

УДК 621.01

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В КУРСІ ТЕОРІЇ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН**Логунів О.М., Ніколаєнко Г.П., Романченко О.В., Шумакова Т.О., Таванюк Т.Я.****APPLICATION OF COMPUTER MODELING AT THE COURSE
OF THE MECHANISM AND MACHINE THEORY****Logunov O., Nikolaienko A., Romanchenko A., Shumakova T., Tavanyuk T.**

Розглянуто сучасний стан викладання теорії механізмів і машин, проведено порівняльний аналіз програмних продуктів, які можуть використовуватися під час вивчення дисципліни, наведено приклад розрахунку важільного механізму в середовищі Solidworks Motion.

Ключові слова: теорія механізмів і машин, кінематика, динаміка, моделювання, візуалізація, анімація.

Вступ. Теорія механізмів і машин (ТММ) входить в обов'язкову частину програми підготовки студентів багатьох технічних спеціальностей. На сучасному етапі розвитку техніки швидко стають, більш досконалішими, доступними та універсальними комп'ютерні системи керування, механотронні системи, широко впроваджуються машини із прямим приводом [1], роль механічних передач і важільних механізмів, до розрахунків яких наближеними графічними методами зводиться більша частина класичного курсу ТММ [2], неухильно знижується. Разом з тим у системи автоматизованого проектування (CAD) вбудовуються більш досконалі методи розрахунків кінематики й динаміки механізмів і машин, такі як метод кінцевих елементів [3] і метод перетворення координат. Усі вони вимагають наявності тривимірної моделі досліджуваного механізму.

На початкових курсах студенти інженерних спеціальностей вивчають інженерну графіку та роботу із двовимірними кресленнями в системах CAD. Засоби двовимірного проектування можуть бути застосовані при використанні класичних методів ТММ, наприклад, методу планів або методу зворотного руху, причому точність і зручність розрахунків суттєво підвищуються, тому що двовимірний редактор дозволяє точно задавати довжини ліній, кути між ними, установлювати паралельність і перпендикулярність, проводити виміри.

На старших курсах засоби тривимірного моделювання застосовуються досить широко [4], і в цей час часто виявляється відсутність базових навичок у студентів.

Впровадження систем тривимірного моделювання у викладання ТММ дозволяє досягти декількох цілей одночасно.

Дати базові навички тривимірного моделювання. Приклади механізмів, на яких вивчається ТММ, є схематичними, і тому їх тривимірні моделі не містять складностей для побудови за допомогою декількох базових операцій, які присутні у будь-якому тривимірному редакторі.

Підвищити наочність викладу матеріалу. На переміщеній кафедрі відсутні навчальні посібники, зате присутні комп'ютери й мультимедійне встаткування. Крім того, на тривимірних моделях можуть бути показані механізми будь-якої складності й екзотичності, величини й напрямки векторів швидкостей, прискорень і інших величин, робота механізмів у розрізі, в уповільненому русі.

Метою статті є огляд існуючих програмних пакетів та визначення можливості та доцільності їх використання під час вивчення курсу ТММ.

Огляд існуючого програмного забезпечення. Існує безліч невеликих спеціалізованих програм, написаних викладачами й студентами для розв'язку класичних завдань ТММ.

Вони найчастіше перебувають у вільному доступі, але не розкривають реалізованих у них методів, не є наочними, не супроводжуються документацією. Обмін даними з іншими додатками неможливий.

Для завдань, які можуть бути розв'язані точними аналітичними методами, традиційно використовується система Mathcad. Існує навчальний посібник, [5] у якому детально описані кінематичний і динамічний аналіз плоских важільних механізмів, дослідження зубчастих і синтез кулачкових механізмів. Головною перевагою роботи в системі Mathcad є можливість інтеграції з пакетом CAD, і, отже, одержання параметризованих тривимірних моделей механізмів, параметри яких управляються розрахунками [6]. Візуалізованими можуть бути графіки, але не моделі механізмів, так що наочність системи залишається обмеженою.

