

УДК 621.11

А.В. Силивонюк

Луцький національний технічний університет

**ЗАСТОСУВАННЯ SOLIDWORKS MOTION ПРИ ВИВЧЕНІ ДИСЦИПЛІНИ
ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ МАШИН**

Показані переваги щодо використання системи автоматичного проектування SolidWorks із додатком SolidWorks Motion при виконанні курсового проекту із дисципліни теорія механізмів машин. Наведено результати комп'ютерного моделювання шарнірно-важільного механізму в додатку SolidWorks Motion.

Ключові слова: теорія механізмів машин, ланка, кінематична пара, SolidWorks Motion.

А.В. Сыльвонюк

Луцкий национальный технический университет

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SOLIDWORKS MOTION ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ
ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ МАШИН**

Показаны преимущества по использованию системы автоматизированного проектирования SolidWorks с приложением SolidWorks Motion при выполнении курсового проекта по дисциплине теория механизмов машин. Приводятся результаты компьютерного моделирования шарнирно-рычажного механизма в приложении SolidWorks Motion.

Ключевые слова: теория механизмов машин, ланка, кинематическая пара, SolidWorks Motion.

Sylyvonyuk A.V.

Lutsk National Technical University

**SOLIDWORKS MOTION APPLICATION AT THE STUDY OF COURSE
THEORY OF MACHINES MECHANISMS**

In the process of implementation a course project for the discipline Theory of machines mechanisms, the student must do a number of sections. Most often, at the kinematic analysis of mechanisms, plans method is used. In the first section are determined the position and moving links of the mechanism according to specification. Mechanism position plan is called a scheme of the mechanism, which fixes a certain position of driving link and related positions of all other links of the mechanism. In a process of positions plan construction is determined geometrical place of kinematic pairs of the mechanism. Then we can define the geometric position of mechanism links.

To determine the speed of the mechanism links, speeds plan is used. Speeds plan of a mechanism is called a vector diagram, which shows the segments as vectors equal by modulus and direction with speeds of the different points of the mechanism links in a given time. Speeds plans construction is based on consecutive assembly of vector equations for all groups belonging to the mechanism, starting from driving link. First we need to choose a common point of the two links and record for it two equations to determine its speed. To determine the complete picture of the speed of any link included in the group, enough to know the linear speed of two points of this link or a linear speed of one point and angular speed of this link.

The most promising software in studying the discipline Theory of machines mechanisms is the use of the automatic design program SolidWorks with the SolidWorks Motion addition. The main purpose of this application - a spatial movements modeling of solid Machines at the stage of engineering design, using the laws of theoretical mechanics. SolidWorks Motion allows to solve statics, kinematics and multilink mechanisms dynamic spatial tasks.

Keywords: Theory of Machines Mechanisms, kinematic pairs, links, SolidWorks Motion.

Постановка проблеми. На сучасному етапі стрімкого розвитку комп'ютерної техніки ринок пропонує великий набір різноманітного програмного забезпечення для віртуального моделювання електричних і механічних систем, які все більше стають наближеними до реальних. Процесом моделювання займаються переважно науково-дослідні інститути, університети. У процесі аналітичного дослідження складних об'єктів доводиться нехтувати багатьма параметрами системи, які, безумовно, впливають на достовірність результатів дослідження. Комп'ютерне моделювання дозволяє підібрати параметри системи таким чином, щоб можна було б отримати оптимальну модель будь-якої системи.

Найбільш перспективним програмним забезпеченням під час вивчення дисципліни теорія механізмів машин є використання системи автоматичного проектування (САПР) SolidWorks із додатком SolidWorks Motion. Основне призначення даного додатка – це моделювання просторових рухів твердотільних машин і механізмів на стадії інженерного проектування з використанням законів теоретичної механіки. SolidWorks Motion дозволяє вирішувати просторові завдання статички, кінематики і динаміки багатоланкових механізмів.

До переваг реалізації моделювання механічних систем за допомогою SolidWorks Motion можуть бути віднесені: простота створення моделей не дуже підготовленими користувачами, що актуально для студентів; висока швидкість обчислень при моделюванні рухів багатоланкових

механізмів із великою кількістю кінематичних пар. У якості механічних параметрів виступають масо-інерційні властивості тіл (ланок механізмів), які безпосередньо створені SolidWorks, координати характерних точок (такі, як центри мас, точки прикладання зовнішніх і керуючих сил, точки приспінання шарнірів. Механічні системи, створені за допомогою технічних можливостей SolidWorks, можуть складатися з будь-якої кількості ланок механізмів, з'єднаних шарнірами і можуть здійснювати поєднання поступальних і обертальних рухів в кінематичні пари.

