

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Журнал заснований у 1918 році

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 34 (73) № 3 2023

Частина 2



Видавничий дім
«Гельветика»
2023

Пилипенко О.І., Смірнов О.О., Зайцева І.С., Панайотова Т.Д. ПОВЕДІНКА ТИТАНУ VT1-0 В УМОВАХ АНОДНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЇ У СИСТЕМІ «ЕТИЛЕНГЛІКОЛЬ – ВОДА – HF – NH ₄ F».....	85
Пилипенко Т.М., Єфімова В.Г., Санжаровська В.В., Качоровська О.П. РОЗРОБКА СКЛАДУ ЗАСОБУ ПО ДОГЛЯДУ ЗА ШКІРОЮ ГОЛОВИ ТА ВОЛОССЯМ НА ОСНОВІ ПОЛІФЕНОЛЬНОЇ РЕЧОВИНИ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ.....	90
Спасьонова Л.М. СТВОРЕННЯ ЯКІСНОЇ КЕРАМІКИ З МІСЦЕВОЇ ЛЕГКОПЛАВКОЇ СИРОВИНИ З ВИСОКОЮ ЧУТЛИВІСТЮ ДО СУШІННЯ.....	94
Фроленкова С.В. ФОРМУВАННЯ КОНВЕРСИЙНИХ МОЛБДАТНИХ ПОКРИТТІВ НА СТАЛІ З МЕТОЮ ЇЇ ЗАХИСТУ ВІД АТМОСФЕРНОЇ КОРОЗІЇ. Ч. 1. УТВОРЕННЯ НА СТАЛІ ПЛІВОК З ОКСИДУ МОЛБДЕНУ (IV) ШЛЯХОМ ВІДНОВЛЕННЯ МОЛБДАТІВ.....	100
ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	
Петраченко Д.О., Дудукова С.В. ОГЛЯД ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАСІННЯ ПРОМИСЛОВИХ КОНОПЕЛЬ З ТОЧКИ ЗОРУ ПЕРЕРОБКИ.....	105
Святненко Р.С., Маринін А.І., Шевченко О.Ю., Позняк О.М., Літвинчук С.І. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА ОРГАНОЛЕПТИЧНІ ПОКАЗНИКИ МЕДУ РІЗНОГО БОТАНІЧНОГО ТА ОДНОГО РЕГІОНАЛЬНОГО ПОХОДЖЕННЯ.....	110
ТРАНСПОРТ	
Аринушкіна Н.С., Грищенко Т.М. ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ УКРАЇНИ.....	115
Вагуля Г.Л., Ловська А.О. ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ОБШИВКИ ДАХУ ВАГОНА-ХОПЕРА ІЗ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ.....	120
Doshchenko H.H., Nahovskyi D.A. MATHEMATICAL MODEL OF STEADY OPERATION OF SHIP ELECTRICAL COMPLEXES.....	125
Козенок А.С. МЕТОДИКА ОЦІНКИ ДОЦІЛЬНОСТІ СТВОРЕННЯ ТРАНСКОРДОННИХ ТЕРМІНАЛІВ НА ЗАХОДІ УКРАЇНИ ПРИ ЕКСПОРТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВАНТАЖІВ.....	130
Колодницька Р.В. МОДЕЛЮВАННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ.....	136
Мельник О.М. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ТА МАНЕВРУВАННЯ СУДНА НА БЕЗПЕКУ ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	143
Торопов Б.І., Стрелко О.Г., Грушевська Т.М., Васілова Г.С., Лигун Ю.Ю. ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ І ТЕХНІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ ВУЗЛІВ.....	150
Трюхан О.М. ПОЛЬОТИ В УМОВАХ АТМОСФЕРНОЇ ТУРБУЛЕНТНОСТІ.....	157
БУДІВНИЦТВО	
Кайдаш М.Д. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СКЛАДНИХ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ У КОНТЕКСТІ АНАЛІЗУ Й СИНТЕЗУ РІЗНИХ ТИПІВ МЕХАНІЗМІВ.....	162
Семичаєвський С.В., Присяжнюк В.В., Осадчук М.В., Якіменко М.Л. ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ВИПРОБУВАНЬ РУЧНИХ ПОЖЕЖНИХ ДРАБИН.....	171
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	175

БУДІВНИЦТВО

УДК 614.841.332

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.3.2/28>

Кайдаш М.Д.