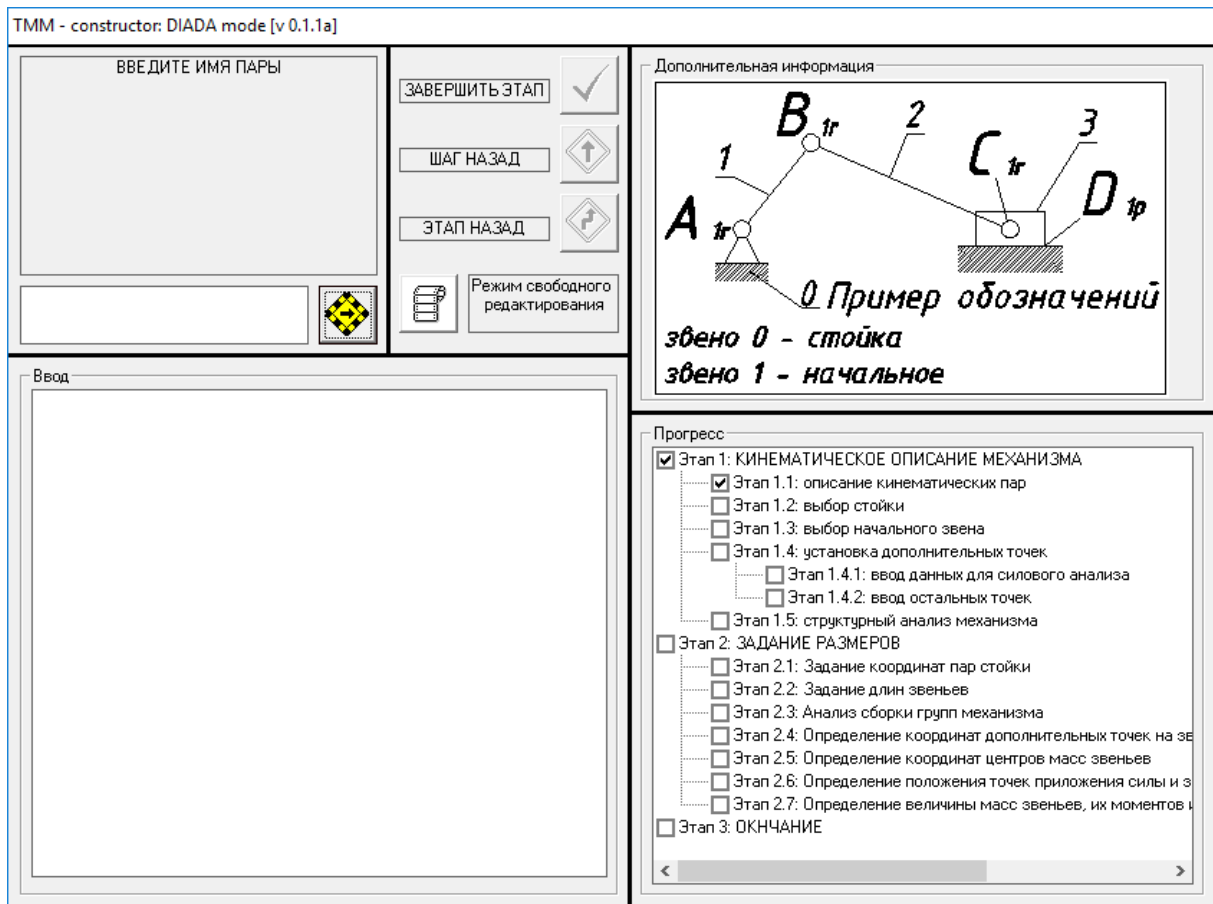


Рис. 1. Програма для розрахунків плоского важільного механізму

Найбільш привабливою, як з погляду можливостей, так і з погляду наявності літератури, представляється підсистема Solidworks Motion [3].

