

На третьому етапі треба навчитися додаванню нових методів. На цієї стадії треба запропонувати частково реалізовані проекти, які треба розширити або доповнити певним чином. Ці розширення включають додавання нових методів, а також модифікацію існуючих.

Наступним кроком є створення проекту, у якому треба додавати класи (знову ж у рамках існуючого проекту). Вносити зміни в більшість (але не усі) існуючих класів, але треба розуміти виконувані дії.

Останнім етапом є проект, у якому створюються цілі додатки з нуля. Цього разу, дається тільки короткий опис завдання, і студентів треба пройти весь процес розвитку, у тому числі класу конструкції. Майже всі об'єкти, необхідні в завданні відповідають об'єктам у реальному світі.

**Висновки.** В процесі навчання об'єктно-орієнтованому програмуванню й проектуванню за допомогою пакету BlueJ у студентів повинні сформуватися такі знання:

здатність використовувати засоби об'єктно-орієнтованого проектування;

спроможність вирішувати сюжетні завдання й завдання, котрі мають об'єкти, прототипами яких є реально існуючі об'єкти;

вивчити на практиці переваги об'єктно-орієнтованого програмування й проектування.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Електронний ресурс [www.bluej.org](http://www.bluej.org)

УДК 621.01

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ПЛОСКИХ МЕХАНИЗМОВ В ПРОГРАММЕ MATHCAD С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛОГОВ СКОРОСТЕЙ И УСКОРЕНИЙ

И.Н. Мацюк<sup>1</sup>, Э.М. Шляхов<sup>2</sup>, Н.В. Зима<sup>3</sup>

<sup>1</sup>кандидат технических наук, доцент кафедры основ конструирования механизмов и машин, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [shlyahove@nmu.org.ua](mailto:shlyahove@nmu.org.ua)

<sup>2</sup>доцент кафедры основ конструирования механизмов и машин, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина

<sup>3</sup>инженер, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина

**Аннотация.** Рассмотрено исследование кинематики плоского механизма второго класса в программе Mathcad с использованием аналогов скоростей и ускорений на ос-



нове представления векторов комплексными числами. Прием рекомендуется к использованию в учебной работе при выполнении студентами домашних заданий и курсовых проектов по ТММ.

*Ключевые слова: Mathcad, плоский механизм, кинематика, вектор, комплексное число, аналог скорости и ускорения.*

## KINEMATIC RESEARCH OF 2D MECHANISMS IN MATHCAD PROGRAM USING ANALOGUES OF VELOCITY AND ACCELERATION

I.N. Matsyuk<sup>1</sup>, E.M. Shlyahov<sup>2</sup>, N.V. Zima<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D., Associate Professor of Machinery Design Bases Department, State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: [shlyahove@nmu.org.ua](mailto:shlyahove@nmu.org.ua)

<sup>2</sup>Associate Professor of Machinery Design Bases Department, State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine

<sup>3</sup>Engineer, State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine

**Abstract.** The kinematics of the second class planar mechanism in the program Mathcad is researched using analogues of velocity and acceleration. The method is based on vectors, which are represented as complex numbers in exponential form. The approach is recommended to apply during student's homework and projects of Theory of Mechanisms and Machines course.

*Keywords: Mathcad, flat rod mechanisms, kinematics, vector, complex number.*

**Введение.** Использование комплексных чисел для решения задач механики и, в частности, для исследования механизмов известно давно и достаточно широко представлено в мировой учебной и научной литературе [1-2].

Возрождение интереса к данному приему обусловлено появлением мощных компьютерных математических программ (Maple, Mathcad, Mathematica), в которых имеется возможность оперировать с комплексными числами.

Основной областью применения теории комплексных чисел при изучении механизмов является кинематика. В [3], например, показано решение задач кинематики для плоского шарнирного четырехзвенника на основе представления векторов комплексными числами.

Одним из способов аналитического исследования кинематики механизмов является использование аналогов скоростей и ускорений [4].

Как известно, аналоги скоростей легко найти, продифференцировав по обобщенной координате уравнения геометрических связей механизма.

Причем, векторные уравнения геометрических связей лучше всего записывать, используя векторы, представленные в виде комплексных чисел в показательной форме.

Запись векторных уравнений с использованием показательной формы комплексного числа минимизирует программу вычислений, поскольку число уравнений минимально.

Широко применяемая в настоящее время для исследования механизмов программа Mathcad [5-8], имеет достаточно мощный аппарат для операций нахождения аналогов скоростей и ускорений плоских рычажных механизмов с помощью комплексных чисел и с успехом может быть использована в данном контексте.