Національний університет «Чернігівська політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СКЛАДНИХ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ У КОНТЕКСТІ АНАЛІЗУ Й СИНТЕЗУ РІЗНИХ ТИПІВ МЕХАНІЗМІВ

У статті розглянуто проблематику дослідження властивостей складних механічних систем у контексті аналізу й синтезу різних типів механізмів. Наголошено на актуальності цієї проблематики, оскільки механічні системи широко використовують у різних сферах техніки та виробництва, тому оптимізація їхніх експлуатаційних параметрів є важливим завданням. Дослідження параметрів функціонування механічних систем є предметом багатьох наукових праць, проте немає досліджень про оптимальні засоби синтезу складних механізмів і систем. За результатами розгляду предметної сфери визначено номенклатуру програмних засобів, що дають змогу виконувати синтез і параметричний аналіз складних механічних систем, серед яких – MechAnalyzer Software, GIM Software, MechDesigner Software, Mechanism Generator SolidWorks і Mechanism Developer (MechDev).

Під час перехресного аналізу визначено, що найбільш оптимальним програмним засобом для дослідження властивостей складних механічних систем у контексті аналізу й синтезу різних типів механізмів є Mechanism Generator SolidWorks. Використання оптимального програмного засобу для дослідження властивостей складних механічних систем є важливим завданням у сучасній механічній інженерії. Практична значимість полягає в можливості застосування оптимального програмного засобу для розроблення і вдосконалення механічних систем у різних галузях промисловості. Використання відповідного програмного забезпечення може допомогти підвищити якість і продуктивність розроблюваних механічних систем, зменшити час і витрати на дослідження та проектування. Отже, визначення оптимального програмного засобу для дослідження властивостей складних механічних систем має важливу наукову та практичну значимість, що можна використати для подальшого розвитку механічної інженерії.

Ключові слова: механічні системи, синтез, аналіз, GIM Software, Mechanism Generator SolidWorks.

Постановка проблеми. Дослідження властивостей складних механічних систем у контексті аналізу й синтезу різних типів механізмів є однією із ключових проблем у галузі механіки. З одного боку, є потреба в розумінні поведінки складних механічних систем для покращення їхньої ефективності та безпеки. З іншого боку, синтез різних типів механізмів залежить від знання їхніх властивостей і взаємодії з іншими елементами системи [1]. Одна з основних проблем полягає в тому, що складні механічні системи зазвичай складаються з багатьох взаємодіючих елементів, які можуть мати різні типи руху та взаємодії. До того ж навіть невеликі зміни в одному елементі можуть суттєво впливати на поведінку всієї системи [2].

Інша проблема полягає у складності аналізу й синтезу різних типів механізмів, оскільки вони можуть мати різні масштаби та рівні складності.

Наприклад, механізми можуть бути складнішими за внутрішню структуру або потребувати використання різних матеріалів і технологій виготовлення [3; 4]. До того ж, є проблема вибору оптимальних параметрів механізмів, що визначають їхню ефективність і безпеку. Це може виявитися особливо непростим для складних механічних систем, де зміни в одному параметрі можуть вплинути на інші [5].

З огляду на вищезазначене дослідження властивостей складних механічних систем у контексті аналізу й синтезу різних типів механізмів є важливим напрямом у галузі механіки. Це дає змогу розробляти більш ефективні й безпечні механічні системи, що відповідають потребам ринку та суспільства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню механічних систем присвячено значну частину профільних наукових досліджень

і публікацій. В актуальному періоді пошуку варто виокремити низку релевантних праць.

У статті А. Мерсьє та Л. Жезекель (A. Mercier & L. Jézéquel) [6] досліджено механічні системи з нестабільністю через тертя із використанням теорії ймовірностей для моделювання невизначеності параметрів. Запропоновано модифікований метод із використанням поліномів Чебишева для уникнення числової інтеграції, що забезпечує розумний час обчислення та уникнення апроксимації стохастичних узагальнених сил.

