УДК 629.113.073

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

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР В КИНЕМАТИКЕ СЛОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ТОЧКИ

Белорусская государственная академия авиации,
Минск, Беларусь

В статье описываются методы идентификации и многокритериального выбора, реализованные в решениях пяти задач кинематики сложного движения точки.

Применение в учебном процессе этих задач идентификации и выбора кинематики сложного движения точки 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 «Кинематика сложного движения точки».

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. При формировании РММА используются методы математического моделирования, многокритериальной параметрической идентификации, многокритериального выбора, автоматического регулирования, множество Парето, вероятности и математической статистики, приближения функций.

В литературе по теоретической механике в разделе «Кинематика сложного движения точки» отсутствует изложение современных методов идентификации, выбора и многокритериального синтеза. Например, в учебнике по теоретической механике [1] установление связи между абсолютным движением точки, относительным движением и движением точки вместе с подвижной системой координат позволит решать две следующие задачи:

1) по заданному относительному движению точки и движению подвижной системы определить сложное движение;

2) заданное сложное движение разложить на составляющие движения.

Следовательно, произошел разрыв между знаниями студентов, полученными ими в Вузах и теми знаниями, которые потребуются им для практической деятельности.

В данной статье обучение студентов современным методам, необходимым для использования РММА на практике предлагается выполнить за счет введения в курс «Теоретическая механика» раздел «Кинематика сложного движения точки» – КСДТ методов многокритериальной идентификации и многокритериального выбора.

Цель работы. Разработать и применить методы идентификации и выбора в решениях задач кинематики сложного движения точки.

Для выполнения поставленной цели к двум существующим задачам КСДТ необходимо добавить три новые задачи, реализация которых позволит сократить разрыв между знаниями, получаемыми студентами в вузе, и теми знаниями, которые будут необходимы им для использования методов РММА на практике:

1. Задача о многокритериальной идентификации КСДТ.
2. Задача о многокритериальном выборе КСДТ.
3. Синтез КСДТ.

Данная статья состоит из трех частей, где цель работы реализована во второй и третьей частях путем последовательного рассмотрения постановки и решений пяти задач КСДТ.

Основные определения и формулы КСДТ

Для решения новых задач идентификации и многокритериального выбора в КСДТ, необходимо использовать теорему Кориолиса и понятия: абсолютного, относительного и переносного движения точки, абсолютной скорости, абсолютного ускорения и их составляющих (рис. 1).

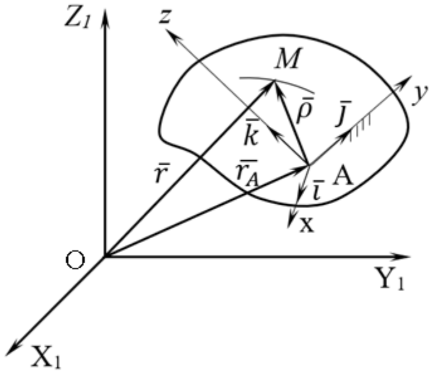

Рис. 1. Схема сложного движения точки: $\bar{r} = \bar{r}(t)$ – абсолютное движение точки М относительно неподвижной системы координат X_1, Y_1, Z_1; $\bar{\rho} = \bar{\rho}(t)$ – относительное движение точки М относительно подвижной системы координат x, y, z, жестко связанной с движущимся телом; $\overline{r_A} = \overline{r_A}(t)$ – переносное движение той точки тела, совпадающей в данное мгновение с движущейся точкой М, относительно неподвижной системы координат X_1, Y_1, Z_1.

Из рис. 1 следует, что абсолютное движение точки М определяется векторной зависимостью $\bar{r} = \bar{\rho} + \overline{r_A}$.