Програма дозволяє розмістити двигуни і приводи в механізмі, визначити енергоспоживання, розраховувати кулачки, зубчасті передачі, розміри пружин і амортизаторів, а також визначити, як контактують частини між собою. Володіючи такою інформацією, можна отримати уявлення про те, як працює механізм без виготовлення фізичного прототипу. Тим самим можна змінити конструктив механізму і досягти кращих результатів, використовуючи більш зручні і менш дорогі віртуальні прототипи. У довгостроковій перспективі, використовуючи інструменти для віртуального прототипування, такі як SolidWorks Motion, можна отримати більший досвід і стати компетентнішим інженером-конструктором.

Аналіз відомих досліджень та публікацій. Курс теорії механізмів машин є з'єднуваною ланкою між циклом загальнонаукових дисциплін та циклом спеціальних дисциплін, в яких вивчають машини та прилади окремих галузей техніки [1–5]. Дисципліна є основною для вивчення курсів деталей машин, основ конструювання машин, підйимально-транспортних пристроїв, курсів розрахунку і конструюванні окремих видів машин залежно від спеціальності, за якою проводиться підготовка майбутнього інженера. Найбільш складним розділом при виконанні курсового проекту вважається кінематичне дослідження шарнірно-важільних механізмів. В даному розділі студент має визначити положення, кутові швидкості і пришвидшення ланок механізму. Ці параметри можна знайти аналітичним методом, методом побудови кінематичних діаграм для досліджуваної точки або ланки, а також методом побудови планів швидкостей та прискорень [5]. Одна існує ще один сучасний метод кінематичного дослідження шарнірно-важільних механізмів – віртуальне прототипування [6–9].

Метод планів. У процесі виконання курсового проекту із дисципліни теорія механізмів машин, студенту потрібно виконати ряд розділів. Найчастіше, при кінематичному аналізі механізмів, застосовують метод планів [1–5]. У першому розділі визначають положення і переміщення ланок механізму згідно з визначеним технічним завданням. Планом положень механізму називається схема механізму, на якій зафіксоване певне положення ведучої ланки та пов'язані з ним положення всіх інших ланок механізму. В процесі побудови плану положень визначається геометричне місце кінематичних пар механізму. Після чого можна визначити геометричне положення ланок механізму. Найчастіше студенти виконують побудову дванадцяти положень механізму. При кресленні плану положень механізму необхідно застосовувати масштаби.

Для визначення швидкостей ланок механізму користуються планом швидкостей, яким називають векторну діаграму, на якій зображені у вигляді відрізків вектори, однакові за модулем і напрямком з швидкостями різних точок ланок механізму в даний момент часу. Побудова планів швидкостей проводиться на основі послідовного складання векторних рівнянь для всіх груп, що входять до складу механізму, починаючи із ведучої ланки. Спочатку потрібно вибрати загальну для двох ланок точку та записати для неї два рівняння для визначення її швидкості. Для визначення повної картини швидкостей будь-якої ланки, що входить у групу, досить знати лінійну швидкість двох точок цієї ланки або лінійну швидкість однієї точки й кутову швидкість ланки. План швидкостей будується для дванадцяти положень механізму.

У разі визначення пришвидшення ланок механізму користуються планом прискорень, яким називають векторну діаграму, на якій зображені у вигляді відрізків вектори, однакові за модулем й напрямком із прискореннями різних точок ланок механізму в даний момент часу. Вихідними даними для побудови плану прискорень являються план положень і план швидкостей. План прискорень будується для двох заданих, згідно з технічним завданням, положень механізму.

Головним недоліком графічних методів дослідження механізмів, у порівнянні з аналітичними, вважається недостатня точність результатів дослідження, яка пов'язана з необхідністю виконувати певні графічні побудови. Серед переваг графічних методів аналізу механізмів наводять відносну простоту та наочність отриманих результатів, що так само пов'язано з необхідністю графічного відображення результатів дослідження.