У дослідженні Й. Жу, Г. Ли, С. Вей та С. Сонг (J. Zhu, H. Li, S. Wei & S. Song) [7] запропоновано ефективно рішення для кількісної оцінки невизначеності конформних контактів у складних механічних системах із використанням замінних моделей для зменшення обчислювального навантаження. Результати дослідження показують, що запропоноване рішення допомагає зменшити обчислювальні витрати на кількісну оцінку невизначеності в складних механічних системах із конформними контактами, що, зокрема, продемонстровано на прикладі системи «насос-підшипник» аеродвигуна.

Дослідження Г. Янг, Й. Їанг, Г. Чен та Й. Жао (H. Yang, J. Jiang, G. Chen & J. Zhao) [8] пропонує новий метод на основі глибокого навчання для ідентифікації динамічних навантажень. Метод використовує глибоку згорткову нейронну мережу, що уникає проблеми розв'язання параметрів моделі, і пряму модель між вібраційною відповіддю та зовнішнім навантаженням. Результати показують високу точність і стійкість до шуму методу, що можна використати в різних інженерних застосуваннях із системами з невизначеними параметрами й різними розподілами точок вимірювання та частотними даними.

У статті К. Фенг, Й. Ц. І, Я. Ні та М. Бер (K. Feng, J. C. Ji, Q. Ni & M. Beer) [9] проведено огляд поточних досліджень вібраційного моніторингу зносу зубчастих передач і вказано на обмеження використання вібраційних технік через складність ідентифікації вібраційних характеристик. Стаття надає рекомендації для подальших досліджень у цій галузі з метою розроблення ефективних технік на основі вібрацій для моніторингу зносу зубчастих передач і передбачення залишкового ресурсу, що може мати значення для промислових застосувань.

У роботі Й. Хао та ін. (J. Hao et al.) [10] запропоновано модель для оцінювання ефекту динамічних навантажень на систему шпинделя з вбудованим двигуном. У моделі враховано такі зовнішні

динамічні навантаження, як неузгоджені магнітні сили, нелінійну відновлювальну силу підшипника й ексцентриситет системи. Запропоновано проєкційну модель для узагальнення динаміки, а також модель додаткового моменту, які враховують зміну магнітного шляху через динамічний зсув ротора. Отримані числові результати можна підтвердити експериментально.

Отже, констатуємо, що в актуальному горизонті пошуку серед релевантних публікацій є досить широка вибірка наукових праць, які досліджують безпосередньо характеристики складних механічних систем, однак малодослідженими є аспекти параметричного аналізу механізмів саме в контексті синтезу останніх. Зокрема, відсутній аналіз програмних засобів для синтезу й аналізу складних механічних систем.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета дослідження – визначення оптимального програмного засобу для синтезу й параметричного аналізу складних механічних систем.

Виклад основного матеріалу. Аналіз відкритих джерел в системі *World Wide Web* дає змогу виокремити релевантні програмні засоби, що допомагають виконувати синтез та аналіз складних механічних систем (табл. 1).

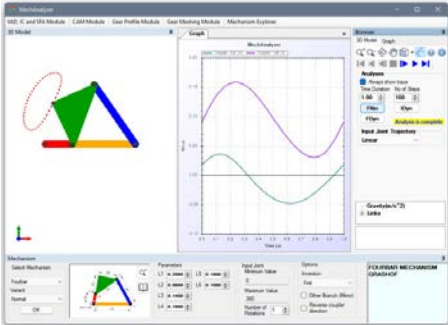
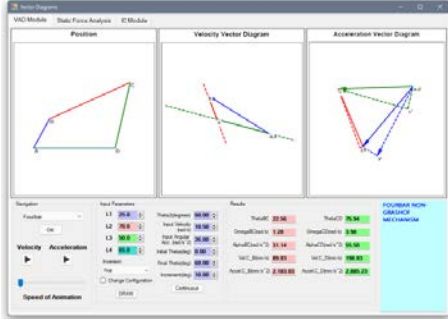
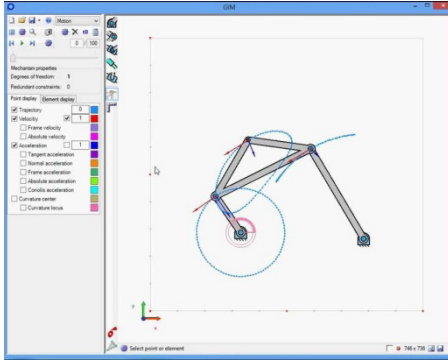
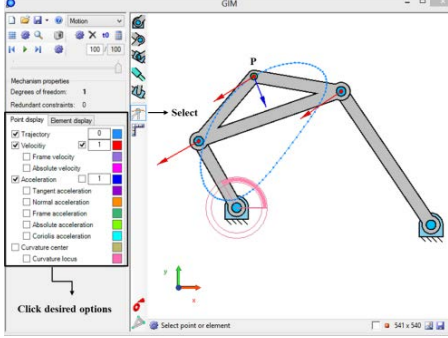
Отже, наголосимо, *MechAnalyzer Software*, *GIM Software*, *MechDesigner Software*, *Mechanism Generator SolidWorks* і *Mechanism Developer (MechDev)* – це п'ять потужних програм для синтезу й аналізу складних механізмів. Вони дають змогу моделювати різні типи механізмів, зокрема зубчасті колеса, ланцюгові передачі, кривошипно-повздовжні механізми, кулачкові механізми та інші. Кожна із цих програм має свої особливості й переваги. *MechAnalyzer Software* і *GIM Software* забезпечують детальний аналіз динаміки механізмів, зокрема визначення швидкостей, прискорень і моментів на різних точках механізму, а також можливість виконання оптимізації механізмів.