Прикладний модуль Solidworks Motion призначений для кінематичного та динамічного аналізу проєктованих механізмів. Модуль використовує інформацію, що міститься в складальних одиницях з можливістю уточнення розрахункової моделі в інтерфейсі.

При підготовці розрахункової моделі можуть бути використані сполучення, призначені при створенні складальної одиниці, у тому числі кулачок, шарнір, редуктор, шестірня-рейка, гвинт, універсальний шарнір (карданне з'єднання).

Стосовно до сполучень можуть бути призначені коефіцієнти тертя, а також уточнюючі параметри геометрії, що характеризують взаємодію об'єктів з тертям.

Сполучення (стосовно до аналізу) можуть бути замінені пружними втулками, що мають задану твердість.

В інтерфейсі сполучень також визначаються грані, що сприймають зусилля, з метою наступного використання результатів динамічного аналізу для розрахунків на міцність.

Умови, що визначають рух:

У рамках інтерфейсу Solidworks Motion створюються просторові контакти із заданими характе-

ристиками твердості та пружності, з довільними границями за рахунок віртуальних пружин і демпферів, які можуть бути, у загальному випадку, нелінійними.

Стосовно до елементів моделі призначаються лінійні й кутові швидкості або переміщення, закон зміни яких визначається користувачем; лінійні сили й крутні моменти, що також діють за заданими законами.

Ураховується сила гравітації.

Просторовий контакт в обчислювальній процедурі може бути інтерпретований як контакт між реальними геометричними елементами (гранями) деталей або як взаємодія їх спрощених моделей, отриманих триангуляцією. Ступінь точності триангуляції регулюється користувачем.

Застосування датчиків руху дозволяє виконувати оптимізацію параметрів руху механізмів.

Усі обчислення виконуються в режимі реального часу.

Результати:

Переміщення, швидкості, прискорення, сили, моменти, інші кінематичні характеристики для з'єднань, пружин і демпферів, а також характерних точок моделі в чисельному, табличному й графічному видах.

Анімація результатів.

