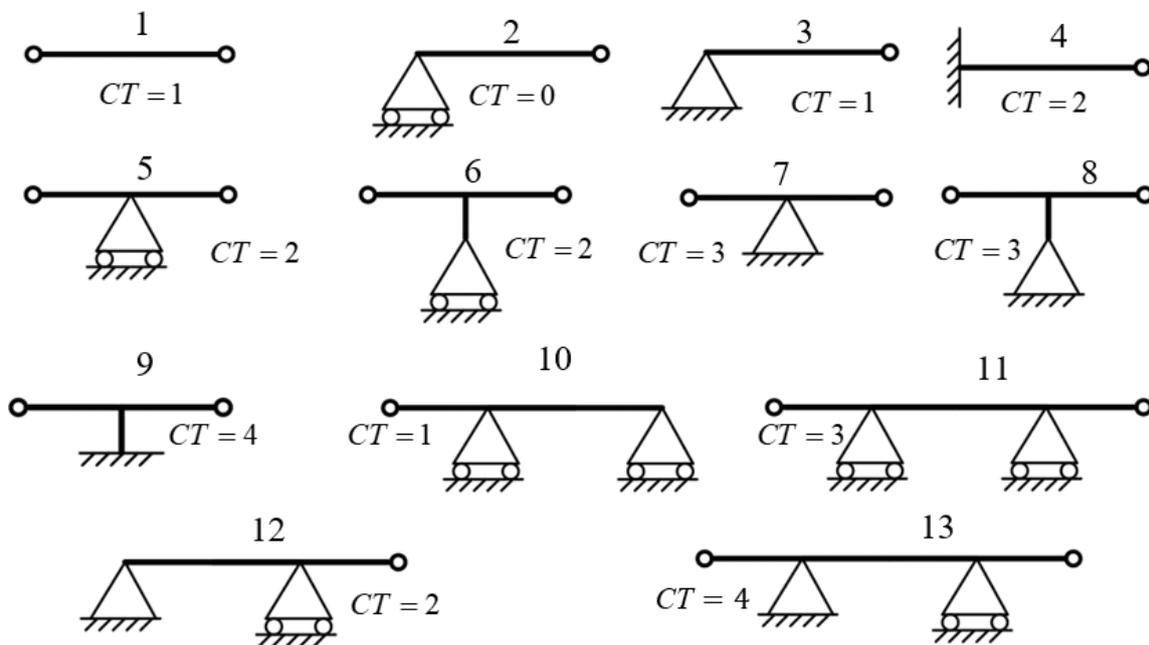


Рис. 5. Конструктивные единицы для синтеза трехэлементных схем

Сформируем статически определимые трехэлементные схемы конструкций типа «Мост» и «Ферма». Для этого:

1. Определим структурные формулы будущих схем конструкций, используя обозначения конструктивных единиц, показанных на рис. 5.

$$\text{«Мост»} - (2 + 13 + 2); \text{ «Ферма»} - (2 + 9 + 2), \quad (3)$$

где цифрами обозначены конструктивные единицы на рис. 5.

2. Сформируем отличные друг от друга статически определимые схемы конструкций с помощью конструктивных единиц, показанных на рис. 5 по структурным формулам (3), а также укажем на сформированных схемах все векторы составляющих реакций опор и шарниров (рис. 6).