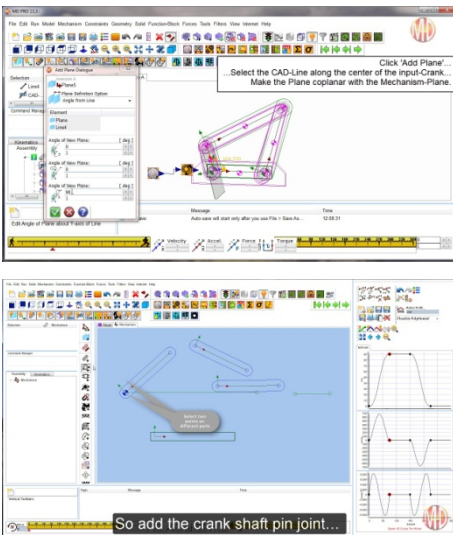
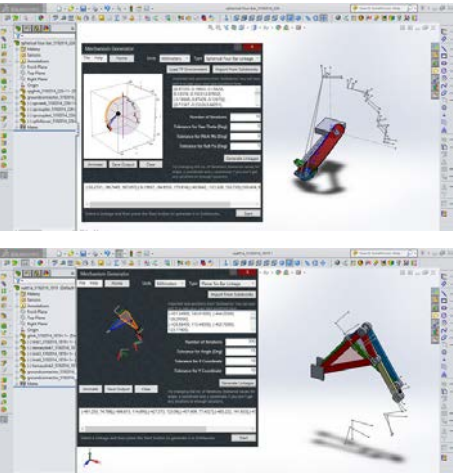
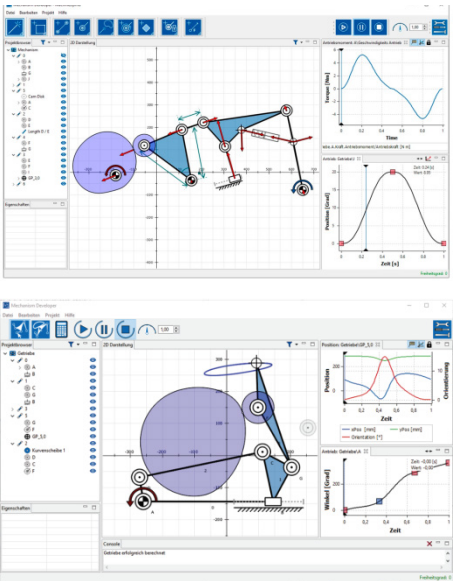
MechDesigner Software і *Mechanism Generator SolidWorks* є інтегрованими з програмами *CAD* і забезпечують широкі можливості для моделювання та відлагодження механізмів, зокрема графічний інтерфейс та інструменти для визначення кінематичних і кінетичних параметрів.

Mechanism Developer (MechDev) має інтуїтивний інтерфейс і підтримує імпорт та експорт моделей у різних форматах, як-от *STEP*, *IGES* і *STL*.