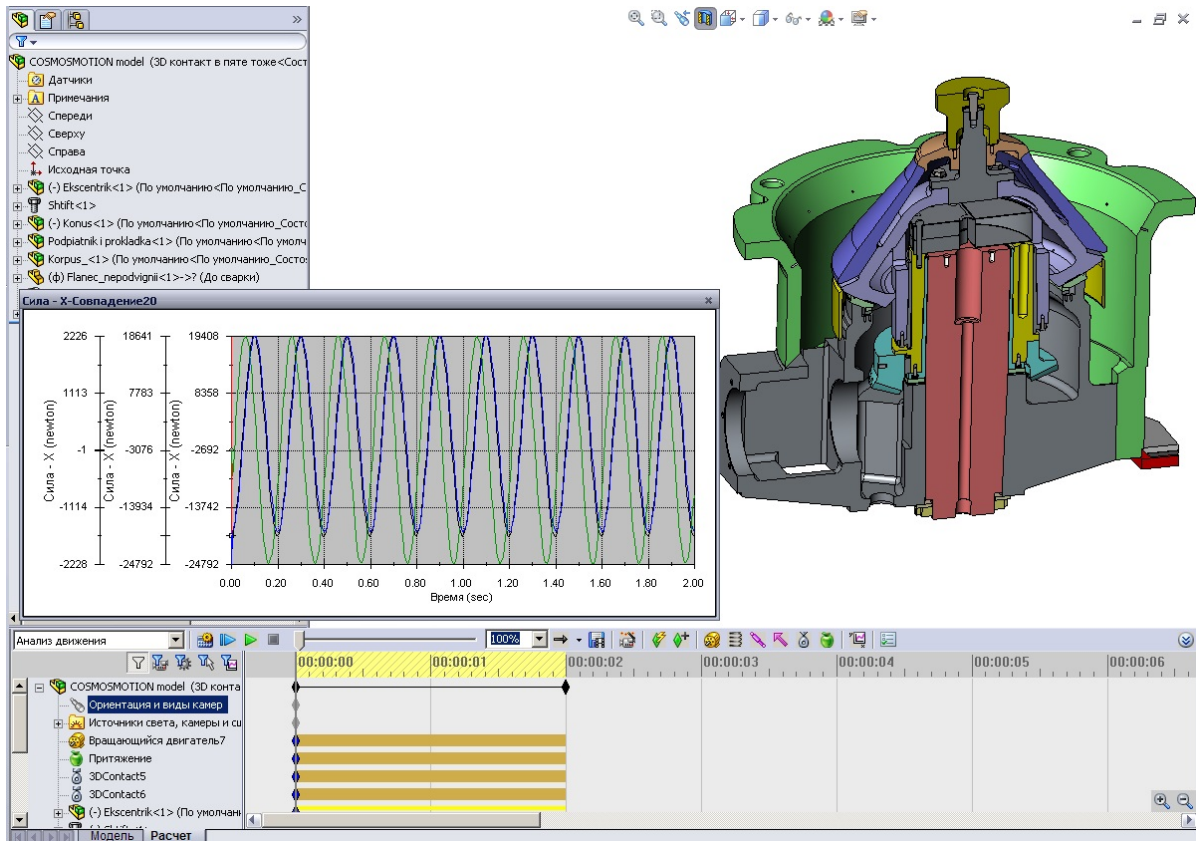


Рис. 2. підсистема SolidworksMotion

Генерація траєкторій характерних точок моделей і збереження їх як кривих

Передача результатів динамічного аналізу – сил у сполученнях і інерційних навантажень – у модуль Solidworks Simulation для аналізу напружено-деформованого стану деталей.

Визначення еквівалентних напруг і результуючих переміщень у деталях, породжених реакціями у зв'язках і інерційними силами, а також розрахунки на їхній основі коефіцієнтів запасу міцності.

Основною проблемою є те, що продукти сімейства Solidworks не надають студентській версії. У Хмельницькому національному університеті з 2012 року здійснюється програма співробітництва, у рамках якої продукти групи Solidworks використовуються в як у навчальному процесі, так і для наукових досліджень [6].

У Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті віддали перевагу продуктам сімейства Autodesk [7]. Для цього програмного забезпечення безкоштовно надається студентська ліцензія, але, можливо через швидкий розвиток продукту, література, що описує інженерне застосування, у значній частині застаріла, описуються розділи, досить далекі від моделювання й розрахунків механізмів.

Безкоштовна студентська версія також надається для продуктів сімейства Matlab, до якого ставить-

ся Simscape Multibody (раніше Simmechanics) - середовище для тривимірної симуляції механічних систем, що складаються з багатьох тіл [8].

За допомогою інструмента можна моделювати системи, що складаються з багатьох тіл, використовуючи блоки, які є відображенням тіл, з'єднань, обмежувальних зв'язків і елементів сил.

На основі системи із блоків, побудованої у редакторі, Simscape Multibody формулює й вирішує рівняння руху для всієї механічної системи.

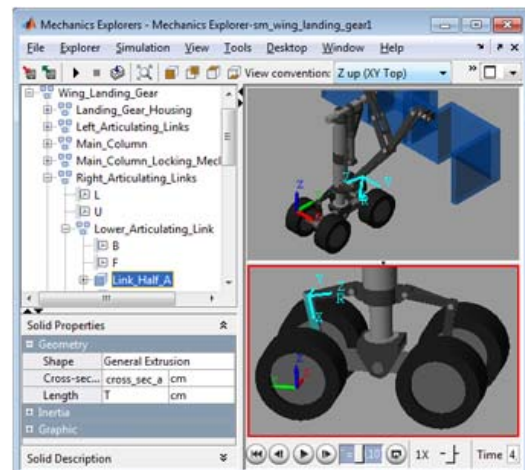


Рис. 3. Підсистема Simscape Multibody

Моделі з CAD систем можуть бути імпортовані в Simscape Multibody разом з інформацією про масу, інерцію, з'єднання, обмеження і 3D геометрію імпортованих моделей. Simscape Multibody автоматично генерує 3D анімацію для візуалізації динаміки системи.

