

УДК 621.01

**Петро Віталійович МІНЯЙЛО,**  
*викладач кафедри загальнонаукових та інженерних дисциплін  
Національної академії Державної прикордонної служби України  
імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький*

## **МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ, ПОБУДОВАНИХ НА БАЗІ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРЯМОЛІНІЙНО НАПРЯМНОГО КРИВОШИПНО- ПОВЗУННОГО МЕХАНІЗМУ У SOLIDWORKS**

*У статті наведено комп'ютерне моделювання шестиланкових шарнірно-важільних механізмів, які побудовані на базі центрального прямолінійно напрямного кривошипно-повзунного механізму у САПР SolidWorks. Зокрема, проведено дослідження руху таких механізмів за допомогою підпрограми SolidWorks Motion. Побудовано діаграми кінематичних параметрів синтезованих механізмів.*

**Ключові слова:** моделювання, прямолінійно напрямні механізми, механізми із зупинкою, тривалість зупинки, точність зупинки, шатунні криві, комп'ютерне моделювання, САПР, SolidWorks, SolidWorks Motion.

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Плоский кривошипно-повзунний механізм (КПМ) широко використовується у машинобудуванні та служить для перетворення обертового руху вхідної ланки в поступальний рух вихідної ланки і навпаки.

© Міняйло П. В.

Нині накопичено значний досвід синтезу власне кривошипно-позвунного механізму [1], проте синтез напрямних механізмів на базі КПМ розроблений недостатньо. У статті [2] висвітлено методику синтезу важливих прямолінійно напрямних механізмів на базі центрального КПМ, проведено розрахунки за допомогою ЕОМ та отримано базу даних геометричних параметрів механізмів (рис. 1). У табл. 1 наведена характеристика розрахункових параметрів бази даних. На основі вказаних механізмів проектується такі, що забезпечують зупинку вихідної ланки при неперервному обертанні вхідної [3]. Важливим актуальним завданням є перевірка працездатності механізмів та достовірності результатів аналітичних досліджень. У наші дні для цього широко використовуються системи автоматизованого проектування (САПР), зокрема SolidWorks, які дозволяють з достатньою для практики точністю змоделювати роботу будь-якого механізму чи машини.

**Мета статті** полягає у перевірці працездатності синтезованих механізмів через комп'ютерне моделювання (симуляцію) руху, з наступним аналізом кінематичних діаграм.