**Цель работы.** Показать, что представление векторов комплексными числами для исследования кинематики плоских механизмов с помощью аналогов скоростей и ускорений обладает определенными преимуществами по сравнению с другими способами решения этой задачи.

**Материал и результаты исследований.** Итак, покажем определение аналогов скоростей и ускорений на примере плоского стержневого четырехзвенника, кинематика которого уже была рассмотрена ранее в [3]. Схема механизма изображена на рис. 1, а. Размеры звеньев:  $l_{AB} = 0,1 \text{ м}$ ;  $l_{BC} = 0,3 \text{ м}$ ;  $l_{CD} = 0,25 \text{ м}$ ;  $l_{AD} = 0,2 \text{ м}$ . Кривошип вращается с постоянной угловой скоростью  $\omega_1 = -10 \text{ с}^{-1}$ . Векторная интерпретация звеньев механизма представлена на рис. 1, б.

В результате решения векторного уравнения замкнутости для контура ABCDA механизма в [3] для  $\varphi_1 = 30^\circ$  были получены следующие значения углов

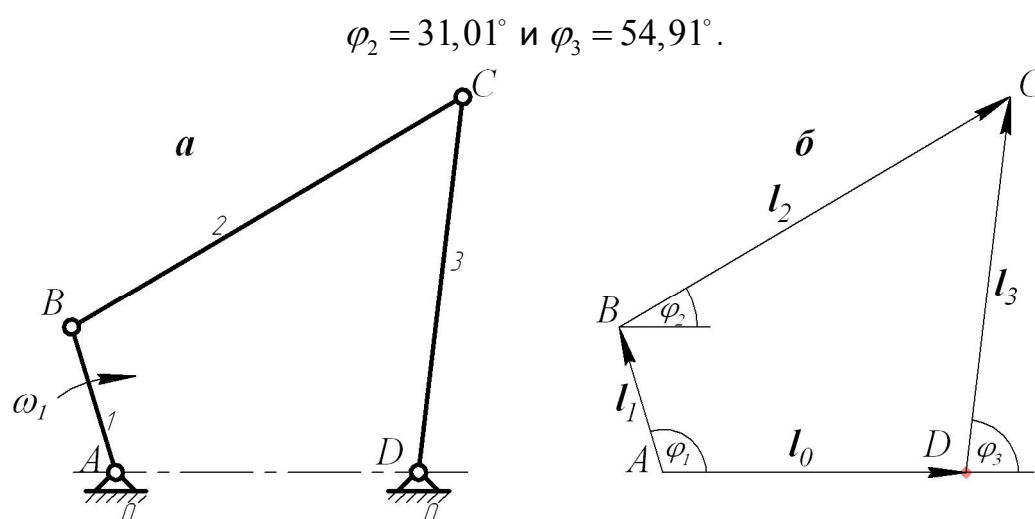


Рис. 1. – Шарнирный четырехзвенник: а – схема; б – векторная интерпретация звеньев механизма

Дважды продифференцируем уравнение замкнутости по углу поворота кривошипа АВ и найдем аналоги угловых скоростей и ускорений звеньев 2 и 3.

$$\omega_1 := -10 \quad \omega_{2a} := 10 \quad \omega_{3a} := 10 \quad \varepsilon_{2a} := 10 \quad \varepsilon_{3a} := 10$$

Given

$$i \cdot l_1 \cdot \exp(i \cdot \phi_1) + i \cdot \omega_{2a} \cdot l_2 \cdot \exp(i \cdot \phi_2) = i \cdot \omega_{3a} \cdot l_3 \cdot \exp(i \cdot \phi_3)$$

$$-l_1 \cdot \exp(i \cdot \phi_1) + i \cdot l_2 \cdot \varepsilon_{2a} \cdot \exp(i \cdot \phi_2) - l_2 \cdot \omega_{2a}^2 \cdot \exp(i \cdot \phi_2) - i \cdot l_3 \cdot \varepsilon_{3a} \cdot \exp(i \cdot \phi_3) \dots = 0$$

$$+ l_3 \cdot \omega_{3a}^2 \cdot \exp(i \cdot \phi_3)$$

$$\begin{pmatrix} \omega_{2a} & \omega_{3a} \\ \varepsilon_{2a} & \varepsilon_{3a} \end{pmatrix} := \text{Find} \begin{pmatrix} \omega_{2a} & \omega_{3a} \\ \varepsilon_{2a} & \varepsilon_{3a} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_{2a} & \omega_{3a} \\ \varepsilon_{2a} & \varepsilon_{3a} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.347 & -0.017 \\ 1.017 & 1.342 \end{pmatrix}$$