Моделі параметризуються за допомогою змінних і функцій в Matlab. За допомогою Simulink можуть бути спроектовані системи управління для систем, що складаються з багатьох тіл. Можна додавати електричні, гідравлічні, пневматичні та інші компоненти до механічної моделі за допомогою Simscape і перевіряти всю систему в одному середовищі симуляції

Курсове проектування. Основні складності виникають у студентів при виконанні курсового проекту. Література з типовими завданнями й традиційними рекомендаціями виконання представляється застарілою. Як приклад можна привести виконаний в 2014 р. в ОНПУ курсовий проект, що представляє собою розрахунок парової машини, здійснений класичними наближеними графічними методами у двовимірному редакторі Компас [9]. Застосування тривимірного моделювання представляється більш привабливим з ряду причин.

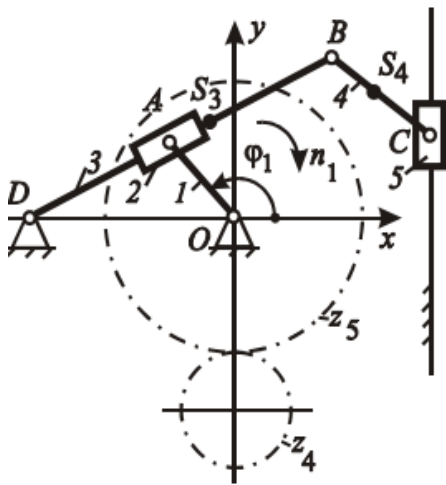


Рис. 4. Типова схема завдання з посібника для курсового проектування

Створення найпростішої тривимірної моделі механізму й одержання його кінематичних і динамічних характеристик вбудованими в програмний пакет чисельними методами не вимагає попередньої підготовки студента.

Студент, що має попередню математичну підготовку, може зв'язати модель із пакетом математичного моделювання й застосувати точні методи розрахунків механізму. Отримана при вивченні ТММ модель механізму може удосконалюватися, деталізуватися й ускладнюватися в ході вивчення дисциплін «деталі машин», «розрахунки й конструювання спеціалізованого обладнання», при дипломному проектуванні. Студент, що володіє системою тривимірного моделювання, може одержати відповід-

ний сертифікат, який поряд з ефектним курсовим або дипломним проектом може бути використаний для підвищення цінності молодого фахівця на ринку праці.

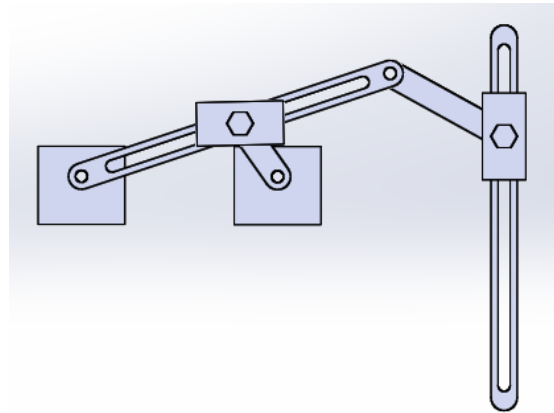


Рис. 5. Тривимірна модель механізму

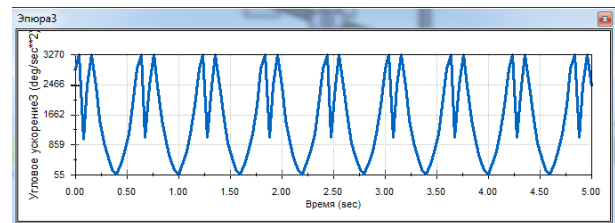


Рис. 6. Графік однієї з кінематичних характеристик механізму, отриманий у підсистемі SolidworksMotion

Висновки. 1. Спеціалізовані програми, створені на підставі класичного курсу ТММ, практично не приносять користі і їх використання не має сенсу.

