Таким образом, представленная модель адаптивной системы компенсации реактивной мощности и разработанный алгоритм контроллера, не имеющие аналогов в построении компенсаторов реактивной мощности, позволяют исследовать погрешности компенсации и повысить надежность устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Ярошевич. Схема компенсации реактивной мощности в квартирных электрических сетях // Вестник Брестского государственного технического университета. – Физика, математика, информатика. Вып. 5 (71). – Брест: БрГТУ, 2011. – С. 66–67.

2. Регулятор реактивной мощности с аналоговым вычислителем. Рэспубліка Беларусь / ПАТЭНТ на карысную мадэль № 8066 / Аутар Ярошевич А. В. / Зарэгістравана у Дзяржауным рэестры карысных мадэляу 2011.12.15.

Поступила 29.04.2022

УДК 629.113.073

Гурвич Ю. А., Демко А. Ю., Порожнюк О. С.

РАЦИОНАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ И МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР В КУРСЕ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА» РАЗДЕЛ «СТАТИКА»

Белорусская государственная академия авиации,
Минск, Беларусь

В статье описываются методы рационального решения, многокритериальной идентификации и многокритериального выбора, реализованные в различных по сложности многоэлементных статически определимых составных конструкциях.

Метод рационального решения позволяет для каждого вида многоэлементной составной конструкции выполнить расчет по критерию – минимум вычислительных процедур или действий.

Применение в учебном процессе методов рационального решения, идентификации и выбора составных конструкций способствует: формированию у студентов навыков многокритериального мышления и сокращению разрыва между современными методами проектирования машин и их узлов в виде расчетно-методических многокритериальных аппаратов – РММА и знаниями обучающихся по учебной дисциплине «Теоретическая механика» раздел «Статика».

Хорошо известно, что все задачи проектирования машин их узлов и механизмов всегда многокритериальные. Однако, многие задачи проектирования, например, управляемых осей и мостов различных колесных машин до сих пор рассматриваются как однокритериальные.

Правда, в последнее время для ускорения разработки и постановки на производство новых поколений автобусов, грузовых автомобилей, самосвалов, тракторов, в конструкторских бюро заводов Республики Беларусь стали успешно применять различные по сложности и объему расчетно-методические многокритериальные аппараты – РММА, базирующихся на методах векторной оптимизации параметров колесной техники [1–3].

При формировании РММА используются отдельные положения некоторых теорий: механики неголономных систем, устойчивости движения, стационарного и нестационарного качения колеса с шиной по твердой поверхности, математического моделирования, многокритериальной параметрической идентификации, многокритериального выбора, автоматического регулирования, множество Парето, вероятности и математической статистики, приближения функций [4].

Отдельные положения этих теорий в разных сочетаниях «сшивают» в единые целые, представляющие собой механико-математические модели различных конструкций колесных машин. Затем с помощью методов многокритериальной оптимизации выбирают такой набор конструктивных параметров машин, который удовлетворяет совокупности критериев – управляемости, устойчивости, стабилизации и безопасности движения, плавности хода, усилию на рулевом колесе во всем частотном и скоростном диапазонах движения [3; 5–8].

Известно, что большинство конструкторов этим сложным механико-математическим методам в Вузах не обучали. Например, в литературе и в курсах лекций по теоретической механике отсутствуют методы идентификации, выбора, многокритериального синтеза, а присутствует лишь описание методик решения задач анализа, в которых ничего не говорится о рациональном решении. Следовательно, произошел разрыв между знаниями студентов, полученными ими в Вузах и теми знаниями, которые потребуются им для практической деятельности.

Чтобы сократить разрыв между этими знаниями обучение студентов методам РММА необходимо начинать в курсе «Теоретическая механика» раздел «Статика».

В многочисленной литературе по теоретической механике, в том числе и в [9], содержание статики абсолютно твердого тела составляют две основные задачи:

1. Задача о приведении системы сил: как данную систему сил заменить другой, в частности наиболее простой, ей эквивалентной. Например, систему сходящихся сил $\overline{F_i},\ \ i=\overline{1,n}$ приводят к одной силе – равнодействующей силе $\overline{R}=\sum\limits_{i=1}^{n}\overline{F_i}$, а все остальные системы сил приводят к двум силовым характеристикам – главному вектору $\overline{R^*}=\sum\limits_{i=1}^{n}\overline{F_i}$ и главному моменту $\overline{M_0}=\sum\limits_{i=1}^{n}\overline{m_i}$ системы сил.