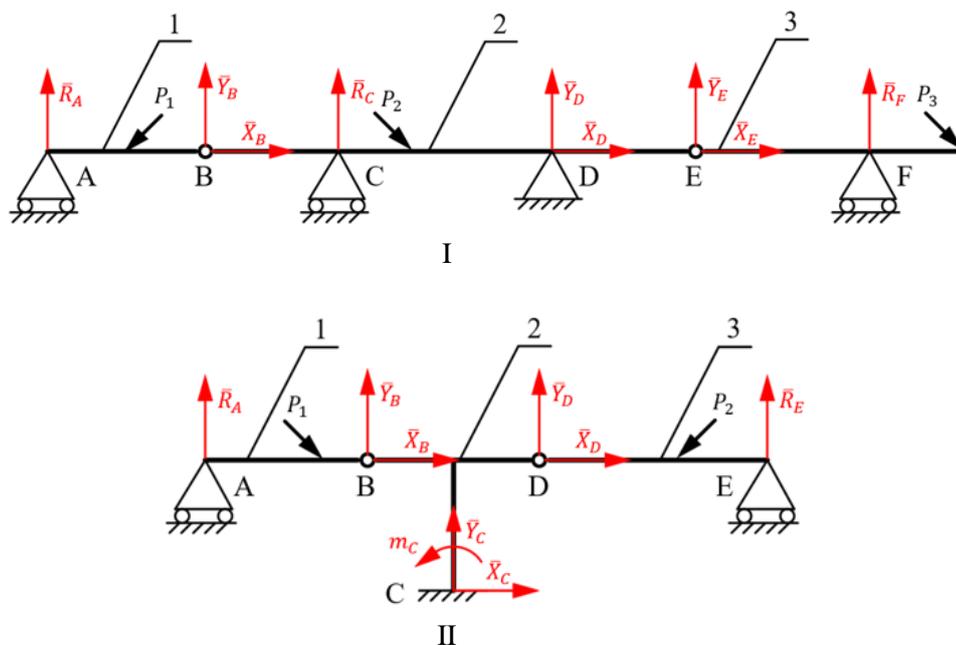


Рис. 6. Трехэлементные схемы: I – «Мост»; II – «Ферма»

3. Проведение проверки корректности синтеза двух схем простыми элементами с помощью критериев CT и работоспособность конструкции.

Схема I – «Мост».

Определим $H_1, Y_i, CT_1, i = 3$:

$$1. H_1 = 9 - (R_A, X_B, Y_B, R_C, X_D, Y_D, X_E, Y_E, R_F);$$

$$2. \sum_{i=1}^3 Y_i = Y_1 + Y_2 + Y_3 = 3 + 3 + 3 = 9;$$

$$3. CT_1 = H_1 - (Y_1 + Y_2 + Y_3) = 9 - (3 + 3 + 3) = 0.$$

Синтезированная трехэлементная конструкция на схеме I «Мост», изображенная на рис. 6 – статически определимая и работоспособная.

Схема II – «Ферма».

Определим $H_2, Y_i, CT_2, i = 3$:

$$1. H_{II} = 9 - (R_A, X_B, Y_B, X_C, Y_C, m_C, X_D, Y_D, R_E);$$

$$2. \sum_{i=1}^3 Y_i = Y_1 + Y_2 + Y_3 = 3 + 3 + 3 = 9;$$

$$3. CT_{II} = H_{II} - (Y_1 + Y_2 + Y_3) = 9 - (3 + 3 + 3) = 0.$$

Синтезированная трехэлементная конструкция на схеме II «Ферма», изображенная на рис. 6 – статически определимая и работоспособная.

Результат синтеза. Синтез трехэлементных конструкций типа «Мост» и «Ферма» с помощью конструктивных единиц выполнен корректно, все конструкции – статически определимые и работоспособные.

Пример 4. Описание алгоритма формирования методами синтеза статически определимых трехэлементных схем из конструктивных единиц (рис. 5). Показать на сформированных схемах все векторы составляющих реакций опор и шарниров с целью проверки корректности формирования схем с помощью критериев CT и работоспособность конструкции.

Сформируем статически определимые трехэлементные схемы конструкций типа «Мост» и «Ферма». Для этого:

1. Определим структурные формулы будущих схем конструкций, используя обозначения конструктивных единиц, показанных на рис. 5:

$$\text{«Мост»} - (10 + 5 + 3); \text{ «Ферма»} - (3 + 6 + 3), \quad (4)$$

где цифрами обозначены конструктивные единицы на рис. 5.

2. Сформируем отличные друг от друга статически определимые схемы конструкций с помощью конструктивных единиц, показанных на рис. 5 по структурным формулам (4), а также укажем на сформированных схемах все векторы составляющих реакций опор и шарниров (рис. 7).