2. Використання тривимірного моделювання робить вивчення ТММ наочним і ефективним, дозволяє зацікавити студента та ознайомити його з новітніми технологіями.

2. Інтеграція пакетів тривимірного моделювання і математичних пакетів дозволяє комбінувати аналітичні та чисельні методи розрахунків механізмів і машин

3. Не має особливого значення вибір конкретного продукту тривимірного моделювання, тому що найпоширеніші професійні пакети мають подібний і більш ніж достатній для використання при вивченні ТММ функціонал, а модель завжди може бути перенесена з одного пакета в інший – прямо або через нейтральні файли.

4. Використання програмних продуктів при вивченні ТММ без порушення авторських прав цілком можливо, тому що одні пакети надають безкоштовні студентські версії, інші – пробні версії з достатнім навіть для виконання курсового проекту строком використання й доступним функціоналом.

5. Тривимірні моделі легко можуть бути перетворені в наочні приладдя й фізичні моделі механізмів за допомогою інструментів швидкого прототипування [10] – 3D принтерів і верстатів зі ЧПУ, доступність яких неухильно підвищується.

Література

1. Мирошник С.А., Ерошин С.С., Брешев В.Е. Применение торцевого асинхронного двигателя для непосредственного привода рабочего колеса центробежного насоса // Тр. МНТК „Физические и компьютерные технологии”. – Харьков: ХНПК ФЭД, 2008. – С. 401–403.
2. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: учеб. для вузов / И.И. Артоболевский. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 640с.
3. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи (+ DVD-ROM) / Андрей Алямовский. - М.: БХВ-Петербург, 2012. - 448 с.
4. Кроль О.С., Соколов В.І. Тривимірне моделювання металорізальних верстатів та інструментального оснащення: навчальний посібник / О.С. Кроль, В.І. Соколов. – Северодонецьк: вид-во СХУ ім. В. Даля, 2016. – 160 с.: табл. 1, рис. 144, бібліогр. назв. 38. ISBN 978-617-11-0074-9
5. Кіницький Я.Т., Харжевський В.О., Марченко М.В. Теорія механізмів і машин в системі Mathcad: Навчальний посібник. - Хмельницький: РВЦ ХНУ, 2014. -324 с.
6. <https://ru.scribd.com/document/310092648/SolidWorks-Mathcad-Prime-Integration-User-Guide>
7. Харжевський В.О. Визначення фактичних значень інваріантів кінематичних параметрів механізмів чебишева із зупинкою вихідної ланки та моделювання їх роботи у системі solidworks / В. О. Харжевський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. - 2017. - № 2. - С. 52-58. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2017_2_13.
8. <https://www.mathworks.com/products/simmechanics.html>
9. <https://vmasshtabe.ru/mashinostroenie-i-mehanika/teoriya-mehanizmov-machsin/kursovoy-proekt-po-tmm-na-temu-mehanizmyi-parovoy-mashinyi.html>
10. <https://mon.gov.ua/ua/news/u-snu-vidkrili-majsternyu-fablab-de-dopomagatimut-lyudyam-sho-postrazhdali-vid-konfliktu-na-shodi-ukrayini>