Возьмем от этой зависимости первую и вторую полные производные по времени, при этом используем формулы Бура, Пуассона и правило круговой подстановки. В результате получим, что: абсолютная скорость точки М равна геометрической сумме двух скоростей – относительной $\overline{V_r}$ и переносной $\overline{V_e}$ – $\bar{V} = \overline{V_r} + \overline{V_e}$; абсолютное ускорение точки М равно геометрической сумме трех ускорений – относительного $\overline{a_r}$, переносного $\overline{a_e}$ и ускорения Кориолиса $\overline{a_k}$ – $\bar{a} = \overline{a_r} + \overline{a_e} + \overline{a_k}$.

Если относительное движение точки криволинейное, а переносное движение – вращательное, то последняя формула абсолютного ускорения точки М приобретает вид:

$$\bar{a} = \overline{a_r^\tau} + \overline{a_r^n} + \overline{a_e^\tau} + \overline{a_e^n} + \overline{a_k}, \tag{1}$$

где $\bar{a}$ – абсолютное ускорение точки;

$\overline{a_r^\tau}$ – относительное тангенциальное ускорение точки;

$\overline{a_r^n}$ – относительное нормальное ускорение точки;

$\overline{a_e^\tau}$ – переносное тангенциальное ускорение точки;

$\overline{a_e^n}$ – переносное нормальное ускорение точки;

$\overline{a_k}$ – ускорение Кориолиса.

Слагаемые абсолютного ускорения в формуле (1) определяются из законов относительного и переносного движений. В работе рассматриваются только три вида переносного движения: поступательное прямолинейное, поступательное криволинейное и вращательное.

Из всего многообразия законов относительного и переносного движений в дальнейшем будут использованы только простейшие, имеющие вид:

$$S_r = B_1 t^n \,, \tag{2}$$

$$S_e = B_2 t^m \,, \tag{3}$$

$$\varphi_e = B_3 t^m \,, \tag{4}$$

где S_r – закон относительного прямолинейного или криволинейного движения;

S_e – закон переносного поступательного прямолинейного движения;

φ_e – закон переносного вращательного движения;

B_1, B_2, B_3 – постоянные положительные коэффициенты; n и m – целые числа;

$t > 0$.

Определим составляющие абсолютного ускорения точки в следующей последовательности:

1. Из выражения (2) найдем a_r^τ и a_r^n:

$$a_r^\tau = \ddot{S}_r = B_1 n(n-1)t^{n-2}. \tag{5}$$

Очевидно, что при показателе степени $n = 1$ $a_r^\tau = 0$ – движение равномерное (5).

Относительное нормальное ускорение:

$$a_r^n = \frac{V_r^{\,2}}{\rho}, \tag{6}$$

где V_r – скорость относительного движения точки;

ρ – радиус кривизны траектории точки в относительном движении.

Так как $V_r = \dot{S}_r = B_1 n t^{n-1}$, то

$$a_r^n = \frac{B_1^2 n^2 t^{2(n-1)}}{\rho}. \tag{7}$$

При прямолинейном относительном движении $a_r^n = 0$, т. к. $\rho = \infty$ (7).

2. При определении составляющих переносного ускорения рассмотрим два случая:

– переносное движение поступательное прямолинейное – п. 2.1;

– переносное движение вращательное – п. 2.2.

2.1. Из выражения $S_e = B_2 t^m$ определим a_e^τ и a_e^n:

$$a_e^\tau = \ddot{S}_e = m(m-1)B_2 t^{m-2}. \tag{8}$$

При $m = 1$, $a_e^\tau = 0$ – переносное движение равномерное (8).

Нормальное ускорение характеризует изменение скорости по направлению, поэтому при переносном прямолинейном движении $a_e^n = 0$.

2.2. Из выражения $\varphi_e = B_3 t^m$ определим a_e^τ и a_e^n:

$$a_e^\tau = \varepsilon_e r = \ddot{\varphi}_e r, \tag{9}$$

где a_e^τ – переносное тангенциальное ускорение;

r – радиус окружности, которую описывает точка во вращательном переносном движении;

ε_e – угловое ускорение переносного вращения тела.

Если $m = 1$ то $\varepsilon_e = 0$ и $a_e^\tau = 0$ переносное вращение – равномерное (9).