У сучасних умовах розвитку комп'ютерної техніки студенти майже не обмежені в можливості використання програм, що дозволяють робити графічні побудови з будь-якою наперед

заданою точністю, тому недоліки графічних способів дослідження у відношенні до аналогічних аналітичних можна вважати умовними, а перевагою таких методів є, в першу чергу, простота цих досліджень та можливість їх спрощення за рахунок можливих додаткових графічних побудов, які встановлюють взаємозв'язок між кінематичними та структурними параметрами механізму. Особливо це стосується механізмів вищих класів, до складу яких надходять структурні групи з кількістю ланок чотири та більше. Аналітичне кінематичне дослідження таких механізмів виконують методом замкнених векторних контурів [1–5], що дозволяє скласти систему тригонометричних рівнянь, які диференціюють за узагальненою координатою. Розв'язати систему таких рівнянь можна за допомогою наближених математичних методів. Зауважимо, що розв'язання кінематичних рівнянь є досить громіздким, а аналіз механізмів вищих класів ускладнює цей процес. У результаті вирішення таких рівнянь визначають аналогові величини кутових кінематичних параметрів ланок механізму, що дозволяють розрахувати дійсні величини лінійних кінематичних характеристик його точок за модулем. Визначити напрямок векторів кінематичних параметрів із розв'язаних рівнянь не виявляється можливим.

Результати дослідження. Щоб підвищити інтерес студентів до виконання курсового проекту із дисципліни теорія механізмів машин, було запропоновано використання системи автоматичного проектування SolidWorks із додатком SolidWorks Motion [6]. На рис. 1, а зображено схему шарнірно-важільного механізму привода глибинного насоса, яка є типовою для технічного завдання курсового проекту. Вона складається з кривошипа 1, який обертається проти годинникової стрілки з частотою $n_1 = 10$ об/хв, шатунів 2 та 4, коромисел 3 та 5. Довжини ланок мають наступні величини: $l_{OA} = 0,625$ м; $l_{AB} = 2,5$ м; $l_{BC} = 1,12$ м; $l_{BD} = 1,54$ м; $l_{BE} = 2,14$ м; $l_{EK} = 2,58$ м; $l_{EF} = 3,68$ м; $x = 1,5$ м; $y = 2,18$ м; $x_1 = y_1 = 0,94$ м.