2. Задача о равновесии – каким условиям должна удовлетворять система сил, приложенная к данному телу (или материальной точке), чтобы она была уравновешенной системой.

При решении первой основной задачи все действующие на тело силы считаются известными. Эта задача важна не только в статике, но и в динамике.

Вторая задача часто ставится в тех случаях, когда равновесие заведомо имеет место, например, когда заранее известно, что тело находится в равновесии, которое обеспечивается связями, наложенными на тело. При этом условия равновесия устанавливают зависимость между всеми силами, приложенными к телу: во многих случаях с помощью этих условий удается определить опорные реакции. Недостатком этой задачи является отсутствие рационального решения систем алгебраических уравнений равновесия каждой из шести систем сил. При этом должен выполняться критерий – минимум вычислительных процедур или действий.

Цель работы. Разработать и применить методы рационального решения, идентификации и многокритериального выбора в решениях различных по сложности задач статики составных конструкций.

Для выполнения поставленной цели к двум существующим основным задачам статики необходимо добавить четыре новые задачи, реализация которых позволит сократить разрыв между знаниями, получаемыми студентом в вузе, и теми знаниями, необходимыми для использования методов РММА:

1. Задача о рациональном решении статики составных конструкций.

2. Задача о многокритериальной идентификации статики составных конструкций.

3. Задача о многокритериальном выборе статики составных конструкций.

4. Синтез статики составных конструкций.

Приведем из литературы краткие формулировки терминов – критерий, идентификация, выбор.

Критерий – это отличительный признак, на основании которого производится оценка, определение или классификация чего-либо.

Идентификация – это установление соответствия распознаваемого предмета своему образу.

Многокритериальный выбор – это поиск рационального решения из ряда возможных (или предложенных) решений с учетом определенного числа критериев.

Пример идентификации. На продажу какой-то фирмой выставлены десять разных марок и цветов подержанных автомобилей. Полицейский, сличая фотографию угнанного автомобиля, обнаружил 100 % сходство с одним из этих десяти автомобилей.

Пример выбора. На продажу какой-то фирмой выставлены десять разных марок и цветов подержанных автомобилей. Покупатель по своим критериям – цена, мощность двигателя, год выпуска, цвет выбрал и купил, понравившейся ему один из десяти автомобилей.

В данной статье, состоящей из трех частей, цель работы реализована путем последовательного рассмотрения первых трех новых задач статики составных конструкций.

Рациональное решение задач статики составных конструкций.

В литературе по теоретической механике в разделе «Статика» приводится описание двух способов определения реакций опор составных статически определимых конструкций.

Первый способ – рассматривается равновесие всей конструкции в целом, а затем – какой-либо отдельной ее части.

Второй способ – рассматривается равновесие каждой части конструкции отдельно. При этом дается лишь одна рекомендация по их применению: «Целесообразность применения того или иного способа решения задачи зависит от условия конкретной задачи», но ничего не говорится о рациональном решении этой задачи, при котором обеспечивается критерий – минимум вычислительных процедур или действий.

При решении задачи об определении реакций опор составной статически определимой конструкции, состоящей из двух тел (рис. 1), можно составить шесть линейно независимых уравнений равновесия, что приводит к шести различным по сложности вариантам решения (табл. 1):

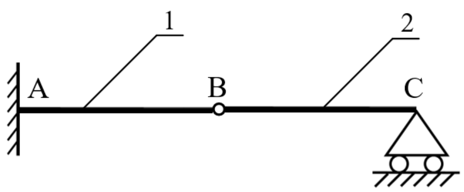


Рис. 1. Схема составной статически определимой конструкции

Таблица 1 – Варинаты решения

1	1 + 2	***2***	2 + 1	***3***	(1 + 2) + 1
4	(1 + 2) + 2	***5***	1 + (1 + 2)	***6***	2 + (1 + 2)

где 1 и 2 – линейно независимые уравнения равновесия, составленные для первой или второй части конструкции; 1 + 2 – линейно независимые уравнения равновесия, составленные для первой и второй части конструкции; (1 + 2) – линейно независимые уравнения равновесия, составленные для всей конструкции в целом.