Переносное нормальное ускорение – $a_e^n = \omega_e^2 r$, (10)

где ω_e – угловая скорость переносного вращения тела – $\omega_e = \dot{\varphi}_e = mB_3 t^{m-1}$;

$$a_e^n = m^2 B_3^2 t^{2(m-1)} r. \tag{11}$$

В случае переносного вращательного движения $a_e^n \neq 0$. (12)

3. Ускорение Кориолиса определим по формуле

$$\overline{a_k} = 2\bar{\omega}_e \times \bar{V}_r. \tag{13}$$

Если угол между векторами $\bar{\omega}_e$ и $\bar{V}_e$ обозначим α, тогда модуль ускорения Кориолиса (13) определяется следующей зависимостью

$$a_k = 2\omega_e V_r \sin\alpha. \tag{14}$$

Ускорение Кориолиса (14) обращается в нуль, если хотя бы один из сомножителей ω_e, V_r, $\sin\alpha$ равен 0.

Определим количество и вид вариантов критерия $\bar{a}$ – абсолютное ускорение точки, используя формулу (1) и простейшие законы относительного и переносного движений – (2), (3), (4), которые отличаются числом и видом векторных слагаемых абсолютного ускорения точки $\overline{a_r^\tau}$, $\overline{a_r^n}$, $\overline{a_e^\tau}$, $\overline{a_e^n}$, $\overline{a_k}$.

Пять критериев, каждый состоит из одного векторного слагаемого абсолютного ускорения точки:

$$\bar{a}=0,\ \bar{a}=\overline{a_r^\tau},\ \bar{a}=\overline{a_r^n},\ \bar{a}=\overline{a_e^\tau},\ \bar{a}=\overline{a_e^n}.$$

Семь критериев, каждый состоит из сочетания по два векторных слагаемых абсолютного ускорения точки:

$$\bar{a}=\overline{a_r^\tau}+\overline{a_r^n};\ \bar{a}=\overline{a_r^\tau}+\overline{a_e^\tau};\ \bar{a}=\overline{a_r^\tau}+\overline{a_e^n};\ \bar{a}=\overline{a_r^n}+\overline{a_e^n};\ \bar{a}=\overline{a_r^n}+\overline{a_e^\tau};\ \bar{a}=\overline{a_e^\tau}+\overline{a_e^n};\ \bar{a}=\overline{a_e^n}+\overline{a_k}.$$

Семь критериев, каждый состоит из сочетания по три векторных слагаемых абсолютного ускорения точки:

$$\bar{a}=\overline{a_r^\tau}+\overline{a_r^n}+\overline{a_e^\tau};\ \bar{a}=\overline{a_r^\tau}+\overline{a_r^n}+\overline{a_e^n};\ \bar{a}=\overline{a_r^\tau}+\overline{a_e^\tau}+\overline{a_e^n};\ \bar{a}=\overline{a_r^\tau}+\overline{a_e^n}+\overline{a_k};$$

$$\bar{a}=\overline{a_r^n}+\overline{a_e^\tau}+\overline{a_e^n};\ \bar{a}=\overline{a_r^n}+\overline{a_e^n}+\overline{a_k};\ \bar{a}=\overline{a_e^\tau}+\overline{a_e^n}+\overline{a_k}.$$

Четыре критерия, каждый состоит из сочетания по четыре векторных слагаемых абсолютного ускорения точки:

$$\bar{a}=\overline{a_r^\tau}+\overline{a_r^n}+\overline{a_e^\tau}+\overline{a_e^n};\ \bar{a}=\overline{a_r^\tau}+\overline{a_r^n}+\overline{a_e^n}+\overline{a_k};\ \bar{a}=\overline{a_r^\tau}+\overline{a_e^\tau}+\overline{a_e^n}+\overline{a_k};$$

$$\bar{a}=\overline{a_r^n}+\overline{a_e^\tau}+\overline{a_e^n}+\overline{a_k}.$$

Один критерий, содержащий пять векторных слагаемых абсолютного ускорения точки:

$$\bar{a}=\overline{a_r^\tau}+\overline{a_r^n}+\overline{a_e^\tau}+\overline{a_e^n}+\overline{a_k}.$$

Задачи многокритериальной идентификации в КСДТ.