Усі перераховані програмні засоби призначені для синтезу й аналізу складних механізмів. Розглянуті програмні продукти пропонують схожі можливості для моделювання різних механізмів,

Характеристика програмних засобів для синтезу й аналізу складних механічних систем

Назва ПЗ	Загальний вид інтерфейсу	Короткий опис і посилання
<p><i>MechAnalyzer Software</i></p>	 	<p><i>MechAnalyzer Software</i> – це програмне забезпечення для синтезу й аналізу складних механізмів, яке допомагає моделювати різноманітні механізми, зокрема зубчасті колеса, ланцюгові передачі, кривошипно-повздовжні механізми, кулачкові механізми та багато інших. Програма дає змогу визначити параметри механізмів, зокрема розміри й форму елементів, а також аналізувати їхню динаміку, визначаючи швидкості, прискорення та моменти на різних точках механізму. (http://www.mechanalyzer.com/)</p>
<p><i>GIM Software</i></p>	 	<p><i>GIM Software</i> – програмне забезпечення для синтезу й аналізу складних механізмів із можливістю моделювання механізмів із довільною кількістю ступенів свободи, зокрема зубчастих коліс, ланцюгових передач, кривошипно-повздовжніх і кулачкових механізмів. Програма допомагає визначити кінематичні, кінетичні й динамічні характеристики механізмів і проводити аналіз динаміки, зокрема визначення швидкостей, прискорень і моментів на різних точках механізму, оцінювання впливу параметрів на динаміку механізму й визначення залишкового ресурсу. (https://www.ehu.eus/compmech/software/)</p>

Назва ПЗ	Загальний вид інтерфейсу	Короткий опис і посилання
<p><i>MechDesigner Software</i></p>		<p><i>MechDesigner Software</i> – програмне забезпечення для синтезу й аналізу складних механізмів із графічним інтерфейсом та інструментами для відлагодження механізмів. Допомогає моделювати різноманітні механізми з кінематичними зв'язками й елементами, зокрема зубчасті колеса, ланцюгові передачі, кривошипно-повздовжні механізми, кулачкові механізми та інші, а також проводити аналіз динаміки й оптимізацію кінематичних і кінетичних параметрів. (https://psmotion.com/mechdesigner-leading-mechanism-machine-design-software)</p>
<p><i>Mechanism Generator SolidWorks</i></p>		<p><i>Mechanism Generator SolidWorks</i> – ПЗ для синтезу й аналізу складних механізмів, що інтегрується із програмним забезпеченням <i>SolidWorks</i>. Допомогає моделювати механізми з кількома ступенями свободи, зокрема зубчасті колеса, ланцюгові передачі, кривошипно-повздовжні механізми, кулачкові механізми та інші. <i>Mechanism Generator SolidWorks</i> визначає кінематичні й кінетичні параметри механізмів та аналізує їхню динаміку. Також дає змогу виконувати оптимізацію механізмів за різними критеріями, наприклад за мінімальною вагою або максимальною продуктивністю. (https://www.solidworks.com/partner-product/mechanism-generator)</p>
<p><i>Mechanism Developer (MechDev)</i></p>		<p><i>Mechanism Developer (MechDev)</i> – програмне забезпечення для моделювання та аналізу складних механізмів із можливістю визначення кінематичних і кінетичних параметрів, аналізу динаміки, імпорту й експорту моделей у різних форматах. Допомогає моделювати різноманітні механізми з кількома ступенями свободи, зокрема зубчасті колеса, ланцюгові передачі, кривошипно-повздовжні механізми, кулачкові механізми та інші. MechDev розроблено <i>Machine Dynamics and Robotics of RWTH Aachen University</i> в Німеччині. (https://www.igmr.rwth-aachen.de/go/id/jkhp1/?lidz=1)</p>

зокрема зубчастих коліс, ланцюгових передач, кривошипно-повздовжніх механізмів і кулачкових механізмів. Крім того, ці програми забезпечують аналіз динаміки механізмів, зокрема визначення швидкостей, прискорень і моментів на різних точках механізму, оцінювання ступеня впливу відхилень параметрів на динаміку механізму й визначення кількості обертів, які може виконати механізм до виникнення зносу.

Визначення оптимального до потреб синтезу складних механічних систем та їхнього параметричного аналізу програмно-цифрового засобу серед виділеної номенклатури програмних продуктів здійснено за допомогою перехресного статистичного аналізу науково-експертних висновків і поширеності розглянутого програмного забезпечення.