key	Divid	г	е	а	к	а	опери	rho_d	z	ke	h	s	В	С	О	Д	Цілювати для добування
3020	150	0,5	0	1,85	96,93823	285,0019	0,027	33,672	0,581345	0	0	0	0	0	0	0	0
3021	150	0,5	0	1,86	97,0834	285,0019	0,027	33,264	0,580527	0	0	0	0	0	0	0	0
3022	150	0,5	0	1,87	98,23859	285,0006	0,028	34,256	0,5806979	0	0	0	0	0	0	0	0
3023	150	0,5	0	1,88	29,44729	284,9987	0,028	145,45	0,5948344	0	0	0	0	0	0	0	0
3024	150	0,5	0	1,88	96,24043	285,0006	0,028	34,248	0,5804222	0	0	0	0	0	0	0	0
3025	150	0,5	0	1,89	29,44041	285,0006	0,028	145,16	0,5992327	0	0	0	0	0	0	0	0
3026	150	0,5	0	1,89	96,24043	285,0019	0,028	34,242	0,5992327	0	0	0	0	0	0	0	0
3027	150	0,5	0	1,9	29,38914	285,0006	0,028	144,87	0,6038343	0	0	0	0	0	0	0	0
3028	150	0,5	0	1,9	96,24043	285,0006	0,028	34,234	0,6038343	0	0	0	0	0	0	0	0
3029	150	0,5	0	1,91	29,31738	284,9987	0,028	144,37	0,6080273	0	0	0	0	0	0	0	0
3030	150	0,5	0	1,91	100,1753	285,0006	0,028	35,428	0,6080273	0	0	0	0	0	0	0	0
3031	150	0,5	0	1,92	29,29294	284,9987	0,029	144,28	0,6124068	0	0	0	0	0	0	0	0
3032	150	0,5	0	1,92	100,7083	285,0006	0,029	35,722	0,6124069	0	0	0	0	0	0	0	0
3033	150	0,5	0	1,93	29,20202	284,9987	0,029	144,98	0,6167876	0	0	0	0	0	0	0	0
3034	150	0,5	0	1,93	101,2412	285,0019	0,029	36,018	0,6167876	0	0	0	0	0	0	0	0
3035	150	0,5	0	1,94	29,14602	285,0006	0,029	145,49	0,6211415	0	0	0	0	0	0	0	0
3036	150	0,5	0	1,94	101,771	285,0019	0,029	36,113	0,6211399	0	0	0	0	0	0	0	0
3037	150	0,5	0	1,95	29,08008	284,9987	0,029	145,39	0,6255075	0	0	0	0	0	0	0	0
3038	150	0,5	0	1,95	102,0018	285,0019	0,029	36,609	0,6255095	0	0	0	0	0	0	0	0
3039	150	0,5	0	1,96	29,01885	284,9987	0,029	145,09	0,6298204	0	0	0	0	0	0	0	0
3040	150	0,5	0	1,96	102,8176	285,0019	0,029	36,905	0,6298205	0	0	0	0	0	0	0	0
3041	150	0,5	0	1,97	28,97277	284,9987	0,03	142,8	0,6341319	0	0	0	0	0	0	0	0
3042	150	0,5	0	1,97	102,8160	285,0019	0,03	37,202	0,6341319	0	0	0	0	0	0	0	0
3043	150	0,5	0	1,98	28,87895	284,9987	0,03	142,5	0,6383264	0	0	0	0	0	0	0	0
3044	150	0,5	0	1,98	103,8089	285,0019	0,03	37,500	0,6383264	0	0	0	0	0	0	0	0
3045	150	0,5	0	1,99	28,80591	284,9987	0,03	142,20	0,6426115	0	0	0	0	0	0	0	0
3046	150	0,5	0	1,99	104,4043	285,0006	0,03	37,798	0,6426106	0	0	0	0	0	0	0	0
3047	150	0,5	0	2	28,70706	285,0006	0,03	142,90	0,6471628	0	0	0	0	0	0	0	0
3048	150	0,5	0	2	104,9277	285,0019	0,03	38,097	0,6471602	0	0	0	0	0	0	0	0
3049	150	0,5	0	2,01	28,63383	284,9987	0,03	143,40	0,6514817	0	0	0	0	0	0	0	0
3050	150	0,5	0	2,01	105,4487	285,0019	0,03	38,398	0,6514744	0	0	0	0	0	0	0	0
3051	150	0,5	0	2,02	28,53775	284,9987	0,03	143,90	0,6557971	0	0	0	0	0	0	0	0
3052	150	0,5	0	2,02	105,9844	285,0006	0,03	38,697	0,6557732	0	0	0	0	0	0	0	0
3053	150	0,5	0	2,03	28,49117	284,9987	0,03	144,00	0,6600792	0	0	0	0	0	0	0	0
3054	150	0,5	0	2,03	106,4977	285,0006	0,03	38,999	0,6600711	0	0	0	0	0	0	0	0
3055	150	0,5	0	2,04	28,39283	284,9987	0,03	140,7	0,6644726	0	0	0	0	0	0	0	0
3056	150	0,5	0	2,04	107,0107	285,0019	0,03	39,392	0,6644744	0	0	0	0	0	0	0	0
3057	150	0,5	0	2,05	28,31383	284,9987	0,03	140,4	0,6688334	0	0	0	0	0	0	0	0
3058	150	0,5	0	2,05	107,5286	285,0019	0,03	39,795	0,6688348	0	0	0	0	0	0	0	0
3059	150	0,5	0	2,06	28,22974	284,9987	0,03	140,09	0,6732259	0	0	0	0	0	0	0	0
3060	150	0,5	0	2,06	108,0467	285,0019	0,03	39,998	0,6732257	0	0	0	0	0	0	0	0
3061	150	0,5	0	2,07	28,14264	284,9987	0,03	139,70	0,6776162	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 1. Фрагмент бази даних синтезованих механізмів у Microsoft Access

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У роботі розглядається комп'ютерне моделювання плоских шестиланкових шарнірно-важливих прямолінійно напрямних механізмів на базі КПМ. Такі

механізми відтворюють шатунну криву, яка на певній ділянці наближається до прямої лінії, що забезпечує зупинку (вистій) кінцевої (вихідної) ланки. Моделювання проводилось у середовищі SolidWorks з використанням додатка SolidWorks Motion. Параметри досліджуваного механізму: довжина кривошипа  $r = 0,5$ , довжина шатуна  $l = 1$ , ексцентриситет  $e = 0$ , тривалість зупинки  $\alpha_{\Sigma} = 150^{\circ}$  (додаткові параметри взято із бази даних відповідно до табл. 2).