References

1. Miroshnik S.A., Yeroshin S.S., Breshev V.Ye. Primeneniye tortsevogo asinkhronnogo dvigatelya dlya neposredstvennogo privoda rabocheho kola tsentrobezhnogo nasosa // Tr. MNTK „Fizicheskiye i komp'yuternyye tekhnologii”. – Khar'kov: KHNPК FED, 2008. – S. 401 – 403.
2. Artobolevskiy I.I. Teoriya mekhanizmov i mashin: ucheb. dlya vtuzov / I.I. Artobolevskiy. – 4-ye izd., pererab. i dop. – М.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., 1988. – 640s.
3. Alyamovskiy A.A. SolidWorks Simulation. Kak reshat' prakticheskiye zadachi (+ DVD-ROM) / Andrey Alyamovskiy. - М.: BVHV-Peterburg, 2012. - 448 с.
4. Krol' O.S., Sokolov V.I. K83 Trivimirne modelyuvannya metalorizal'nikh verstativ ta instrumental'nogo osnashchennya: navchal'niy posibnik / O.S. Krol', V.I. Sokolov. – Severodonets'k: vid-vo SNU im. V. Dalya, 2016. – 160 s.: tabl. 1, ris. 144, bibliogr. nazv. 38. ISBN 978-617-11-0074-9
5. Kinits'kiy A.T., Kharzhevs'kiy V.O., Marchenko M.V. Teoriya mekhanizmv i mashin v sistemi Mathcad: Navchal'niy posibnik. - Khmel'nits'kiy: RVTS KHNU, 2014. -324 s.
6. . <https://ru.scribd.com/document/310092648/SolidWorks-Mathcad-Prime-Integration-User-Guide>

7. Kharzhevs'kiy V. O. Viznachennya faktichnikh znachen' invariantiv kinematichnikh parametriv mekhanizmv chebisheva iz zupinkoyu vikhidnoi? lanki ta modelyuvannya i?kh roboti u sistemi solidworks / V. O. Kharzhevs'kiy // Visnik Khmel'nits'kogo natsional'nogo universitetu. Tekhnichni nauki. - 2017. - № 2. - S. 52-58. - Rezhim dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2017_2_13.
8. <https://www.mathworks.com/products/simmechanics.html>
9. <https://vmasshtabe.ru/mashinostroenie-i-mehanika/teoriya-mehanizmov-machsin/kursovoy-proekt-po-tmm-na-temu-mehanizmyi-parovoy-mashinyi.html>
10. <https://mon.gov.ua/ua/news/u-snu-vidkrili-majsternyu-fablab-de-dopomagatimut-lyudyam-sho-postrazhdali-vid-konfliktu-na-shodi-ukrayini>

Логунов О.М., Ніколаєнко Г.П., Романченко О.В., Шумакова Т.О., Таванюк Т.Я. Компьютерное моделирование в курсе теории механизмов и машин.

Рассмотрено современное состояние преподавания теории механизмов и машин, проведен сравнительный анализ программных продуктов, которые могут использоваться при изучении дисциплины, приведен пример расчета рычажного механизма в среде Solidworks Motion.

Ключевые слова: теория механизмов и машин, кинематика, динамика, моделирование, визуализация, анимация.

Logunov O., Nikolaienko A., Romanchenko A., Shumakova T., Tavanyuk T. Application of computer modeling at the course of the mechanism and machine theory.

The present state of teaching the theory of mechanisms and machines is considered, a comparative analysis of software products that can be used during the study of discipline is conducted, an example of calculating the lever mechanism in the environment of SolidWorks Motion is given.

Keywords: the theory of mechanisms and machines, kinematics, dynamics, modeling, visualization, animation.

Логунов Олександр Миколайович – к.т.н., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк)
logunov@ukr.net

Ніколаєнко Ганна Павлівна – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк) arnikolaenko@gmail.com

Романченко Олексій Володимирович – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк) alexvromanchenko@gmail.com

Шумакова Тетяна Олександрівна – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк) shumakovatania@gmail.com

Таванюк Тетяна Яківна – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк). ttavanyuk@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Чернецька-Білецька Н.Б.**