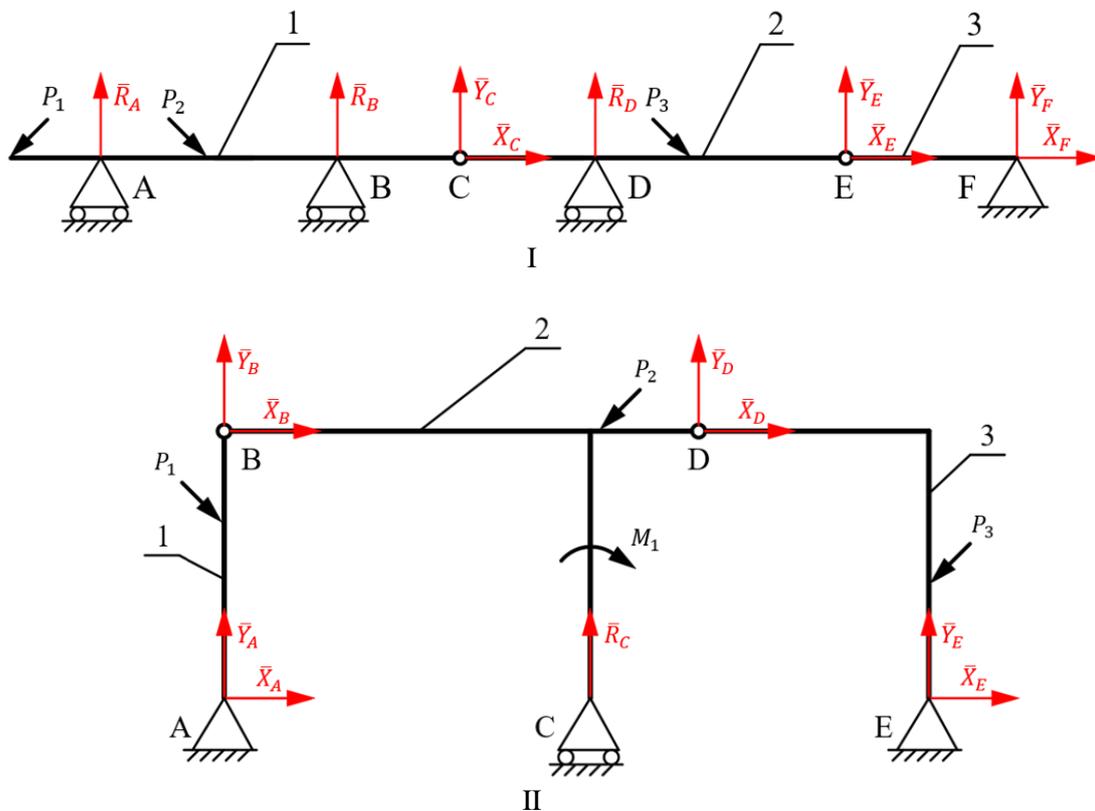


Рис. 7. Трехэлементные схемы:
I – «Мост»; II – «Ферма»

3. Проведение проверки корректности синтеза двух схем простыми элементами с помощью критериев CT и работоспособность конструкции.

Схема I – «Мост».

Определим $H_i, Y_i, CT_i, i = 3$:

$$1. H_1 = 9 - (R_A, R_B, X_C, Y_C, R_D, X_E, Y_E, X_F, Y_F);$$

$$2. \sum_{i=1}^3 Y_i = Y_1 + Y_2 + Y_3 = 3 + 3 + 3 = 9;$$

$$3. CT_I = H_I - (Y_1 + Y_2 + Y_3) = 9 - (3 + 3 + 3) = 0.$$

Синтезированная трехэлементная конструкция на схеме I «Мост», изображенная на рис. 7 – статически определимая и работоспособная.

Схема II – «Ферма».

Определим $H_{II}, Y_i, CT_{II}, i = 3$:

$$1. H_{II} = 9 - (X_A, Y_A, X_B, Y_B, R_C, X_D, Y_D, X_E, Y_E);$$

$$2. \sum_{i=1}^3 Y_i = Y_1 + Y_2 + Y_3 = 3 + 3 + 3 = 9;$$

$$3. CT_{II} = H_{II} - (Y_1 + Y_2 + Y_3) = 9 - (3 + 3 + 3) = 0.$$

Синтезированная трехэлементная конструкция на схеме II «Ферма», изображенная на рис. 7 – статически определимая и работоспособная.

Результат синтеза. Синтез трехэлементных конструкций типа «Мост» и «Ферма» с помощью конструктивных единиц выполнен корректно, все конструкции – статически определимые и работоспособные.