Очевидно, что варианты решения под номерами 3, 4, 5, 6 в табл. 1 намного сложнее из-за повторяющихся дважды цифр 1 или 2, чем решения под номерами 1 и 2. Для окончательного решения задачи необходимо ответить на вопрос: «Какое из решений 1 + 2 или 2 + 1 лучше и почему?»

Для статически определимой конструкции, состоящей из трех тел, можно составить 9 линейно независимых уравнений равновесия, приводящих к решению задачи 96 вариантами.

Для статически определимой конструкции, состоящей из четырех тел, можно составить 12 линейно независимых уравнений равновесия. При этом вариантов решения уже больше тысячи!

Поэтому вопрос о нахождении рационального решения задач статики составных статически определимых конструкций, обеспечивающего минимум вычислительных процедур или действий, является актуальным.

Для получения рационального решения задачи рекомендуется:

1. Число линейно независимых уравнений равновесия и количество слагаемых в них нужно сводить к минимуму.

2. Желательно, чтобы в уравнения равновесия моментов сил относительно точки входила одна неизвестная.

3. Желательно после выполнения одной вычислительной процедуры (или нескольких, но не всех) получить численный результат.

4. Работоспособность конструкции.

Введем решающий критерий СТ – степень статической определимости – неопределимости, обладающий в значительной мере свойствами трех критериев:

$$CT = H - \sum_{i=1}^{n} Yi,\ i = \overline{1, n}, \tag{1}$$

где CT – целые числа;

H – суммарное количество неизвестных составляющих реакций опор и шарниров составной конструкции;

Y – количество линейно независимых уравнений равновесия, присущих каждой из шести систем сил;

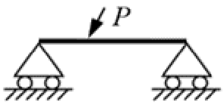
i – количество тел, входящих в составную конструкцию.

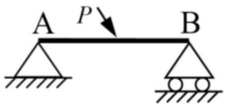
Если $CT = 0$, то необходимо указать, работоспособна данная конструкция или нет. Например, конструкция с тремя подвижными опорами является неработоспособной, если при определенных условиях она может совершать движение. Если $CT = 0$, конструкция работоспособная, то она является статически определимой и находится в равновесии. При $CT > 0$ – конструкция статически неопределимая и находится в равновесии. Если $CT < 0$ – конструкция геометрически изменяемая, в равновесии находиться не может.

Вид опор:

1.  – жесткая заделка.
2.  – шарнирно-неподвижная опора.
3.  – шарнирно-подвижная опора.

Работоспособность конструкции:

1. Неработоспособная конструкция .

2. Работоспособная конструкция .

Рациональное решение составной конструкции, состоящей из двух тел.

В работе рассматривается только плоская произвольная система сил, за счет расположенных на схемах балок под углом векторов сил *P* и *Q*.

Пример 1. Описание алгоритма рационального решения составной конструкции, состоящей из двух тел.

В соответствии с формулой (1) определим СТ всей конструкции (рис. 2).

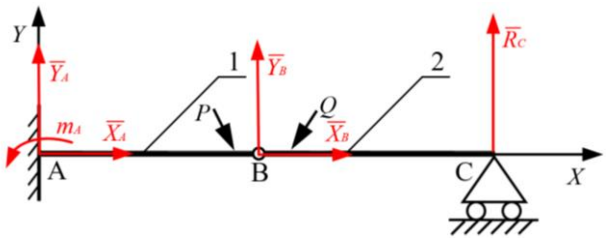


Рис. 2. Схема двухэлементной составной статически определимой конструкции, где указаны реакции связей в опорах A и C и в шарнире B

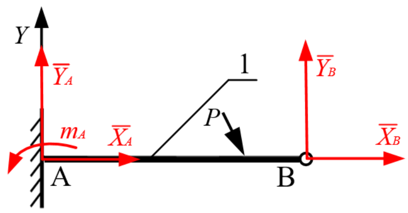
Определим Н, Уi, СТ, I = 1, 2:

1. $H = 6\left(X_A, Y_A, m_A, X_B, Y_B, R_C\right)$.