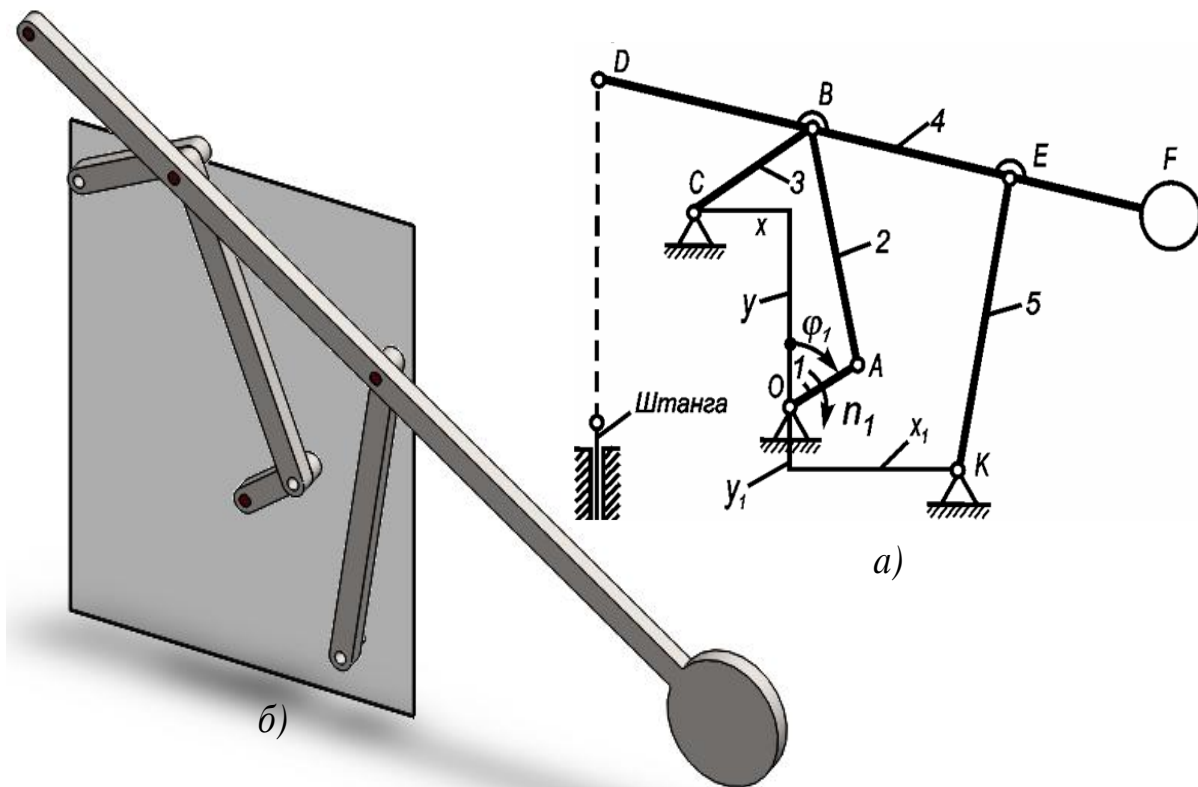


Рис. 1. Механізм привода глибинного насоса: а) схема шарнірно-важільний; б) просторова модель, виконана в САПР SolidWorks

Для проведення кінематичного дослідження механізму в SolidWorks Motion, необхідно створити основу, з нерухомими точками з координатами x ; y ; x_1 ; y_1 у вигляді деталі. Потім дану деталь слід розмістити в зборці, і поступово додати ланки 1, ..., 5. При цьому слід користуватись спряженнями концентричності та співпадіння. Основа має бути зафіксованою, так як вона не виконує рухів, а лише визначає положення кінематичних пар. У подальшому дослідженні дану основу можна приховати. На рис. 1, б зображено просторову модель шарнірно-важільного механізму привода глибинного насоса.

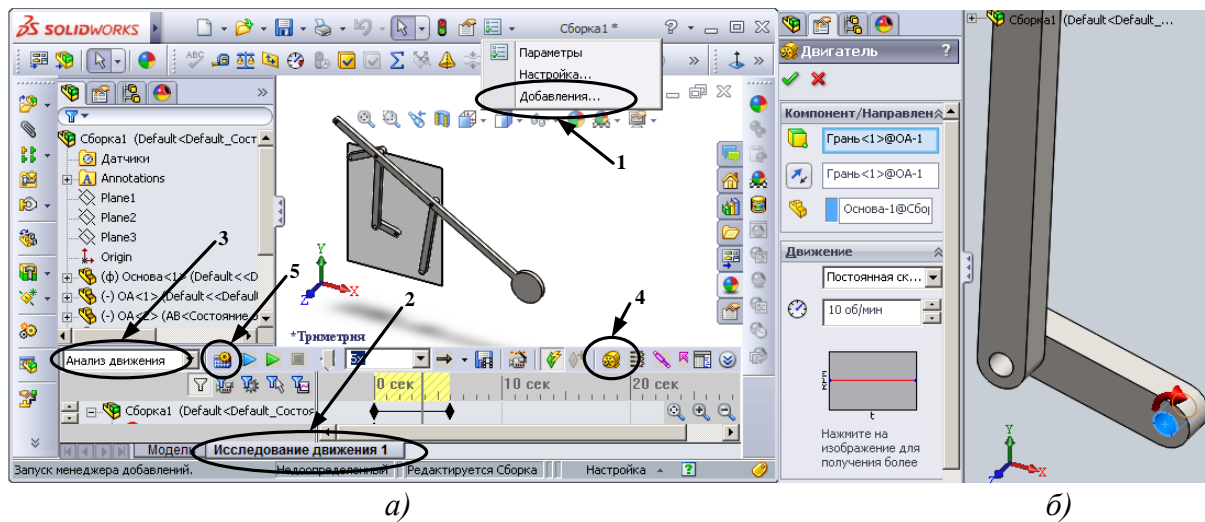


Рис. 2. Діалогові вікна САПР SolidWorks

На наступному етапі дослідження необхідно підключити додаток SolidWorks Motion (рис. 2 а, поз. 1) до SolidWorks. Після цього вибрати вкладку «Исследование движения 1» поз. 2, а у випадяючому списку вибараємо пункт «Анализ движения» поз. 3. Після того як було ініціалізовано середовище SolidWorks Motion, необхідно задати «двигатель» поз. 4 і налаштувати його згідно з (рис. 2, б). Після того, як було задано параметри двигуна, можна провести розрахунок натиснувши кнопку «Расчитать» (рис. 2 а, поз. 5)

Наведена мінімальна послідовність дій для того, щоб провести розрахунок шарнірно-важільного механізму привода глибинного насоса. На рис. 3 зображено графік зміни кінематичних параметрів точки F у часі. Таким чином можна отримати кінематичні параметри будь-якої точки механізму.