Таблиця 1

## Розрахункові параметри бази даних механізмів

Dwell	Тривалість зупинки вихідної ланки $\alpha_{\Sigma}, ^{\circ}$
r	Відносна довжина кривошипа базового КІМ, $r=l_{OA}/l$
e	Відносний ексцентриситет (зміщення) лінії руху точки В повзуна, $e=l_{OB}/l$
k	Відносна довжина відрізка АС шатуна, $k=l_{AC}/l$
omega	Кут злому шатуна базового механізму $\gamma, ^{\circ}$
phi_st	Кут повороту кривошипа, який визначає початок зупинки вихідної ланки $\varphi_{пов}, ^{\circ}$
2E	Величина максимального відхилення шатунної кривої на ділянці наближення (відношення дійсного відхилення до $S_{max}$ )
ksi	Кут нахилу прямолінійної ділянки шатунної кривої $\xi, ^{\circ}$
S	Максимальний хід вихідної ланки $S_{max}$

Таблиця 2

## Геометричні параметри механізму

$k=l_{AC}/l$	$\gamma, ^{\circ}$	$\varphi_{пов}, ^{\circ}$
1,5	75,77124	285
$\xi, ^{\circ}$	2E	$S_{max}$
23,47	1,947093E-02	0,4177402

Комп'ютерна модель механізму – це вузол, який складається з семи деталей: стояк (основа), кривошип, шатун, повзун (2 шт.), куліса, фіксор. Важливим завданням є коректна побудова усіх деталей вузла з до-

триманням певних вимог, які рекомендовані в системі SolidWorks. Це необхідно для параметричної перебудови всієї моделі у випадку зміни параметрів як окремих деталей, так і всього механізму в цілому. Побудова моделі здійснювалась у масштабі 100 :1, тобто при виборі довжини кривошипа з бази даних  $r = 0,5$ , дійсна довжина (міжосьова відстань між шарнірами) його моделі становила 50 мм; довжина шатуна ( $l = 1$ ) – 100 мм і т. д.

Для проведення моделювання спочатку потрібно задати закон руху початкової ланки механізму [4]. Вибираємо закладку “Исследование движения 1” 1 (рис. 2). Далі задаємо параметри двигуна 2 – “Вращающийся двигатель” 3, після цього вибираємо ланку, якій надається рух від двигуна, тобто кривошип, та встановлюємо напрямок обертання. Швидкість обертання двигуна – 30 об/хв., тип обертання – “Постоянная скорость” 4.

Далі переходимо до кнопки “Свойства исследования движения” 1 (рис. 3) та встановлюємо такі параметри: кількість кадрів 2 за секунду – 90 (це необхідно для поліпшення візуалізації руху), тип контакту ланок – “Использовать точный контакт” 3, точність обчислень – 0,01. Згідно з рекомендаціями [5] активуємо кнопку “Дополнительные параметры” (рис. 4) та встановлюємо для параметра “Максимальный размер шага интегратора” значення 0,0001, натискаємо “ОК”.

Тепер необхідно вказати тривалість 1 періоду руху механізму (рис. 5), наприклад, 2 секунди. Для початку розрахунку руху механізму активуємо кнопку “Рассчитать” 2.

Після розрахунку програмою всіх положень механізму виконуємо запуск анімації – для того, щоб проаналізувати плавність роботи. Далі створюємо епюри результатів (діаграми переміщень, швидкостей, прискорень), вибираючи ланки механізму, рух яких є об'єктом дослідження (рис. 6).

Для цього натискаємо кнопку 1 – “Результаты и эпюры” та призначаємо наступні параметри: 2 – “Перемещение/Скорость/Ускорение”, 3 – “Линейное перемещение”, 4 – “Величина”. Наступний крок 5: вибираємо сполучення вихідної ланки механізму та стояка – “спряження/элемент Simulation”. При необхідності чисельні значення отриманих діаграм можна записати у файл формату Microsoft Excel.