Пример 5. Описание алгоритма формирования методами синтеза статически определимых трехэлементных схем из конструктивных единиц (рис. 5). Показать на сформированных схемах все векторы составляющих реакций опор и шарниров с целью проверки корректности формирования схем с помощью критериев и работоспособность конструкции.

Сформируем статически определимые трехэлементные схемы конструкций типа «Мост» и «Ферма». Для этого:

1. Определим структурные формулы будущих схем конструкций, используя обозначения конструктивных единиц, показанных на рис. 5:

$$\text{«Мост»} - (12 + 1 + 10); \text{ «Ферма»} - (4 + 1 + 3), \quad (5)$$

где цифрами обозначены конструктивные единицы на рис. 5.

2. Сформируем отличные друг от друга статически определимые схемы конструкций с помощью конструктивных единиц, показанных на рис. 5 по структурным формулам (5), а также укажем на сформированных схемах все векторы составляющих реакций опор и шарниров (рис. 8).

3. Проведение проверки корректности синтеза двух схем простыми элементами с помощью критериев СТ и работоспособность конструкции.

Схема I – «Мост».

Определим $H_I, Y_i, CT_I, i = 3$:

$$1. H_I = 9 - (X_A, Y_A, R_B, X_C, Y_C, X_D, Y_D, R_E, R_F);$$

$$2. \sum_{i=1}^3 Y_i = Y_1 + Y_2 + Y_3 = 3 + 3 + 3 = 9;$$

$$3. CT_I = H_I - (Y_1 + Y_2 + Y_3) = 9 - (3 + 3 + 3) = 0.$$

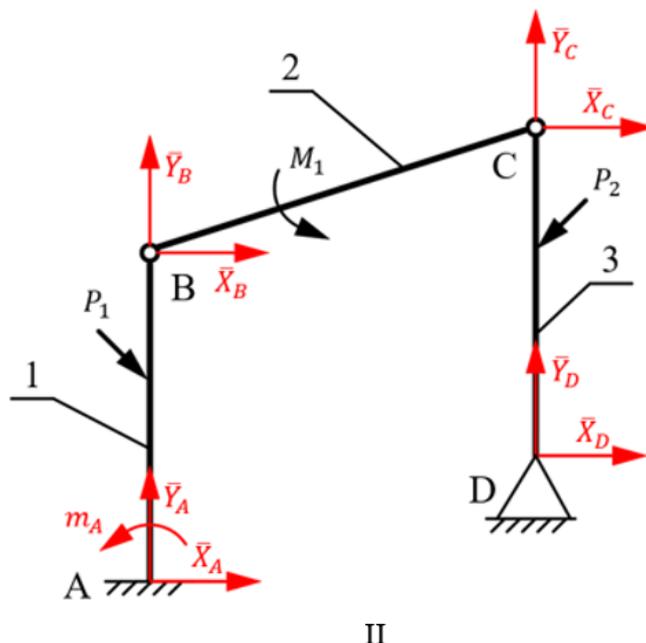
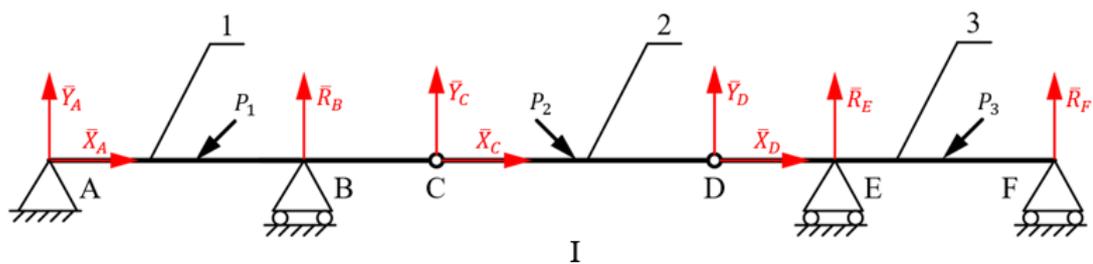


Рис. 8. Трехэлементные схемы:
I – «Мост»; II – «Ферма»

Синтезированная трехэлементная конструкция на схеме I «Мост», изображенная на рис. 8 – статически определимая и работоспособная.

