

УДК 531.1

*Н. К. ПАПУШИНА, Е. В. ДАНИЛОВА*

*Сибирский государственный аэрокосмический университет  
им. академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия*

## **ГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОЗВЕННОГО МЕХАНИЗМА В ФОРМИРОВАНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ НАВЫКОВ ИНЖЕНЕРА**

При изучении курса теоретической механики задача исследования и расчета работы механизмов выделяется как основная в подготовке специалистов инженерного профиля.

Теоретическая механика является одной из важнейших фундаментальных дисциплин. Она развивает как общенаучную, так и общеинженерную базу при подготовке специалистов в области авиационной и ракетно-космической техники. Изучение теоретической механики дает фундаментальные знания, на основе которых будущий специалист сможет самостоятельно овладеть новой информацией, с которой ему придется столкнуться в производственной и научной деятельности.

Эффективной формой подготовки специалистов аэрокосмического профиля являются исследования и расчеты работы различных механизмов. Кинематические исследования механизмов проводят аналитическим или графическим методами. Основным преимуществом графических методов по сравнению с аналитическими является их наглядность. В представленной работе рассматривается методика решения задачи об кинематическом анализе плоского шарнирно-рычажного механизма с помощью планов скоростей и мгновенных центров скоростей (МЦС).

В качестве примера исследуем многозвенный механизм (рисунок 1) с заданными параметрами: кривошип  $O_1A$  вращается с постоянной угловой скоростью  $\omega_{O_1A} = 2$  рад/с;  $O_1A = 15$  см;  $O_2D = 45$  см;  $AB = 78$  см;  $BC = 39$  см;  $CD = 26$  см;  $CE = 52$  см;  $EF = 38$  см;  $h = 46$  см;  $\varphi = 115^\circ$  [2].

Определение скоростей точек и угловых скоростей звеньев механизма с помощью плана скоростей включает следующие стадии [1]:

- 1 Строим схему механизма в выбранном масштабе (см. рисунок 1).
- 2 Вычислим модуль скорости точки  $A$  кривошипа  $O_1A$ :

$$v_A = \omega_{O_1A} \cdot O_1A = 2 \cdot 15 = 30 \text{ см/с.}$$

3 Из произвольно выбранного центра  $p$  проводим отрезок произвольной длины ( $pa = 24$  мм), изображающий скорость точки  $A$ . Отсюда определим масштаб плана скоростей.

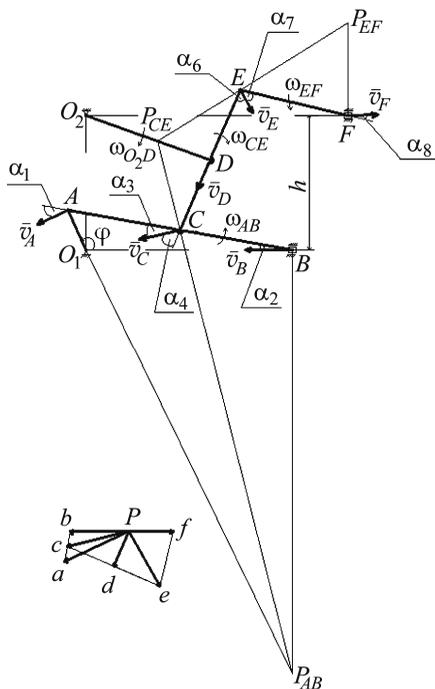


Рисунок 1 – Планы механизма и скоростей

Нахождение скоростей точек и угловых скоростей звеньев механизма с помощью МЦС [2] выполняется следующим образом.

Мгновенный центр скоростей  $P_{AB}$  звена  $AB$  находится как точка пересечения перпендикуляров, проведенных из точек  $A$  и  $B$  к их скоростям (см. рисунок 1). Аналогично определяем положения МЦС звеньев  $CE$  ( $P_{CE}$ ) и  $EF$  ( $P_{EF}$ ). Скорости точек механизма определим, зная, что они пропорциональны расстояниям от них до мгновенных центров скоростей:

$$\frac{v_A}{AP_{AB}} = \frac{v_B}{BP_{AB}} = \frac{v_C}{CP_{AB}}.$$

Используя аналогичные формулы, находим скорости точек звеньев  $CE$  и  $EF$ . Вычислим угловые скорости звеньев механизма:

$$\omega_{AB} = \frac{v_A}{AP_{AB}} = \frac{30}{175,9} = 0,171 \text{ с}^{-1}.$$

Аналогично определяем угловые скорости звеньев  $CE$ ,  $EF$  и  $O_2D$ .

С целью сравнения полученных результатов данные, полученные при расчетах двумя способами, а также расчет погрешностей заносим в таблицы 1, 2.

4 Определим скорость точки  $B$ . Точка  $B$  принадлежит шатуну  $AB$ , совершающему плоскопараллельное движение, и ползуну  $B$ , имеющему поступательное движение. Векторное уравнение будет представлено в следующем виде:

$$\bar{v}_B = \bar{v}_A + \bar{v}_{BA}.$$

Решаем его графически.