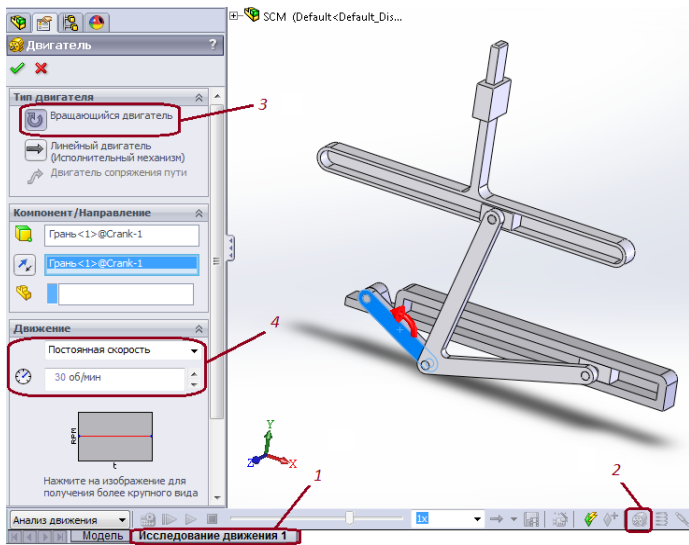


Рис. 2. Призначення параметрів руху початкової ланки

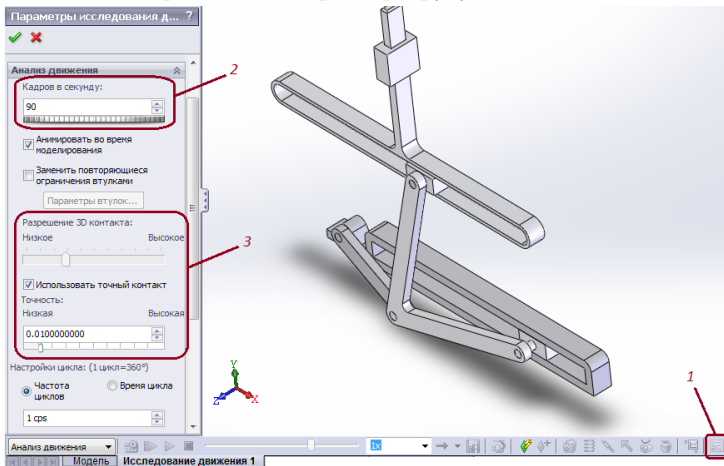


Рис. 3. Налаштування параметрів руху механізму

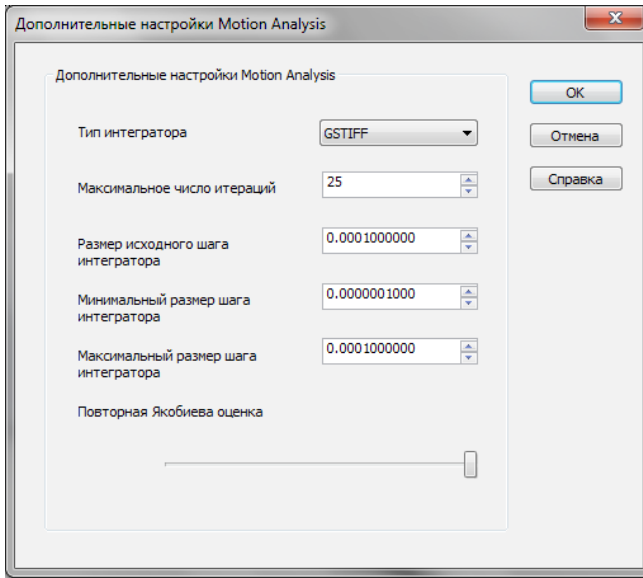


Рис. 4. Установлення точності додаткових параметрів руху

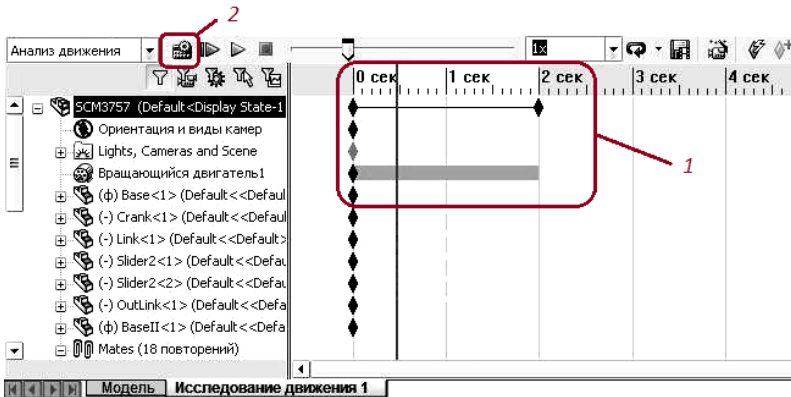


Рис. 5. Установлення періоду руху механізму

Слід зазначити, що моделювання проводилось як для механізму з приєднаною структурною групою V виду, так і для механізму з приєднаною структурною групою III виду за класифікацією Ассур-Артобо-

левського (рис. 7, 9). Так, для механізму другого типу розрахунковими параметрами виступали кутове переміщення, кутова швидкість та кутове прискорення вихідної ланки. У даній роботі діаграми швидкостей та прискорень не наводяться.