Схема 2 – «Ферма».

Определим $H_{II}, Y_i, CT_{II}, i = 3$:

$$1. H_{II} = 9 - (X_A, Y_A, m_A, X_B, Y_B, X_C, Y_C, X_D, Y_D);$$

$$2. \sum_{i=1}^3 Y_i = Y_1 + Y_2 + Y_3 = 3 + 3 + 3 = 9;$$

$$3. CT_{II} = H_{II} - (Y_1 + Y_2 + Y_3) = 9 - (3 + 3 + 3) = 0.$$

Синтезированная трехэлементная конструкция на схеме II «Ферма», изображенная на рис. 8 – статически определимая и работоспособная.

Результат синтеза. Синтез трехэлементных конструкций типа «Мост» и «Ферма» с помощью конструктивных единиц выполнен корректно, все конструкции – статически определимые и работоспособные.

В отличие от решений задач анализа статики, где, как правило, существует единственное решение, в задачах синтеза статики – множество решений. Поэтому при решении одной задачи синтеза можно сформировать множество задач анализа, например, сформированные с помощью простых элементов отличные друг от друга статически

определимые схемы конструкций I, II, III (рис. 2, 4, 6–8) можно еще и удвоить. Для этого достаточно эти схемы повернуть вокруг точки «А» на 180° по часовой стрелке вокруг оси Z правой тройки ортогональной декартовой системы осей XYZ. Новые схемы будут отличаться от схем, показанных на (рис. 2, 4, 6–8), расположением опор.

На первый взгляд может показаться, что схемы конструкций, отличающиеся расположением опор, – абсолютно одинаковые (но это не так!). Приведем пример о размыве берегов рек за счет сил инерции Кориолиса. В России 10 рек текут с юга на север, крупнейшие из них – Енисей, Обь, Лена. У них левый берег выше правого. А у рек, текущих на юг, – Волга, Дон, Урал, Нева, наоборот, правый берег выше левого. Конструкторская документация для спроектированного моста, например, через реку Лена абсолютно не подойдет для моста через реку Волга даже при одинаковой длине мостов, придется делать новую документацию, поскольку эти два проекта будут отличаться расположением опор.

Выводы.

I. Чтобы сократить разрыв между современными методами проектирования машин и их узлов в виде расчетно-методических многокритериальных аппаратов – РММА – и знаниями, получаемыми студентами в вузах, необходимо уже сейчас на лекциях и на практических занятиях реализовывать шесть задач статики, причем первые две задачи статики являются классическими задачами анализа, которые уже давно подробно описаны во всех учебниках по теоретической механике, а задачи 3–5 этого списка являются новыми и были впервые рассмотрены в статье [6]:

1. Задача о приведении системы сил.
2. Задача о равновесии системы сил.
3. Задача о рациональном решении статики составных конструкций.
4. Задача о многокритериальной идентификации статики составных конструкций.
5. Задача о многокритериальном выборе статики составных конструкций.
6. Синтез статики составных конструкций различной сложности.

II. Методы многокритериального синтеза различных схем составных конструкций применены к:

– одноэлементным схемам, состоящих из простых элементов: трех видов опор и присоединенного к ним горизонтального стержня;

– двухэлементным схемам, состоящих из конструктивных единиц, которые являются комбинацией из: трех видов опор и присоединенного к ним горизонтального стержня с шарниром на конце. У каждой конструктивной единицы указано значение критерия *СТ*;

– трехэлементным схемам, состоящих из конструктивных единиц, которые являются комбинацией из: трех видов опор и присоединенного к ним горизонтального стержня с одним или двумя шарнирами на его концах. У каждой конструктивной единицы указано значение критерия *СТ*.

III. В отличие от решений задач анализа статики, где, как правило, существует единственное решение, в задачах синтеза статики – множество решений. Поэтому при решении одной задачи синтеза можно сформировать множество задач анализа, например, сформированные с помощью простых элементов отличные друг от друга статически определимые схемы конструкций I и II (рис. 2) можно удвоить. Для этого достаточно схемы I и II повернуть вокруг точки «А» на 180° по часовой стрелке вокруг оси Z правой тройки ортогональной декартовой системы осей XYZ. Новые схемы будут отличаться от схем I и II расположением опор.