Науково-експертні висновки формуються з урахуванням кількості наукових публікацій, присвячених кожному з розглянутих програмних засобів для синтезу й параметричного аналізу складних механічних систем (табл. 1), які визначають за допомогою наукометричних інструментів *Google Scholar* [11] (табл. 2).

Відповідно до наведених даних (табл. 2), найбільший науковий супровід дістало ПЗ *GIM Software* і *Mechanism Generator SolidWorks*.

Перевірку поширеності визначеної лінійки засобів синтезу й аналізу складних механізмів (табл. 1) виконано за допомогою сервісу *Google Trends* [17] (рис. 1, рис. 2, рис. 3).

Відповідно до наведених результатів про тенденційність і поширеність (рис. 1, рис. 2, рис. 3)

Таблиця 2

Результати аналітичних досліджень науково-експертних висновків

Назва ПЗ	Кількість публікацій, індексованих у <i>Google Scholar</i> [11]	Найактуальніша публікація
<i>MechAnalyzer Software</i>	60	А. Д. Дубей, С. Верма та П. Кумар (A. D. Dubey, S. Verma & P. Kumar) [12]
<i>GIM Software</i>	4210	С. Сінг та ін. (S. Singh et al.) [13]
<i>MechDesigner Software</i>	38	Р. Дікшітгаа та ін. (R. Dikshithaa et al.) [14]
<i>Mechanism Generator SolidWorks</i>	3950	М. Лю та ін. (M. Liu et al.) [15]
<i>Mechanism Developer (MechDev)</i>	518	Т. Кноблок, В. Брюнджес, М. Х'юсінг та Б. Корвес (T. Knobloch, V. Brünjes, M. Hüsing & B. Corves) [16]

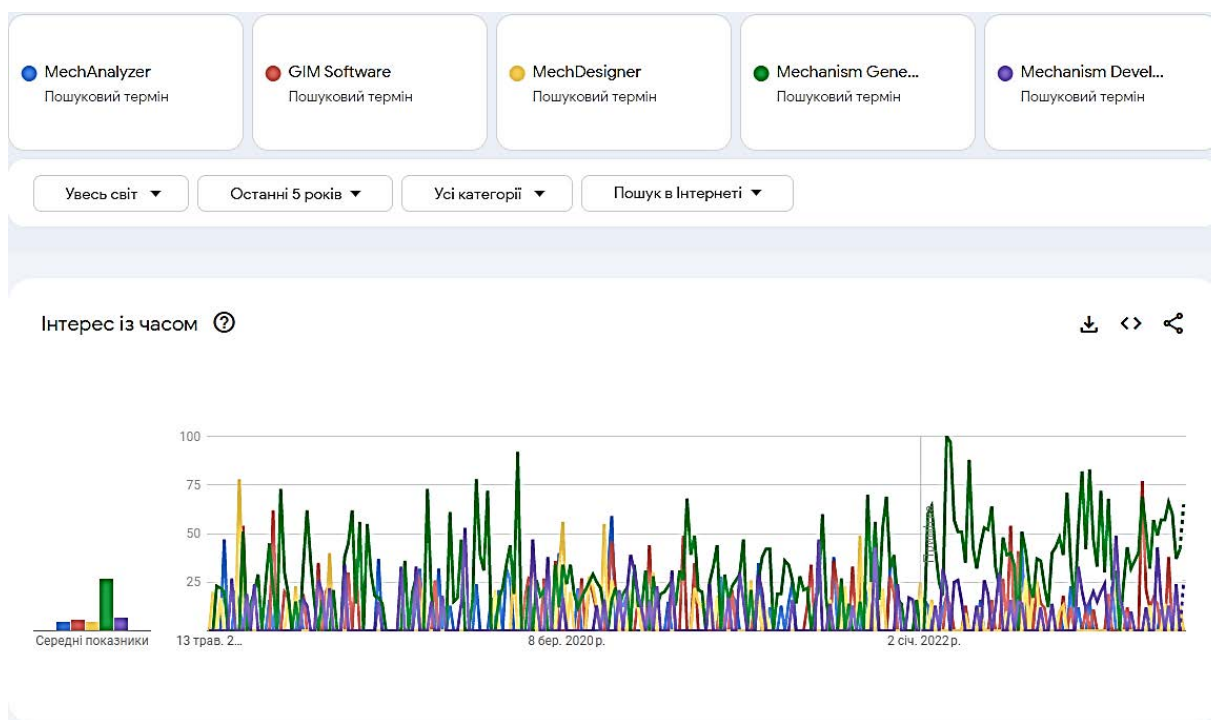


Рис. 1. Аналіз активності запитів *Google* за останні п'ять років [17]