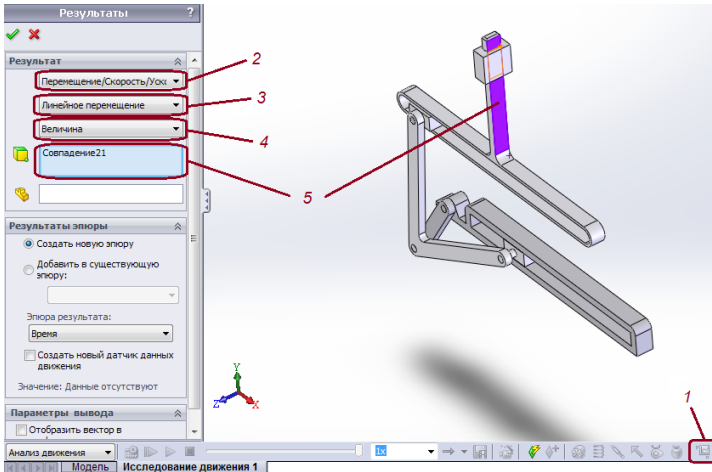


Рис. 6. Створення діаграм у SolidWorks Motion

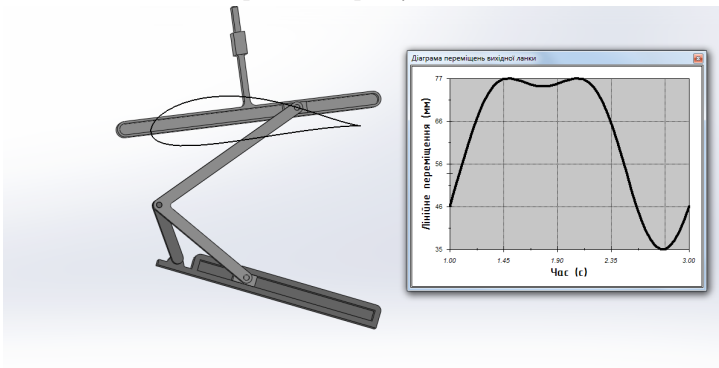
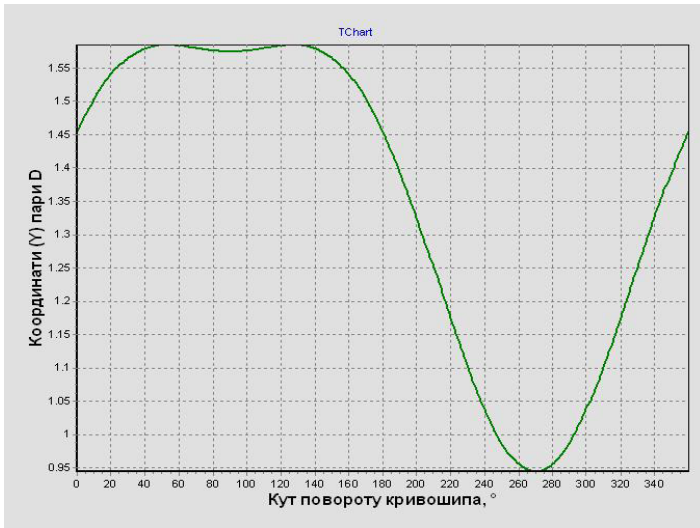
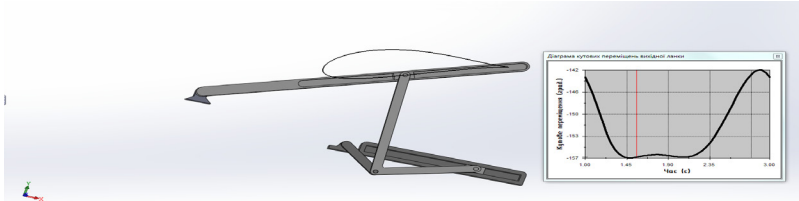