Угловые скорости и ускорения звеньев

$$\omega_2 := \omega_1 \cdot \omega_{2a} \quad \omega_2 = 3.465$$

$$\omega_3 := \omega_1 \cdot \omega_{3a} \quad \omega_3 = 0.174$$

$$\varepsilon_2 := \omega_1^2 \cdot \varepsilon_{2a} \quad \varepsilon_2 = 101.7$$

$$\varepsilon_3 := \omega_1^2 \cdot \varepsilon_{3a} \quad \varepsilon_3 = 134.2$$

Аналоги линейных скоростей точек механизма.

$$v_{Ba} := i \cdot l_1 \cdot \exp(i \cdot \phi_1) \quad v_{Ba} = -0.05 + 0.087i$$

$$v_{Ca} := i \cdot \omega_{3a} \cdot l_3 \cdot \exp(i \cdot \phi_3) \quad v_{Ca} = 0.004 - 0.003i$$

Скорости точек В и С

$$v_B := \omega_1 \cdot v_{Ba} \quad v_B = 0.5 - 0.866i$$

$$v_C := \omega_1 \cdot v_{Ca} \quad v_C = -0.036 + 0.025i$$

Аналоги линейных ускорений точек механизма

$$a_{Ba} := -l_1 \cdot \exp(i \cdot \phi_1) \quad a_{Ba} = -0.087 - 0.05i$$

$$a_{Ca} := i \cdot l_3 \cdot \varepsilon_{3a} \cdot \exp(i \cdot \phi_3) - l_3 \cdot \omega_{3a}^2 \cdot \exp(i \cdot \phi_3)$$

$$a_{Ca} = -0.275 + 0.193i$$

Ускорения точек В и С

$$a_B := \omega_1^2 \cdot a_{Ba} \quad a_B = -8.66 - 5i$$

$$a_C := \omega_1^2 \cdot a_{Ca} \quad a_C = -27.462 + 19.287i$$

Аналогичным образом можно найти скорости и ускорения любых точек звеньев механизма. Кроме этого, аналоги скоростей непосредственно фигурируют в формулах для определения приведенных параметров динамической модели механизма. И, наконец, используя аналоги скоростей можно легко определять численные значения возможных перемещений точек и звеньев механизма при применении принципа Лагранжа.

**Вывод.** Использование теории комплексных чисел для определения аналогов скоростей и ускорений плоских векторов при кинематическом анализе плоских механизмов и наличие в программе Mathcad соответствующих функций для работы с такими векторами позволяет минимизировать объем необходимых вычислений по сравнению с другими способами решения этой задачи. В связи с этим рекомендуется использовать данный метод при выполнении студентами индивидуальных заданий и курсовых проектов по теории механизмов и машин.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Подольский М.Е. О применении комплексных чисел к изучению плоского движения твердого тела // Труды Ленинградского кораблестроительного института. – Л., 1954. – Вып. XIII. С. 213-218.
2. Kinematics and dynamics of machines by Martin, George Henry, New York, McGraw-Hill, 1969.
3. И.Н. Мацюк, Э.М. Шляхов, Н.В. Зима Кинематика плоских механизмов в программе Mathcad с использованием теории комплексных чисел // Сборник научных трудов международной конференции «Развитие информационно-ресурсного обеспечения образования и науки в горно-металлургической отрасли и на транспорте». Д.: НГУ, 2014. – С. 407-412.
4. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин: Учеб. для вузов. - 4-е изд., перераб. и доп. -М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. -640 с.
5. Бертяев В.Д. Теоретическая механика на базе Mathcad. Практикум. – СПб.: БХВ- Петербург, 2005. – 752 с.
6. Третьяков В.М. Использование программы Mathcad при определении скоростей и ускорений рычажных механизмов. Теория механизмов и машин. – Санкт-Петербург. – 2009. – № 14. Том 7. С. 40-48.
7. ТММ. Розрахунок плоских механізмів з використанням ПЕОМ. Навчальний посібник / Ф.Й. Златопольський, Г.Б. Філімоніхін, В.В. Коваленко, О.Б. Чайковський. – Кіровоград: ПП «КОД», 2000. – 124 с.
8. Мацюк И.Н., Третьяков В.М., Шляхов Э.М. Аналитическая кинематика плоских рычажных механизмов высоких классов с помощью программы Mathcad. Теория механизмов и машин. – Санкт-Петербург. – 2012. – № 1. Том 10. – С. 65-70.