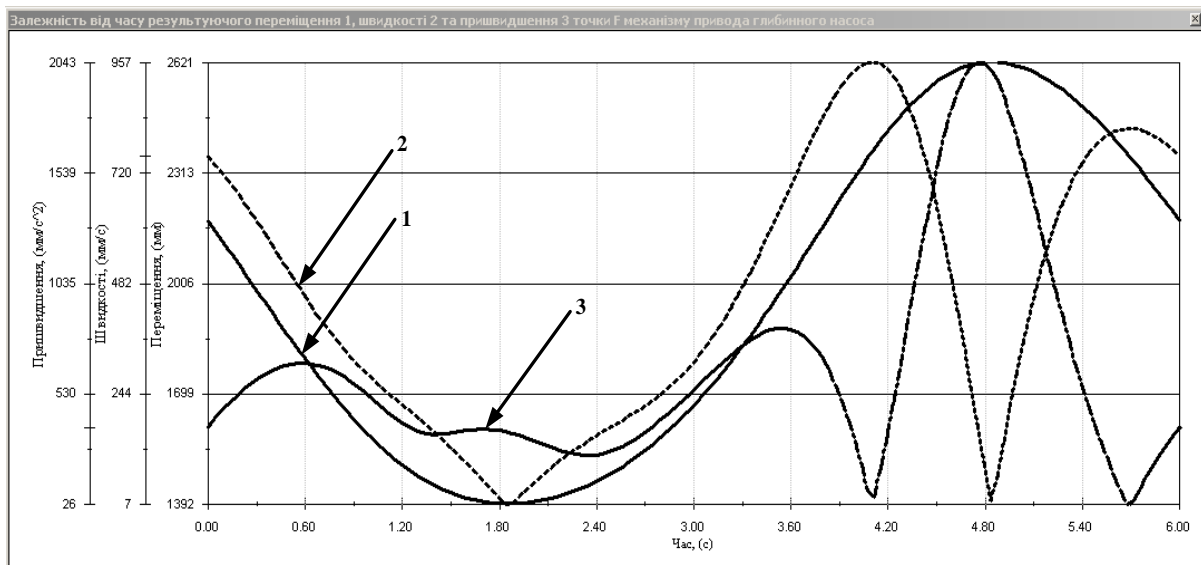


Рис. 3. Залежність від часу результуючого переміщення 1, швидкості 2 та пришвидшення 3 точки F механізму привода глибинного насоса

Висновок. Продемонстровано, що кінематичне дослідження шарнірно-важільних механізмів у середовищі SolidWorks Motion є досить ефективним у процесі виконання курсового проекту із дисципліни теорія механізмів машин. Крім того, можна також досліджувати динаміку даного механізму, при цьому масо-інерційні параметри беруться автоматично з САПР SolidWorks. Також існує можливість отримання кінетичної і потенціальної енергії, а також сили реакції механізму. Тому використання середовища SolidWorks Motion є досить перспективним в навчальному процесі.

1. Зиновьев В.А. Курс теории механизмов и машин / В.А. Зиновьев. – М.: Наука, 1972. – 384 с.
2. Вульсон И.И. Механика машин / И.И. Вульсон, М.Л. Ерихов, М.З. Коловский и др.; Под редакцией Смирнова Г.А. – М.: Высш. шк., 1996. – 511 с.
3. Баранов Г.Г. Курс теории механизмов и машин / Баранов Г.Г. – М.: Машиностроение, 1975. – 494 с.
4. Артоболовский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболовский. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
5. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин. – Київ: Наукова Думка, 2002. – 659 с.
6. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. – М.: ДМК-Пресс, 2010. – 464 с.
7. Клімішин О.М. Віртуальне прототипування сільськогосподарських машин / О.М. Клімішин, А.В. Силивонюк // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. статей. – Луцьк: ЛНТУ. – 2010. Вип. 20. – С. 88–93.
8. Міняйло П.В. Моделювання роботи важільних механізмів, побудованих на базі центрального прямолінійно напрямного кривошипно-повзунного механізму у SolidWorks [Електронний ресурс] / П. В. Міняйло // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Сер.: Військові та технічні науки. – 2015. – № 1. – С. 244-253. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/znpnarpv_vtn_2015_1_22.pdf
9. Жеребецький В.В. Використання комп'ютерної системи solidworks та підпрограми solidworks motion при моделюванні роботи просторових важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки [Електронний ресурс] / В. В. Жеребецький // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 4. – С. 140–143. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vchnu_tekh_2014_4_24.pdf

Стаття надійшла до редакції 19.10.2015.