

Вернемся к рисунку 4, в. План ускорений будет иметь тот же вид, поэтому и соотношение для ускорений сохранится:

$$a_{B_2} = a'_k - a''_{B_2 B_1} - a^e_{B_1} \cos \gamma = 24 - 12 - 18,4 \cdot 0,96 = 5,7 \text{ м/с}^2.$$

Как видим, в этом случае ускорения толкателя в заменяющем и исходном механизмах получились одинаковыми.

Таким образом, приведенный пример показывает, что при кинематическом анализе механизмов, в которых соприкосновение тел, составляющих высшую кинематическую пару, происходит по поверхностям, необходимо учитывать перемещение точки контакта относительно обоих тел.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Артоболевский, И. И.** Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
- 2 **Артоболевский, И. И.** Сборник задач по теории механизмов и машин / И. И. Артоболевский, Б. В. Эдельштейн. – М.: Наука, 1973. – 256 с.
- 3 **Теория механизмов и машин** / К. В. Фролов [и др.]. – М.: Наука, 1987. – 496 с.
- 4 **Юдин, В. А.** Сборник задач по теории механизмов и машин / В. А. Юдин, Г. А. Барсов, Ю. Н. Чупин. – М.: Высш. шк., 1982. – 214 с.

*A. I. ZIMIN, V. V. ASEEV*

### INVESTIGATION OF THE CAM MECHANISM MOTION

The kinematics of the cam mechanism with flat tappet is considered in the paper. The calculation for the pusher velocity and acceleration in the original and replacement mechanisms is presented.

Получено 20.03.2014

---

ISSN 2227-1104. Механика. Научные исследования  
и учебно-методические разработки. Вып. 8. Гомель, 2014

---

УДК 531.1:534

*Д. В. КОМНАТНЫЙ*

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого,  
Беларусь*

### МЕЖПРЕДМЕТНЫЕ СВЯЗИ В КУРСЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ»

Предлагается для улучшения подготовки инженеров-электромехаников использовать межпредметные связи между теоретической механикой и теорией электрических цепей. Рассмотрены задачи механики, решение которых может проводиться методами теории цепей. Указанные задачи имеют практическое значение для освоения начал виброзащитной техники. Обоснована методическая польза таких межпредметных связей.

Основной задачей, стоящей перед высшей школой на современном этапе, является повышение качества подготовки будущих инженеров, в том числе и по дисциплине «теоретическая механика». Особенностью этого курса для студентов специальности «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» является небольшой объем по сравнению с другими специальностями. Но роль рассматриваемой дисциплины в формировании будущего работника железнодорожного транспорта от этого вовсе не снижается, поскольку системы железнодорожной автоматики обеспечивают безопасность движения поездов. Следовательно, они должны обслуживаться персоналом высокой квалификации, подготовить который без знания теоретической механики представляется невозможным.

При разработке способов улучшения преподавания механики следует обратить внимание на то обстоятельство, что учебные программы рассматриваемых специалистов предусматривают изучение теории электрических цепей в течение пяти семестров. Опыт работы Массачусетского технологического университета [1], показывает, что учет межпредметных связей теории электрических цепей и теоретической механики позволяет существенно обогатить курс последней. При этом различные математические методы, уже известные из курса теории цепей или изучаемые параллельно, с успехом применяются для решения задач механики. Кроме того, как видно из [2], эти методы можно использовать для решения задач, имеющих практическую составляющую, а именно связанных с вопросами виброзащиты, которая является актуальной проблемой для микропроцессорных и микроэлектронных систем автоматики и телемеханики [3]. В этой области существует огромное количество исследований [4], но их результаты не включены в программу подготовки инженеров-электромехаников. Поэтому изучение некоторых вопросов из этой области в курсе теоретической механики представляется оправданным и целесообразным.

В представленной работе для развития межпредметных связей студентам-электромеханикам предлагается три примера, расположение которых соответствует порядку изучения разделов теории электрических цепей.

Сначала рассмотрим методику анализа сложных колебательных систем методом электромеханической аналогии [2]. Механическая система в составе некоторого устройства, упруго связанного с поглощающим элементом для защиты от нежелательных колебаний, показана на рисунке 1, *а*. Она приводится к модели на рисунке 1, *б* путем использования понятий о соединении в узел и соединении в цепочку элементов колебательной системы.