Перехресний аналіз відносних рейтингів ПЗ для синтезу й аналізу механізмів
Google Scholar [11] і *Google Trends* [17]

Назва ПЗ	Кількість публікацій, індексованих в <i>Google Scholar</i> [11]	Рейтинг <i>Google Trends</i> [17]	Відносний рейтинг <i>Google Scholar</i> [11]	Відносний рейтинг <i>Google Trends</i> [17]	Оптимізований рейтинг
<i>MechAnalyzer Software</i>	60	15	0,00137	0,079	0,080
<i>GIM Software</i>	4210	35	0,47972	0,184	0,664
<i>MechDesigner Software</i>	38	25	0,00433	0,132	0,136
<i>Mechanism GeneratorSolidWorks</i>	3950	75	0,45009	0,395	0,845
<i>Mechanism Developer (MechDev)</i>	518	40	0,05902	0,211	0,270

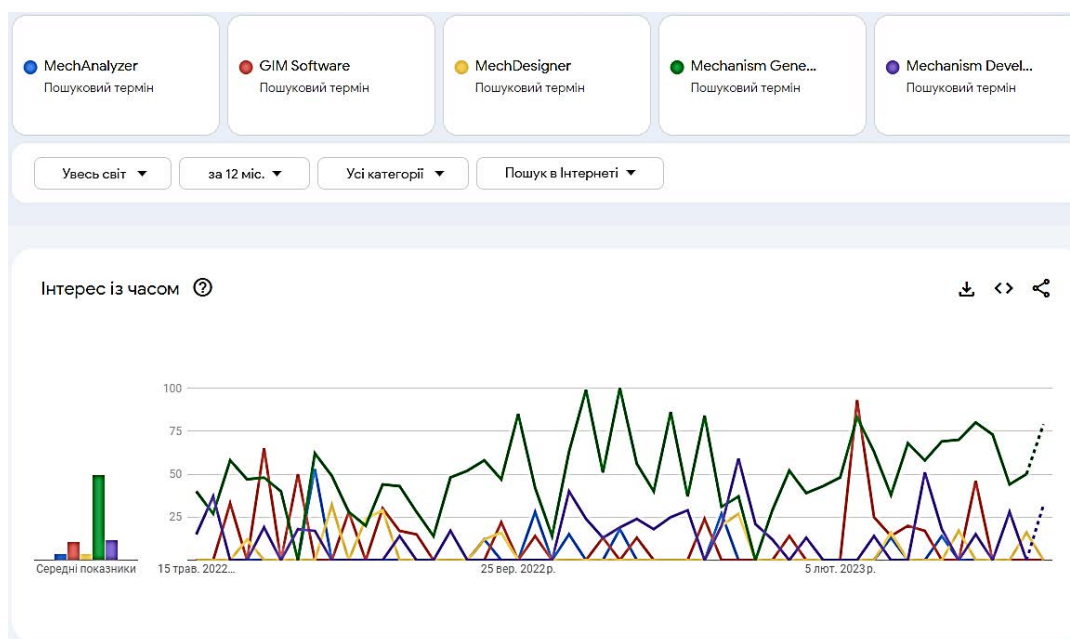


Рис. 2. Аналіз активності запитів *Google* за останній рік [17]