Задача № 1. Описание алгоритма идентификации одной из четырех схем движения точки, изображенных на рис. 2 по критериям – числу и виду слагаемых абсолютного ускорения точки $\overline{a_r^\tau}$, $\overline{a_r^n}$, $\overline{a_e^\tau}$, $\overline{a_e^n}$, $\overline{a_k}$ с данными табл. 1 [2].

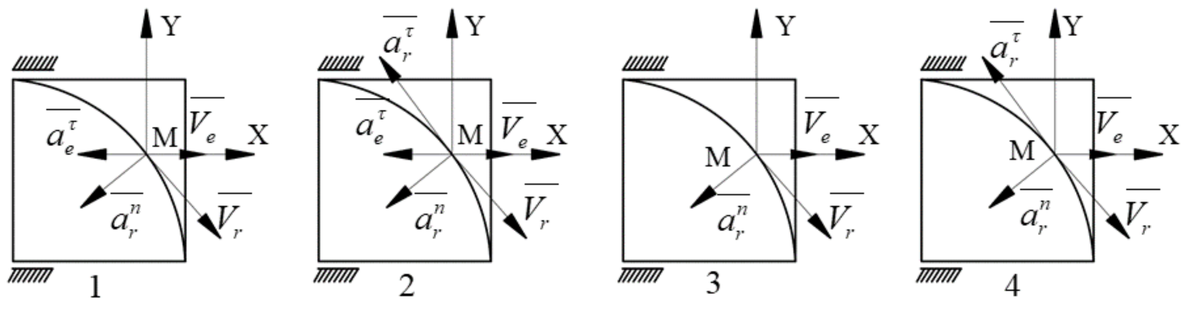

Рис. 2. Схемы сложного движения точки

Таблица 1 – Характеристики простых движений

Виды движений	Законы движений	Показатели степени	Угол $\alpha=(\overline{\omega_e},\overline{V_r})$
r – криволинейное e – поступательное прямолинейное	$S_r = B_1t^n$ $S_e = -B_2t^m$	$n = -2$ $m = -2$	Не существует

Решение. Идентифицируем табл. 1 какой-либо одной из четырех схем:

Относительное движение *r* криволинейное, поэтому критерий $\overline{a_r^n} \neq 0,$ ему соответствуют все четыре схемы.

Переносное движение е поступательное прямолинейное. Поэтому, критерии $\overline{a_e^n} = 0$ и $\overline{a_k} = 0,$ им соответствуют также все четыре схемы.

Так как n = –2, то критерий $\overline{a_r^\tau} \neq 0$, векторы $\overline{a_r^\tau}$ и $\overline{V_r}$ направлены в противоположные стороны, поэтому показателю степени *n* из табл. 1 и критерию $\overline{a_r^\tau}$ соответствуют только схемы 2 и 4.

Так как m = –2, то критерий $\overline{a_e^\tau} \neq 0$, векторы $\overline{a_e^\tau}$ и $\overline{V_e}$ направлены в противоположные стороны, поэтому показателю степени *m* из табл. 1 и критерию $\overline{a_e^\tau}$ соответствуют схемы 1 и 2.

Поскольку угол α не существует, то критерий, $\overline{a_k} = 0,$ ему соответствуют все четыре схемы.

Результаты идентификации. Данным табл. 1 – характеристикам простых движений идентична только схема 2 по критериям – числу и виду слагаемых абсолютного ускорения точки $\overline{a_r^\tau}$, $\overline{a_r^n}$, $\overline{a_e^\tau}$.

Задача № 2. Описание алгоритма идентификации вариантов А, Б, В, Г движений точки по многим критериям – виду характеристик простых движений r, e, S_r, φ_e, n, m, α (табл. 2) с заданными составляющими абсолютного ускорения точки $\overline{a} = \overline{a_r^\tau} + \overline{a_e^n} + \overline{a_k}$ [3].