2. $\sum_{i=1}^{2} Yi = Y_1 + Y_2 = 3 + 3$.

3. $CT = H - (Y_1 + Y_2) = 6 - (3+3) = 0.$ Двухэлементная конструкция – статически определимая.

Рассмотрим первую часть сочлененной конструкции, изображенной на рис. 2:



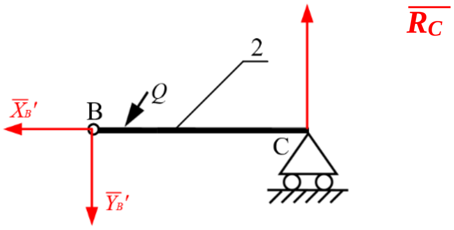
1. Определим Н$_1$, У$_1$, СТ$_1$:

$H_1 = 5\,(X_A, Y_A, m_A, X_B, Y_B)$.

$Y_1 = 3\left(\sum X = 0, \sum Y = 0, \sum m_A = 0\right)$.

$CT_1 = H_1 - Y_1 = 5 - 3 = 2$ – первая часть конструкции дважды статически неопределимая.

Теперь рассмотрим вторую часть сочлененной конструкции, используя закон действия и противодействия:



2. Определим Н2, У2, СТ2:

$H_2 = 3\,(X'_B, Y'_B, Rc)$.

$Y_2 = 3\left(\sum X = 0, \sum Y = 0, \sum m_B = 0\right)$.

$CT_2 = H_2 - Y_2 = 3 - 3 = 0$ – вторая часть конструкции статически определимая.

3. Используя уравнения равновесия $\sum X = 0$, $\sum Y = 0$, $\sum m_B = 0$ для второй части сочлененной конструкции, у которой $CT = 0$, выполним расчет реакции опоры С и шарнира В – R_C, X'_B, Y'_B.

4. Приложим все силы к балке АВ, используя формулы перехода $\begin{cases} \overline{X_B}' = -\overline{X_B}, \\ \overline{Y_B}' = -\overline{Y_B}. \end{cases}$.

В результате балка АВ стала статически определимой – $CT = 0$.

5. Составим уравнения равновесия для балки АВ $\sum X = 0, \sum Y = 0, \sum m_A = 0$, из которых определим реакции опор – X_A, Y_A, m_A.

6. Алгоритм рационального решения задачи об определении реакций опор А, С и шарнира В $X_A, Y_A, m_A,$ R_C, X_B, Y_B двухэлементной составной конструкции реализуется пунктами 1–5 при условии выполнения критерия – минимума вычислительных процедур или действий.

Рациональное решение составной конструкции, состоящей из трех тел.

Пример 2. Описание алгоритма рационального решения составной конструкции, состоящей из трех тел.

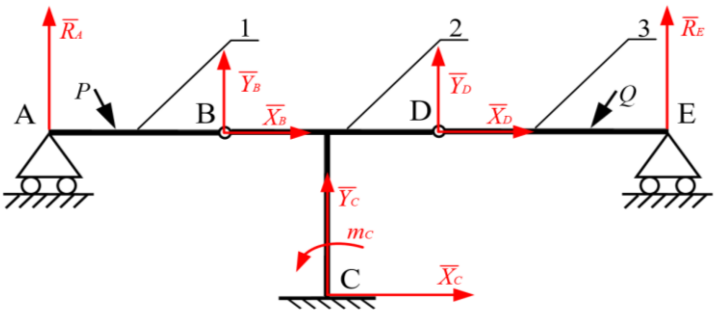


Рис. 3. Схема трехэлементной статически определимой составной конструкции с одной жесткой заделкой и с двумя подвижными опорами

В соответствии с формулой (1) определим СТ всей конструкции.

Определим Н, Уi, СТ, i = 1; 2; 3:

$H = 9\,(R_A, X_B, Y_B, X_C, Y_C, m_C, X_D, Y_D, R_E)$.

$$\sum_{i=1}^{3} Yi = Y_1 + Y_2 + Y_3 = 3 + 3 + 3\cdot$$

$CT = H - (Y_1 + Y_2 + Y_3) = 9 - (3+3+3) = 0.$ Трехэлементная конструкция – статически определимая.