Аналогично можно удвоить число:

– трех синтезированных двухэлементных статически определимых схем составных конструкций, показанных на рис. 4 (можно ввести специальные коды – «СТ-11», «СТ-20», «СТ-02», где первая и вторая цифры означают степень статической определимости-неопределимости первой и второй части конструкции);

– трех синтезированных трехэлементных статически определимых схем составных конструкций «Мост» и «Ферма», показанных на рис. 6–8 со специальными кодами «СТ-040», «СТ-121», «СТ-211».

В процессе написания данной работы было синтезировано восемь трехэлементных статически определимых схем составных конструкций «Мост» и «Ферма» со специальными кодами: «СТ-022», «СТ-031», «СТ-040», «СТ-112», «СТ-121», «СТ-130», «СТ-211», «СТ-220».

IV. Необходимо в ближайшее время разработать учебники по теоретической механике, которые будут содержать подробное описание всех шести актуальных задач анализа, рационального решения, идентификации, выбора и многокритериального синтеза.

V. Методы многокритериального синтеза статики составных конструкций реализованы на примерах решения различных по сложности задач. Студенты, решая эти задачи, приобретают новые знания и навыки многокритериального мышления, идентификации, выбора и синтеза статики. Эти новые знания и навыки помогут им в дальнейшей учебе и в будущей трудовой деятельности при: создании линейки новых моделей машин на стадии их проектирования; модернизации существующих машин; проектировании и создании новых технологических процессов и перспективных моделей техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГНТП «Машиностроение» подпрограмма «Белавтотракторостроение»: отчет о НИР за 2001–2005 годы (закл. 2 части) / Белор. национ. технич. ун-т: рук. Ю. А. Гурвич. – Минск, 2005. – Ч. 1 – 118 с., ч. 2 – 122 с. – № ГР 20012549, 20012550 от 07.07.2001 БелІСА.

2. ГНТП «Машиностроение» подпрограмма «Карьерная техника»: отчет о НИР за 2006–2007 годы (закл.) / Белор. национ. технич. ун-т: рук. Ю. А. Гурвич. – Минск, 2007. – 65 с. – № ГР 20066238 от 15.12.2006 БелІСА.

3. Развитие теории и разработка механико-математического описания динамики управляемых осей автотранспортных средств в эксплуатационных режимах на основе критериев управляемости и устойчивости: отчет о НИР за 2006–2010 годы по ГКПНИ «Механика», «Шифр: Механика – 2.44» (закл.) / Белор. национ. технич. ун-т: рук. Ю. А. Гурвич. – Минск, 2010. – 152 с. – № ГР 20064252 от 16.11.06 БелІСА.

4. ГНТП «Машиностроение» подпрограмма «Тракторостроение»: отчет о НИР за 2008–2010 годы (закл.) / Белор. национ. технич. ун-т: рук. Ю. А. Гурвич. – Минск, 2010. – 74 с. – № ГР 20083539 БелІСА.

5. Развитие теории и разработка механико-математического описания динамики многоосных и шарнирно-сочлененных автотранспортных средств в эксплуатационных режимах на основе критериев управляемости, устойчивости, безопасности движения, плавности хода и износа шин: отчет о НИР за 2011–2015 годы по ГПНИ «Механика, техническая диагностика, металлургия», «Шифр: Механика, техническая диагностика, металлургия 1.06» (закл.) / Белор. национ. технич. ун-т: рук. Ю. А. Гурвич. – Минск, 2015. – 140 с. – № ГР 20122239 БелІСА.

6. Гурвич, Ю. А. Рациональное решение, идентификация и многокритериальный выбор в курсе «Теоретическая механика» раздел «Статика» / Ю. А. Гурвич, А. Ю. Демко, О. С. Порожнюк // Машиностроение: респ. межведомств. сб. науч. тр. – Минск : БНТУ, 2023. – Вып. 34. – С. 77–88.

7. Бутенин Н. В. Курс теоретической механики. Том I. Статика и кинематика / Н. В. Бутенин, Я. Л. Лунц, Д. Р. Меркин. – М.: Наука, 1970. – 240 с.

Поступила 10.03.2023