Таблица 2 – Варианты критериев – характеристики простых движений

Вариант А		Вариант Б	
r	Прямолинейное	r	Криволинейное
e	Вращательное	e	Вращательное
S_r	$S_r = B_1 t^n$	S_r	$S_r = B_1 t^n$
φ_e	$\varphi_e = B_3 t^m$	φ_e	$\varphi_e = B_3 t^m$
n	$n = 1$	n	$n = 2$
m	$m = 2$	m	$m = 1$
α	$\neq k\pi, k = 0;1$	α	$\neq k\pi, k = 0;1$
Вариант В		**Вариант Г**	
r	Прямолинейное	r	Прямолинейное
e	Вращательное	e	Вращательное
S_r	$S_r = B_1 t^n$	S_r	$S_r = B_1 t^n$
φ_e	$\varphi_e = B_3 t^m$	φ_e	$\varphi_e = B_3 t^m$
n	$n = 2$	n	$n = 2$
m	$m = 1$	m	$m = 2$
α	$\neq k\pi, k = 0;1$	α	$\neq k\pi, k = 0;1$

Решение. Проанализируем заданную формулу абсолютного ускорения точки – $\overline{a} = \overline{a_r^\tau} + \overline{a_e^n} + \overline{a_k}$:

– $\overline{a_r^\tau} \neq 0$, следовательно, показатель степени $n = 2$, этому критерию не соответствуют вариант – А;

– $\overline{a_r^n} = 0$, критерий относительное движение r – прямолинейное, что не соответствует варианту Б;

– $\overline{a_e^\tau} = 0$, критерий $m = 1$, этому критерию не соответствуют варианты А и Г;

– $\overline{a_e^n} \neq 0$, критерий переносное движение e – вращательное. Этому критерию соответствуют все четыре варианта – А, Б, В, Г;

– $\overline{a_k} \neq 0$, критерий $\alpha \neq k\pi, k = 0;1$, этому критерию соответствуют также все четыре варианта – А, Б, В, Г.

Результаты идентификации. Только вариант В идентичен всем критериям – характеристикам простых движений значению абсолютного ускорения точки – $\overline{a} = \overline{a_r^\tau} + \overline{a_e^n} + \overline{a_k}$.

Задача № 3. Описание алгоритма идентификации вариантов движения точки А, Б, В, Г по многим критериям – характеристикам простых движений (табл. 3) со схемой на рис. 3 [4].

Таблица 3 – Варианты критериев

<table>
<tr><td colspan="2">Вариант А</td><td colspan="2">Вариант Б</td></tr>
<tr><td>r
e
S_r
φ_e
n
m
α</td><td>Прямолинейное
Вращательное
$S_r = B_1 t^n$
$\varphi_e = B_3 t^m$
$n = 1$
$m = 2$
$\alpha = k\pi, k = 0;1$</td><td>r
e
S_r
φ_e
n
m
α</td><td>Криволинейное
Вращательное
$S_r = B_1 t^n$
$\varphi_e = B_3 t^m$
$n = 2$
$m = 2$
$\alpha = k\pi, k = 0;1$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Вариант В</td><td colspan="2">Вариант Г</td></tr>
<tr><td>r
e
Sr
φ_e
n
m
α</td><td>Прямолинейное
Вращательное
$S_r = B_1 t^n$
$\varphi_e = B_3 t^m$
$n = 2$
$m = 1$
$\alpha \neq k\pi, k = 0;1$</td><td>r
e

S_r
φ_e
n
m
α</td><td>Прямолинейное
Поступательное
криволинейное
$S_r = B_1 t^n$
$\varphi_e = B_3 t^m$
$n = 2$
$m = 1$
Не существует</td></tr>
</table>