Рассмотрим первую часть сочлененной статически определимой конструкции, изображенной на рис. 3:

1. Определим Н1, У1, СТ1:

$H_1 = 3\,(R_A, X_B, Y_B)$.

$Y1 = 3\left(\sum X = 0, \sum Y = 0, \sum mB = 0\right)$.

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

Рассмотрим вторую часть сочлененной конструкции:

2. Определим Н2, У2, СТ2:

$H_2 = 7\,(X'_B, Y'_B, X_C, Y_C, m_C, X_D, Y_D)$.

$Y2 = 3\left(\sum X = 0, \sum Y = 0, \sum mC = 0\right)$.

$CT2 = H2 - Y2 = 7 - 3 = 4.$

Рассмотрим третью часть сочлененной конструкции:

3. Определим Н3, У3, СТ3:

$H_3 = 3\,(X'_D, Y'_D, R_E)$.

$Y_3 = 3\,(\sum X = 0, \sum Y = 0, \sum m_D = 0)$.

$CT_3 = H_3 - Y_3 = 3 - 3 = 0.$

4. Производим расчет реакций опор первой – R_A, X_B, Y_B и третьей – R_E, X'_D, Y'_D частей сочлененной конструкции, у которых $CT = 0$.

5. Используя формулы перехода от балки АВ к балке BDC и от балки DE к балке DBC, укажем все силы, действующие на вторую часть конструкции:

$$\begin{cases} \overline{X_B}' = -\overline{X_B}, \\ \overline{Y_B}' = -\overline{Y_B}. \end{cases} \qquad \begin{cases} \overline{X_D}' = -\overline{X_D}, \\ \overline{Y_D}' = -\overline{Y_D}. \end{cases}$$

6. Составим уравнения равновесия для балки BDC $\sum X = 0,\ \sum Y = 0,\ \sum m_C = 0$, из которых определим реакции опор – X_C, Y_C, m_C.

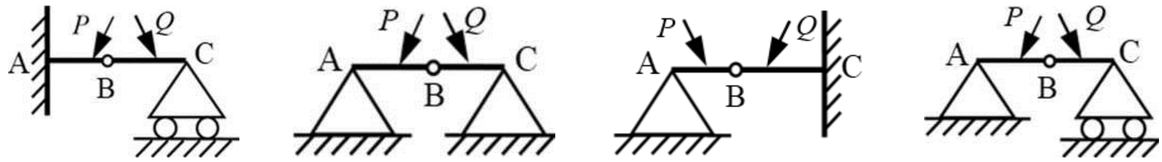
7. Алгоритм рационального решения задачи с об определении реакций опор А, С, Е и шарниров В и D трехэлементной составной конструкции R_A, X_B, Y_B, X_C, Y_C, m_C, X_D, Y_D, R_E реализуется пунктами 1–6 при условии выполнения критерия – минимума вычислительных процедур или действий.

Задачи многокритериальной идентификации составных конструкций.

При решении задач идентификации статически определимых составных конструкций используются критерии: СТ; количество тел, соединенных шарнирами; количество опор; вид опор; вид плоской системы сил (одной из трех: плоская система сходящихся сил, плоская система параллельных сил, плоская произвольная система сил); работоспособность конструкции (движущаяся конструкция неработоспособная). В работе рассматривается плоская произвольная система сил, за счет расположенных под углом векторов сил P и Q на чертежах.

Задача многокритериальной идентификации составной конструкции, состоящей из двух тел.

Задача № 1. Описание алгоритма идентификации одной из четырех схем конструкций (рис. 4) по пяти критериям, приведенным в табл. 2 [10; 11].



1 2 3 4

Рис. 4. Схемы составных конструкций

Таблица 2 – Критерии идентификации

Критерии				
СТ	Количество тел	Количество опор	Вид опор и их сочетания	Работоспособность конструкции
0	2	2		Работоспособная конструкция

Решение. Проанализируем таблицу на соответствие ее какой-либо одной из четырех схем.