5 Скорость точки  $C$  определим, используя правило подобия:  $AC/AB = ac/ab$ . По условию задачи точка  $C$  делит звено  $AB$  пополам, поэтому на плане скоростей точка  $c$  находится посередине отрезка  $ab$ . Соединив точку  $c$  с полюсом, получим вектор скорости точки  $C$ .

6 Угловую скорость звена  $AB$  находим по формуле

$$\omega_{AB} = v_{BA}/AB.$$

7 Аналогично продолжая построение, далее находим  $v_C$ ,  $v_D$ ,  $v_E$ ,  $v_F$ ,  $\omega_{CE}$ ,  $\omega_{DO_2}$ ,  $\omega_{EF}$ .

Таблица 1 – Скорости точек механизма

Способ определения	Скорость точек, см/с					
	$v_A$	$v_B$	$v_C$	$v_D$	$v_E$	$v_F$
Метод плана скоростей	30	25	26,8	16,1	26,8	18,7
С помощью МЦС	30	24,7	26,6	16,2	26,6	19,1
Погрешность $\delta$ , %	0	1,2	0,7	0,6	0,7	2,1

Таблица 2 – Угловые скорости звеньев механизма

Способ определения	Угловые скорости звеньев, $c^{-1}$			
	$\omega_{AB}$	$\omega_{CE}$	$\omega_{DO_2}$	$\omega_{EF}$
Метод плана скоростей	30	25	26,8	16,1
С помощью МЦС	30	24,7	26,6	16,2
Погрешность $\delta$ , %	0	1,2	0,7	0,6

Погрешности рассчитаны по формулам вида  $\delta = \frac{v_B - v'_B}{v_B} \cdot 100\%$ , где

$v_B$  – скорость точки  $B$ , найденная методом плана скоростей;  $v'_B$  – скорость той же точки при определении с помощью МЦС.

Проверим полученные результаты, используя метод проекций.

Измерив соответствующие углы, найдем:

$$v_A \cdot \cos 35^\circ = v_B \cdot \cos 10^\circ = v_C \cdot \cos 23^\circ, \quad 24,57 = 24,62 = 24,66;$$

$$v_C \cdot \cos 53^\circ = v_D \cdot \cos 0^\circ = v_E \cdot \cos 53^\circ, \quad 16,13 = 16,10 = 16,13;$$

$$v_E \cdot \cos 47^\circ = v_F \cdot \cos 13^\circ, \quad 18,28 = 18,22.$$

Комплексное использование графических методов планов скоростей и мгновенных центров скоростей при кинематическом анализе многосвязных механизмов способствует более полному освоению студентами методов инженерных расчетов, находящих практическое применение в производстве.

Предложенный подход позволяет также лучше подготовить студентов к изучению дисциплины «Теория машин и механизмов». Таким образом, исследования и расчеты работы механизмов по курсу теоретической механики являются одним из важных путей формирования профессиональных навыков будущих специалистов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Назарова Л. П. Теоретическая механика в примерах и задачах. Кинематика: учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 1. / Л. П. Назарова, А. С. Зотова, А. В. Зотов. – Красноярск, 2002. – 112 с.

2 Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике: учеб. пособие для техн. вузов / А. А. Яблонский [и др.]; под ред. А. А. Яблонского. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1985. – 367 с.

*N. K. PAPUSHINA, E. V. DANILOVA*

## **GRAPHICAL RESEARCH METHODS FOR MULTILINK MECHANISM IN TRAINING THE PROFESSIONAL SKILLS OF AN ENGINEER**

During the process of studying the mechanical engineering course such tasks as research and computation of mechanisms operation are considered to be of main priority in the training course of engineering specialists.

Получено 28.04.2011

**ISSN 2227-1104. Механика. Научные исследования  
и учебно-методические разработки. Вып. 6. Гомель, 2012**

---

УДК 531.132: 532.5.01

*А. В. ПЕРИГ<sup>1</sup>, Н. Н. ГОЛОДЕНКО<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Донбасская государственная машиностроительная академия,  
Краматорск, Украина*

<sup>2</sup> *Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
Макеевка, Украина*

### **ЭЛЕМЕНТЫ ДИНАМИКИ ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ В КУРСЕ МЕХАНИКИ ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ-ХИМИКОВ**

В рамках разработки учебного программного обеспечения для курса классической механики предложен и практически реализован быстрый алгоритм численного конечноразностного решения краевых задач для уравнений Навье-Стокса в форме уравнений переноса вихря, описывающих установившиеся плоские течения вязких несжимаемых ньютоновских жидкостей в составных переходных коленах трубопроводов простой геометрии.

К настоящему времени в ряде классических [1–2] и современных [3–8] курсов теоретической механики сформировался подход к одновременному изложению основных разделов динамики систем материальных точек и сплошных сред. Такое параллельное изложение целесообразно во втузах на фоне непрерывного сокращения аудиторных часов на изучение курсов высшей математики и технической механики. Поскольку основы тензорного и вариационного исчисления [7–8], теории управляемых движений, а также решение уравнений в частных производных [9] выходят за рамки курса теоретической механики во втузах, то эффективное изложение элементов динамики вязких жидкостей требует разработки соответствующего свободного программного обеспечения для иллюстрации излагаемых вопросов. Специфика построения курса механики для инженеров-химиков состоит в необходимости изложения разделов динамики системы как введения в курсы рео-