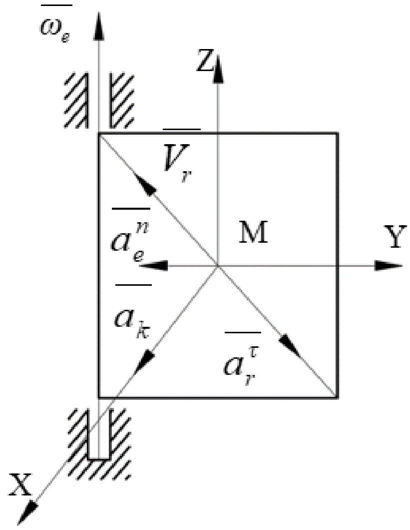

Рис. 3. Схема сложного движения точки

Решение. Проанализируем схему сложного движения точки на рис. 3:

– $\overline{a_r^\tau} \neq 0$ критерий – показатель степени $n = 2$, этому критерию вариант А не соответствует;

– $\overline{a_r^n} = 0$ критерий – относительное движение прямолинейное, этому критерию не соответствует вариант Б;

– $\overline{a_e^\tau} = 0$ критерий – $m = 1$, этому критерию соответствуют варианты В и Г;

– $\overline{a_e^n} \neq 0$ критерий – переносное движение вращательное, поэтому $\overline{a_k} \neq 0.$ Этому критерию соответствуют все варианты – А, Б, В, Г;

– $\overline{a_k} \neq 0$ критерий – $\alpha \neq k\pi, k = 0;1$, этому критерию соответствует вариант В.

Результаты идентификации. Из четырех таблиц А, Б, В, Г данной схеме сложного движения точки на рис. 3 соответствует только вариант В.

Задачи многокритериального выбора в КСДТ.

Задача № 4. Описание алгоритма выбора слагаемых абсолютного ускорения точки $\overline{a_r^\tau}$, $\overline{a_r^n}$, $\overline{a_e^\tau}$, $\overline{a_e^n}$, $\overline{a_k}$, совершающей сложное движение, соответствующих заданным критериям – характеристикам простых движений, приведенным в табл. 4 [5].

Таблица 4 – Критерии выбора – характеристики простых движений точки

Критерии			
Виды движений	Законы движений	Показатели степени	Угол $\alpha = (\overline{\omega_e}, \overline{V_r})$
r – прямолинейное e – вращательное	$S_r = B_1 t^n$ $\varphi_e = B_3 t^m$	n = 1 m = 1	$\neq k\pi, k = 0;1$

Решение. Проанализируем данные табл. 4:

– критерий – относительное движение прямолинейное, поэтому $\overline{a_r^n} = 0$;

– критерий – n = 1, поэтому $\overline{a_r^\tau} = 0$;

– критерии – переносное движение вращательное, m = 1, поэтому $\overline{a_e^n} \neq 0, \overline{a_e^\tau} = 0$;

– критерий – угол $\alpha \neq k\pi, k = 0;1$, поэтому $\overline{a_k} \neq 0$;

Результаты выбора. Абсолютное ускорение точки состоит из суммы двух векторных слагаемых $\overline{a_e^n}$ и $\overline{a_k}$, каждое из которых не равно нулю – $\overline{a} = \overline{a_e^n} + \overline{a_k}$.

Задача № 5. Описание алгоритма выбора слагаемых абсолютного ускорения точки $\overline{a_r^\tau}$, $\overline{a_r^n}$, $\overline{a_e^\tau}$, $\overline{a_e^n}$, $\overline{a_k}$, совершающей сложное движение, соответствующих заданным критериям – характеристикам простых движений, приведенным в табл. 5.

Таблица 5 – Критерии выбора – характеристики простых движений точки

Критерии			
Виды движений	Законы движений	Показатели степени	Угол $\alpha = (\overline{\omega_e}, \overline{V_r})$
r – криволинейное e – поступательное прямолинейное	$S_r = B_1 t^n$ $S_e = -B_2 t^m$	n = 2 m = 2	Не существует

Решение. Проанализируем данные табл. 5:

– критерий – n = 2, поэтому $\overline{a_r^\tau} \neq 0$;

– критерий – относительное движение криволинейное, поэтому $\overline{a_r^n} \neq 0$;

– критерии – переносное движение поступательное прямолинейное, m = 2, поэтому $\overline{a_e^n} = 0$, $\overline{a_e^\tau} \neq 0$;

– критерий – угол α не существует так как $\overline{\omega_e} = 0$, поэтому $\overline{a_k} = 0$.