1. Вычислим критерий СТ для каждой из четырех конструкций, используя (1):

1.1. $CT = 0$ для первой конструкции, так как количество неизвестных реакций опор и шарниров равно шести (X_A, Y_A, m_A, X_B, Y_B, R_C), а количество линейно независимых уравнений равновесия для двух тел АВ и ВС также равно шести:

для балки АВ $\sum X = 0, \ \sum Y = 0, \ \sum m_A = 0;$

для балки ВС $\sum X = 0, \ \sum Y = 0, \ \sum m_C = 0.$

Формула перехода от балки АВ к балке ВС:

$$\begin{cases} \overline{X_B'} = -\overline{X_B}, \\ \overline{Y_B'} = -\overline{Y_B}. \end{cases}$$

1.2. $CT = 0$ для второй конструкции, так как количество неизвестных реакций опор и шарниров равно шести (X_A, Y_A, X_B, Y_B, X_C, Y_C), а количество линейно независимых уравнений равновесия для двух тел АВ и ВС также равно шести.

1.3. $CT = 1$ для третьей конструкции, так как количество неизвестных реакций опор и шарниров равно семи (X_A, Y_A, X_B, Y_B, X_C, Y_C, m_C), а количество линейно независимых уравнений равновесия для двух тел АВ и ВС равно шести.

1.4. $CT = -1$ для четвертой конструкции, так как количество неизвестных реакций опор и шарниров равно пяти (X_A, Y_A, X_B, Y_B, R_C), а количество линейно независимых уравнений равновесия для двух тел АВ и ВС равно шести.

Следовательно, критерию $CT = 0$ удовлетворяют только две схемы конструкций 1 и 2.

2. Все четыре схемы конструкций удовлетворяют критерию – количество тел.

3. Критерию – количество опор удовлетворяют все четыре схемы конструкций.

4. Критерию – вид опор и их сочетания удовлетворяет только схема 2.

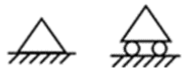
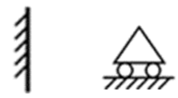
5. Все четыре конструкции работоспособны, так как находятся в равновесии.

Результат идентификации. Всем пяти критериям соответствует только схема конструкции 2.

Задача многокритериальной идентификации составной конструкции, состоящей из трех тел

Задача № 2. Описание алгоритма идентификации одного из четырех номеров вариантов 1), 2), 3), 4) критериев табл. 3: СТ; количество тел, соединенных шарнирами; количество опор; вид опор и их сочетания; работоспособность конструкции схеме составной конструкции (рис. 5).

Таблица 3 – Варианты критериев идентификации

№ варианта	Критерии				
	СТ	Количество тел	Количество опор	Вид опор	Работоспособность конструкции
1)	0	3	4		Работоспособная конструкция
2)	0	3	3		Работоспособная конструкция
3)	2	3	3		Работоспособная конструкция
4)	0	3	3		Работоспособная конструкция

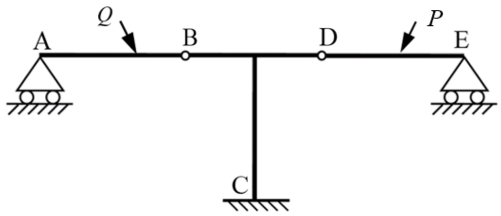


Рис. 5. Схема составной конструкции

Решение. Проанализируем схему конструкции.

1. Число независимых составляющих реакций опор и шарниров составной конструкции равно девяти (R_A, X_B, Y_B, X_C, Y_C, m_C, X_D, Y_D, R_E), количество линейно независимых уравнений равновесия также равно девяти, критерий – $CT = 0$, – вариант 3) данному критерию не соответствует.

2. Критерию – количество тел удовлетворяют все четыре варианта.

3. Критерию – количество опор вариант 1) не удовлетворяет.

4. Критерию – вид опор и их сочетания удовлетворяет только вариант 4).

5. Критерию – работоспособность конструкции удовлетворяют все четыре варианта, так как рассматриваемая конструкции находится в равновесии.

Результат идентификации. Схеме конструкции соответствует только вариант 4).

Задачи многокритериального выбора составных конструкций.

При решении задач выбора статически определимых составных конструкций используются критерии: СТ; количество тел, соединенных шарнирами; количество опор; вид опор; вид плоской системы сил – плоская произвольная система сил; работоспособность конструкции [12–14].

Задача многокритериального выбора составной конструкции, состоящей из двух тел.