Соединение, в котором скорость одного элемента равна скорости всех тел системы, а действующая на систему сила равна сумме сил, приложенных к каждому элементу, является соединением в узел. Соединение, в котором скорость определяется как сумма скоростей элементов, а сила, приложенная к каждому элементу, равна силе, действующей на всю систему, является соединением в цепочку. Названным моделям ставится в соответствие электрическая

цепь-аналог (рисунок 1, в), для которой соединению в узел соответствует последовательное, а соединению в цепочку – параллельное соединение элементов электрической цепи. Имеется прямая аналогия между элементами механической и электрической цепи: вынуждающей силе соответствует напряжение питания, скорости – электрический ток, массе – индуктивность, коэффициенту затухания – сопротивление, коэффициенту жесткости – емкость [2].

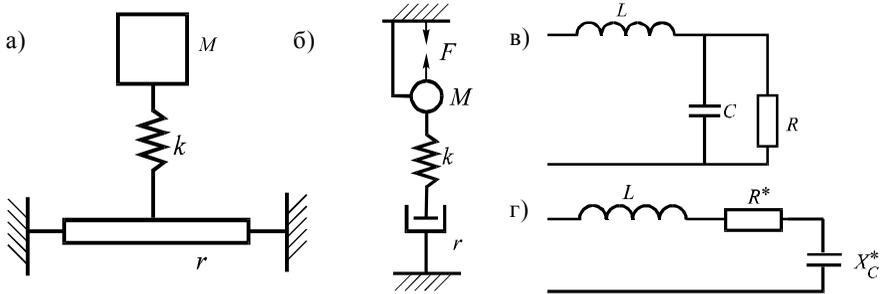


Рисунок 1 – Колебательная система для анализа методом электромеханической аналогии: а – конструкция системы; б – механическая модель; в – электрическая цепь-аналог; з – преобразованная электрическая цепь

По этой аналогии амплитуда тока на входе электрической цепи соответствует амплитуде скорости устройства. Найти ее можно путем эквивалентного преобразования электрической цепи, изображенной на рисунке 1, в, которое хорошо известно в теории цепей [5]. Результат преобразования показан на рисунке 1, з, а ее параметры:

$$R^* = \frac{X_C^2 R}{R^2 + X_C^2}; X_C^* = \frac{X_C R^2}{R^2 + X_C^2}, \quad (1)$$

где  $X_C$  – емкостное сопротивление, Ом.

Тогда полное сопротивление цепи (рисунок 1, з)

$$Z = \sqrt{R^{*2} + (\omega L - X_C^*)^2} = \frac{\sqrt{X_C^4 R^2 + (\omega L(R^2 + X_C^2) - X_C R^2)^2}}{R^2 + X_C^2}. \quad (2)$$

Амплитуда входного тока (аналог амплитуды скорости устройства), по известным соотношениям для простейшего последовательного  $RLC$  контура [5] находится по формуле

$$I_m = \frac{U_m (R^2 + X_C^2)}{\sqrt{X_C^4 R^2 + (\omega L(R^2 + X_C^2) - X_C R^2)^2}}, \quad (3)$$

где  $U_m$  – амплитуда питающего напряжения, Вт;  $\omega$  – круговая частота вынуждающей силы, рад/с.

Резонанс возникнет при равенстве реактивных сопротивлений в схеме на рисунке 1,  $\omega$ , что после преобразований дает формулу частоты

$$\omega_p^2 = \frac{R^2 C - L}{LR^2 C^2}. \quad (4)$$

Более сложные колебательные системы могут анализироваться описанным методом численно.

Вторым рассмотрим пример о воздействии несинусоидальной периодической силы на динамическую систему, показанную на рисунке 2 [1]. Для нее уравнение, описывающее движение тела массы  $m$ , имеет вид

$$\ddot{x} + 2\delta\omega_0\dot{x} + \omega_0^2 x = F(t), \quad (5)$$

где 
$$\delta = \frac{r}{\sqrt{4km}}, \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

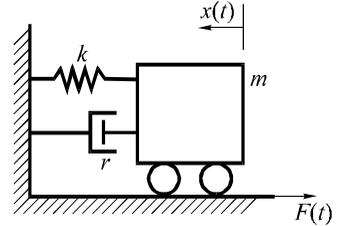


Рисунок 2 – Динамическая система под действием несинусоидальной силы

Аналогичное уравнение описывает электромагнитные процессы в простейшем последовательном  $RLC$  контуре под действием несинусоидальной периодической ЭДС. После разложения силы  $F(t)$  в ряд Фурье легко получить выражение для координаты  $x$  в виде ряда Фурье, являющегося суперпозицией решений уравнения (5), в правую часть которого подставлены последовательно гармоники ряда для вынуждающей силы [1].