Результаты выбора. Абсолютное ускорение точки состоит из суммы трех векторных слагаемых $\overline{a_r^\tau}$, $\overline{a_r^n}$ и $\overline{a_e^\tau}$, каждое из которых не равно нулю – $\overline{a} = \overline{a_r^\tau} + \overline{a_r^n} + \overline{a_e^\tau}$.

Выводы.

1. 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 пять задач КСДТ:

– задача – по заданному относительному движению точки и движению подвижной системы определить сложное движение;

– задача – заданное сложное движение разложить на составляющие движения;

– задача о многокритериальной идентификации КСДТ;

– задача о многокритериальном выборе КСДТ;

– синтез КСДТ.

2. Методы многокритериальной идентификации и многокритериального выбора реализованы в КСДТ на решении различных по сложности задач. Например, многокритериальная идентификация КСДТ реализована в решениях трех задач под номерами 1 – 3, многокритериальный выбор реализован в решениях двух задач под номерами 4 и 5.

3. При решении задач КСДТ с использованием критериев

$$\overline{a} = \overline{a_e^n};$$

$$\overline{a} = \overline{a_r^\tau} + \overline{a_e^n};\ \overline{a} = \overline{a_r^n} + \overline{a_e^n};\ \overline{a} = \overline{a_e^\tau} + \overline{a_e^n};$$

$$\overline{a} = \overline{a_r^\tau} + \overline{a_r^n} + \overline{a_e^n};\ \overline{a} = \overline{a_r^\tau} + \overline{a_e^\tau} + \overline{a_e^n};$$

$$\overline{a} = \overline{a_r^n} + \overline{a_e^\tau} + \overline{a_e^n};\ \overline{a} = \overline{a_r^\tau} + \overline{a_r^n} + \overline{a_e^\tau} + \overline{a_e^n}.$$

Возможно раздвоение переносного движения на два движения: поступательное криволинейное и вращательное.

4. 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.

5. Задачи идентификации и выбора являются неотъемлемой частью многокритериального синтеза в КСДТ поэтому их необходимо ввести в курсы лекций по дисциплинам «Теоретическая механика», «Теория машин и механизмов», «Механика», «Детали машин», которые читают студентам, курсантам, магистрантам и аспирантам технических вузов.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Задачи идентификации в кинематике сложного движения точки / А. Ю. Демко и др. // Динамиката на съвременната наука – 2021 : мат. XVII междунар. научна практична конф., София, 17–25 юли 2021 г.: София, 2021. – V.3. – С. 50–53.
3. Демко, А. Ю. Задачи многокритериальной идентификации в кинематике сложного движения точки / А. Ю. Демко, О. С. Порожнюк, 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. 99–102.
4. 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. – T.2. – S. 63–66.
5. Задачи выбора в кинематике сложного движения точки / А. Ю. Демко и др. // Aplikované vědecké novinky – 2021: materiály XVIII Mezinárodní vědecko – praktická konference, Praha, 22–30 červncŭ 2021. – Praha: Publishing House «Education and Science», 2021. – V.2 – P. 118–120.

Поступила 01.02.2022

УДК 620.178; УДК 621. 81: 621 – 192; УДК 681.3.06:629.114.2

Капуста П. П.[1], Муха А. С.[2], Верес А. И.[2]

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ СБОРКИ РАМ ШАССИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ МЕТОДОМ ХОЛОДНОЙ КЛЕПКИ

1. Белорусский национальный технический университет
2. Минский автомобильный завод,
Минск, Беларусь

В статье содержатся актуальные и полезные для ознакомления специалистов сведения о технологии и оборудовании сборки рам шасси грузовых автомобилей методом холодной клепки (лонжеронов и поперечин, различных кронштейнов и др. элементов).