Рассмотрим примеры решения задач многокритериального выбора в статике составных конструкций.

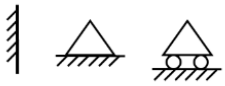
Задача № 3: Описание алгоритма выбора критериев, которые соответствуют схеме составной конструкции (рис. 6).

Критерии:

1. Вид системы сил: плоская система сходящихся сил; плоская система произвольных сил; плоская система параллельных сил.

2. Дан набор СТ: –2; –1; 0; 1; 2.

3. Количество тел: 1; 2; 3; 4.

4. Вид опор, их сочетания и количество  .

5. Работоспособность конструкции: работоспособная конструкция; неработоспособная конструкция.

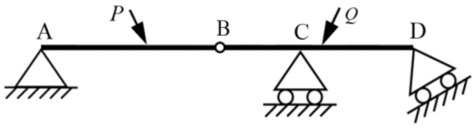


Рис. 6. Схема двухэлементной составной конструкции

Решение. Проанализируем конструкцию.

1. Вид системы сил данной конструкции: плоская произвольная система сил, что отображено силами P и Q.

2. $CT = 0$, так как количество неизвестных реакций опор и шарниров равно шести (X_A, Y_A, X_B, Y_B, R_C, R_D) и количество линейно независимых уравнений равновесия для двух тел AB и BD также равно шести:

$$\text{для балки AB: } \sum X = 0, \quad \sum Y = 0, \quad \sum m_A = 0;$$

$$\text{для балки BC: } \sum X = 0, \quad \sum Y = 0, \quad \sum m_C = 0.$$

Формула перехода от балки AB к балке BC:

$$\begin{cases} \overline{X_B'} = -\overline{X_B}, \\ \overline{Y_B'} = -\overline{Y_B}. \end{cases}$$

3. Конструкция состоит из двух тел.

4. Конструкция содержит одну шарнирно-неподвижную опору  и две шарнирно-подвижные опоры .

5. Конструкция работоспособная, так как она находится в равновесии.

Результат выбора. Конструкция удовлетворяет следующим критериям: вид системы сил – плоская произвольная система сил; критерий $CT = 0$; количество тел составной конструкции равно двум; вид опор и их количество – одна шарнирно-неподвижная опора  и две шарнирно-подвижные опоры ; данная конструкция работоспособная.

Задача многокритериального выбора составной конструкции, состоящей из трех тел.

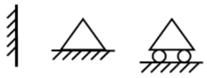
Задача № 4. Описание алгоритма выбора критериев, которые соответствуют схеме составной конструкции (рис. 7).

Критерии:

1. Вид системы сил: система сходящихся сил; плоская произвольная система сил; плоская система параллельных сил.

2. Дан набор СТ: –2; –1; 0; 1; 2.

3. Количество тел: 1; 2; 3; 4.

4. Вид опор и их количество  .

5. Работоспособность конструкции: работоспособная конструкция; неработоспособная конструкция.

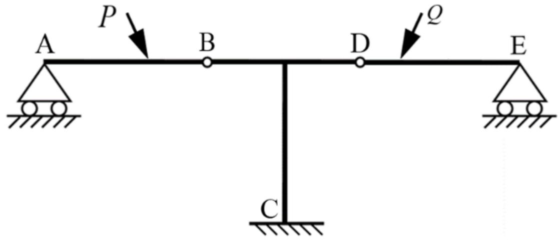


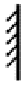
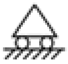
Рис. 7. Схема трехэлементной составной конструкции

Решение. Проанализируем конструкцию.

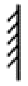
1. Вид системы сил: плоская произвольная система сил, что отображено силами P и Q.

2. $CT = 0$, так как количество неизвестных реакций опор и шарниров равно девяти (R_A, X_B, Y_B, X_C, Y_C, m_C, X_D, Y_D, R_E) и количество линейно независимых уравнений равновесия для трех тел AB, BD и DE равно девяти.

3. Количество тел, входящих в конструкцию, равно трем.

4. Конструкция содержит одну жесткую заделку  и две шарнирно-подвижные опоры .

5. Конструкция работоспособная.