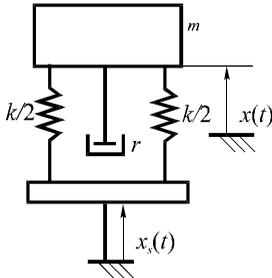


Рисунок 3 – Динамическая система, подверженная аperiодическим толчкам

Третий рассматриваемый пример связан с анализом неперiodического воздействия на динамическую систему методом операционного исчисления. Эта задача является аналогом операционного метода расчета переходных процессов в электрических цепях [5]. Например, для системы, показанной на рисунке 3, уравнение движения имеет вид [1]

$$m\ddot{x} + r\dot{x} + kx = f\dot{x}_s + kx_s. \quad (6)$$

После применения к (6) преобразования Лапласа получается алгебраическое уравнение в изображениях

$$(mp^2 + rp + k)X(p) - mx_0 p - mv_0 - fx_0 = (fp + k)X_s(p) - fx_{s0}, \quad (7)$$

где  $p$  – оператор Лапласа;  $x_0$  и  $x_{s0}$  начальные значения координат  $x$ , и  $x_s$ , м;  $v_0$  – начальное значение скорости объекта, м/с.

Решение уравнения (7) имеет вид

$$X(p) = \frac{fp + k}{mp^2 + fp + k} \left\{ X_s(p) - \frac{fx_{s0} + mx_0 p + mv_0 + fx_0}{fp + k} \right\}. \quad (8)$$

Удобно задать  $x_s(t)$  в виде биэкспоненциального импульса, изображение по Лапласу которого хорошо известно [6], поскольку, с одной стороны, он соответствует реальной технической ситуации, а с другой – не усложняет отыскание оригинала  $x(t)$ , которое может быть выполнено по известной теореме Хэвисайда [1, 6]. Названная теорема обязательно рассматривается при изучении переходных процессов в электрических цепях.

Итак, приведенные в статье задачи и методы их решения демонстрируют межпредметные связи методического и теоретического характера курсов теоретической механики и теории электрических цепей. Такие связи могут служить как обогащению курса теоретической механики, в том числе и с позиций практических приложений, так и закреплению методов, общих для этого курса и курса теории цепей. Использование описанного материала позволяет привить студентам сознательное отношение к изучаемым дисциплинам, как к целостной взаимосогласованной системе знаний. У них вырабатывается умение системно мыслить, использовать математические знания для решения сходных задач из различных областей единым методом, развиваются навыки творческого подхода к анализу новых проблем.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 **Бессонов, Л. А.** Теоретические основы электротехники. Электрические цепи / Л. А. Бессонов. – М.: Высшая школа, 1978. – 528 с.
- 2 **Елисеев, С. В.** Мехатронные подходы в динамике механических колебательных систем / С. В. Елисеев, Ю. Н. Резник, А. П. Хоменко. – Новосибирск: Наука, 2011. – 394 с.
- 3 **Лепендин, Л. Ф.** Акустика / Л. Ф. Лепендин. – М.: Высшая школа, 1978. – 449 с.
- 4 **Преснухин, Л. И.** Конструирование электронных вычислительных машин и систем / Л. И. Преснухин, В. Л. Шахнов. – М.: Высшая школа, 1986. – 512 с.
- 5 **Халфман, Р. Л.** Динамика / Р. Л. Халфман. – М.: Наука, 1972. – 568 с.
- 6 **Шостак, Р. Я.** Операционное исчисление / Р. Я. Шостак. – М.: Высшая школа, 1972. – 279 с.

*D. V. KOMNATNY*

#### **INTERSUBJECT CONNECTIONS IN THEORETICAL MECHANICS COURSE FOR SPECIALITY “RAILWAY AUTOMATICS, TELEMCHANICS AND COMMUNICATION”**

To improve the level of electrical-mechanical engineers it is proposed to use intersubject connections between theoretical mechanics and the theory of electrical circuits. The mechanical problems, which can be solved by circuit theory methods, are considered. Mentioned problems are of practical importance for the vibration-proof technology studying. The methodical benefits of such intersubject connections are proved.

Получено 04.02.2014