Рис. 7. Шестиланковий важільний прямолінійно напрямний механізм, який забезпечує зупинку вихідної ланки з приєднанням структурної групи V виду, та діаграма переміщень вихідної ланки



**Рис. 8.** Діаграма переміщень вихідної ланки (для 360 положень механізму), одержана за допомогою програми на Delphi



**Рис. 9.** Шестиланковий важільний прямолінійно напрямний механізм, який забезпечує зупинку вихідної ланки з приєднанням структурної групи III виду, та діаграма кутових переміщень вихідної ланки

Для порівняння на рис. 8 зображено діаграму переміщень вихідної ланки механізму (рис. 7), яка побудована за допомогою розробленої підпрограми кінематичного аналізу у середовищі програмування Delphi.

З наведених діаграм видно наявність фази руху та фази зупинки вихідної ланки механізму.



**Висновки.** Отже, використання сучасних САПР, таких як SolidWorks, дозволяє перевірити всі необхідні параметри на базі комп'ютерних моделей механізмів та значно спростити експериментальні дослідження фізичних моделей механізмів і машин.

Перспективи подальшої роботи направлені на моделювання динаміки важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки на базі кривошипно-повзунного механізму.

### Список використаної літератури

1. Карелин В. С. Проектирование рычажных и зубчато-рычажных механизмов : справочник / В. С. Карелин. – М. : Машиностроение, 1986. – 184 с.
2. Кіницький Я. Т. Визначення параметрів зупинки вихідної ланки механізмів, побудованих на базі центрального прямолинійно напрямного кривошипно-повзунного механізму / Я. Т. Кіницький, П. В. Міняйло, М. В. Марченко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – №5. – С. 34–38.
3. Кіницький Я. Т. Шарнирные механизмы Чебышева с выстоем выходного звена : монография / Я. Т. Кіницький. – К. : Вища школа, 1990. – 231 с.
4. Motion simulation and mechanism design with CosmosMotion 2007 / Kuang-Hua Chang, Ph.D., School of Aerospace and Mechanical Engineering, The University of Oklahoma, 2008.
5. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А. А. Собачкин, Е. В. Одинцов и др. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.

*Рецензент – доктор технічних наук, професор Кіницький Я. Т.*

*Стаття надійшла до редакції 20.02.2015.*

### **Миняйло П. В. Моделирование работы рычажных механизмов, построенных на базе центрального прямолинейно направляющего кривошипно-ползунного механизма в SolidWorks**

В статті приведено комп'ютерне моделювання шестизв'язних рычажних механізмів, які побудовані на базі центрального прямолинійно направляющего кривошипно-ползунного механізму в САПР SolidWorks. В частині, проведено дослідження руху таких механізмів з допомогою підпрограми SolidWorks Motion.

Построены диаграммы кинематических параметров синтезированных механизмов.

**Ключевые слова:** *моделирование, прямолинейно направляющие механизмы, механизмы с остановкой, время остановки, точность остановки, шатунные кривые, компьютерное моделирование, САПР, SolidWorks, SolidWorks Motion.*

*Minyaylo P. V.* **Simulation of linkage based on central straight-line slider-crank mechanism in SolidWorks**

The main aim of the research – to simulate the mechanisms and test their kinematic parameters.

The simulation of straight-line mechanisms and dwell mechanisms on the basis of slider-crank mechanism in SolidWorks is viewed. Straight-line mechanisms, which are widely used in modern engineering, describe the rod curve that in a particular area is close to a straight line, which provides a dwell of the final link of mechanism. Graphs for the kinematic parameters of dwell mechanisms are shown.

According to recommendations all the simulation parameters were adjusted to get the highest quality of modelling results.

For comparison the diagram of moving outer link of mechanism which is built on Delphi environment is represented.

From all the diagrams the presence of phase of motion and phase of stop of outer link of mechanism is visible.

As seen from the results, the use of modern CAD/CAE systems such as SolidWorks, allows you to check all the necessary parameters based on computer models of mechanisms and significantly simplify experimental study of physical models of mechanisms and machines.

The perspective of further investigation we consider in the dynamics of linkage based on central straight-line slider-crank mechanism.

**Keywords:** *simulation, straight-line mechanisms, dwell mechanisms, dwell time, dwell accuracy, coupler curves, CAD, SolidWorks, SolidWorks Motion.*