Результат выбора. Конструкция удовлетворяет следующим критериям: вид системы сил – плоская произвольная система сил; критерий – $CT = 0$; количество тел составной конструкции равно трем; вид опор конструкции и их количество – одна жесткая заделка  и две шарнирно-подвижные опоры .

Выводы.

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 совокупность шести задач статики:

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.

Методы рационального решения, многокритериальной идентификации и многокритериального выбора реализованы на примерах решения задач различных по сложности статически определимых составных конструкций. Например, метод рационального решения позволяет из множества существующих вариантов решения задач статики составных конструкций выбрать оптимальное решение по критерию – минимум вычислительных процедур или действий.

Студенты, решая эти задачи, приобретают новые знания и навыки многокритериального мышления, идентификации и выбора, которые помогут им в дальнейшей учебе и в будущей трудовой деятельности при проектировании и создании новых перспективных моделей техники.

Методы рационального решения, многокритериальной идентификации и многокритериального выбора необходимо ввести в курс лекций и практических занятий дисциплин «Теоретическая механика», «Теория машин и механизмов», «Механика», «Детали машин», которые читают студентам, курсантам, магистрам, аспирантам технических вузов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурвич, Ю. А. Оптимизация параметров управляемой оси автобусов и автомобилей «МАЗ» / Ю. А. Гурвич // Теоретическая и прикладная механика. – 2010. – № 25. – С. 189 – 203.
2. Гурвич, Ю. А. Обоснование методики и программного продукта многокритериальной оптимизации параметров различных конструкций рулевых трапеций семейства грузовых автомобилей / Ю. А. Гурвич // Машиностроение: респ. межведомств. сб. науч. тр. – Минск: БНТУ, 2018. – Вып. 31. – С. 153 – 167.
3. Гурвич, Ю. А. Многокритериальное проектирование управляемых неразрезных осей грузовых автомобилей / Ю. А. Гурвич // Сборник научных статей военной академии Республики Беларусь. – 2018. – № 35. – С. 72 – 80.
4. Гурвич, Ю. А. Экспериментально-аналитический метод параметрической идентификации процесса качения колеса с шиной / Ю. А. Гурвич // Авиационный вестник. – 2021. – № 5. – С. 29 – 44.
5. Гурвич, Ю. А. Новые прикладные критерии колебательной и апериодической устойчивости движения колес транспортных средств. Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической и прикладной механике / Ю. А. Гурвич. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – 551 с.
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. 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.
10. Проблемы многокритериальной идентификации в статике двух тел / О. С. Порожнюк и др. // Динамика по времени науки – 2021: мат. XVII Интернационал. Научно-практическая конференция, София, 17 – 25 июля 2021 года: София, 2021. – Т. 3. – С. 47 – 50.
11. Проблемы многокритериальной идентификации в статике трех тел / О. С. Порожнюк и др. // Illustratané vědecké novinky – 2021: materiály XVIII Mezinárodní vědecko – praktická konference, Praha, 22 – 30 červncŭ 2021. – Прага: Издательство «Образование и наука», 2021. – Т. 2 – С. 114 – 118.
12. Порожнюк, О. С. Применение однокритериального выбора в статике составных конструкций / О. С. Порожнюк, А. Ю. Демко, Ю. А. Гурвич // Prospects of world science – 2021: materials of the XVII International scientific and practical Conference, Sheffield, July 30 – August 7 2021. Sheffield: Science and Education LTD., 2021. – V. 3. – P. 102 – 105.
13. Порожнюк, О. С. Применение многокритериального выбора в статике составных конструкций / О. С. Порожнюк, А. Ю. Демко, Ю. А. Гурвич // Nauka: teoria i praktyka – 2021: materiały XVII Międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji, Przemyśl, 07 – 15 sierpnia 2021. – Przemyśl, 2021. – Т. 2. – S. 56 – 63.
14. Демко, А. Ю. Применение методов многокритериальной идентификации и выбора в теоретической и прикладной механике / А. Ю. Демко, О. С. Порожнюк, Ю. А. Гурвич // Nauka: teoria i praktyka – 2021: materiały XVII Międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji, Przemyśl, 07 – 15 sierpnia 2021. – Przemyśl, 2021. – Т. 2. – S. 63 – 66.

Поступила 01.02.2022