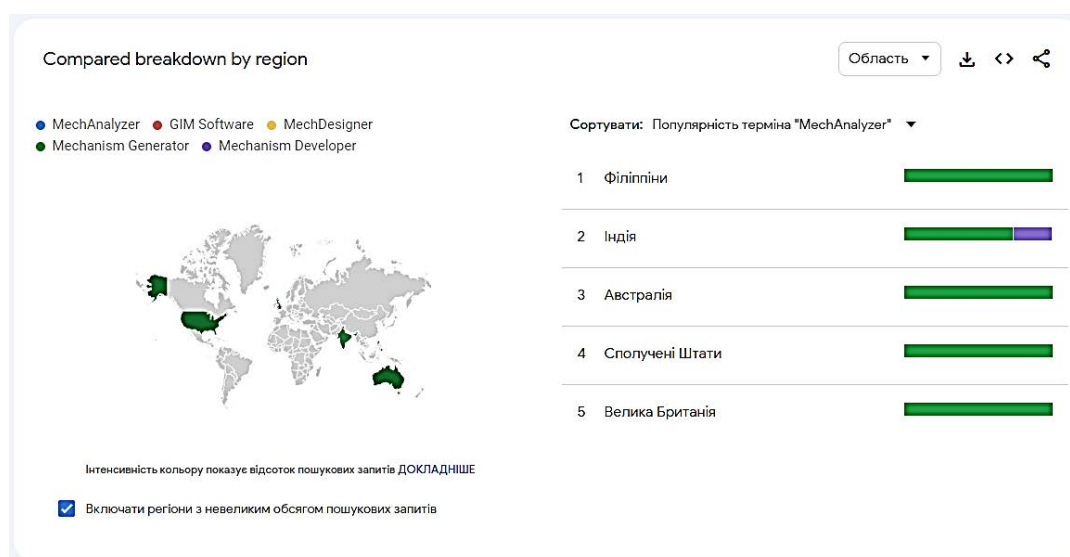


Рис. 3. Аналіз поширеності набору досліджуваних ПЗ [17]

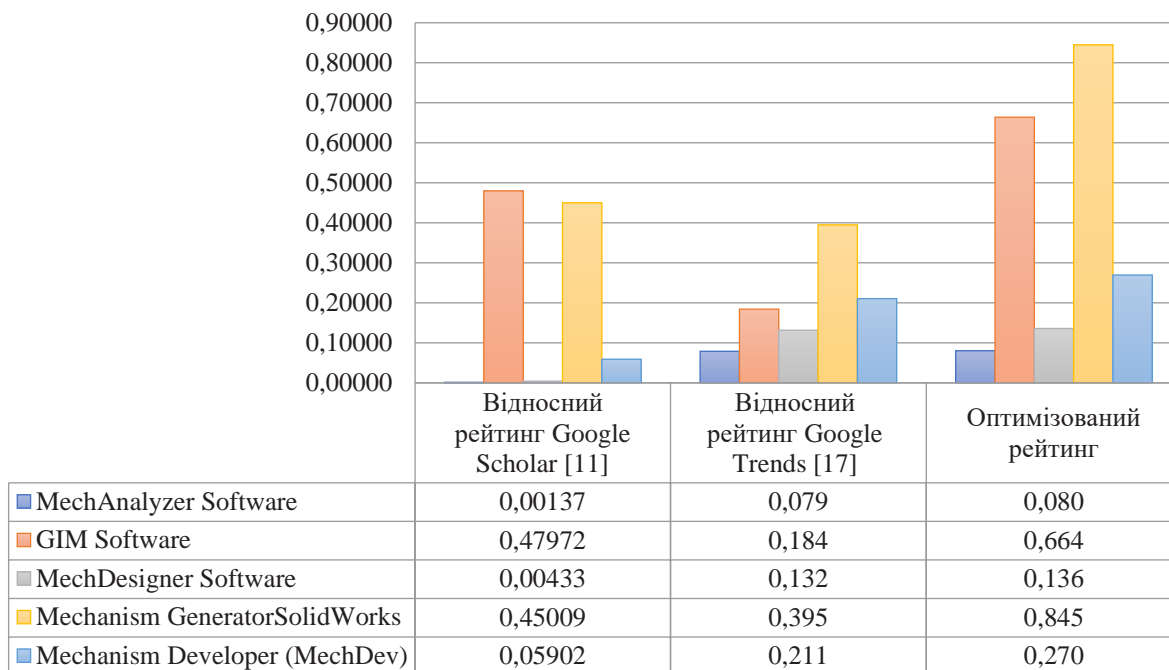


Рис. 4. Графічна інтерпретація результатів перехресного аналізу відносних рейтингів ПЗ для синтезу й аналізу механізмів *Google Scholar* [11] і *Google Trends* [17]

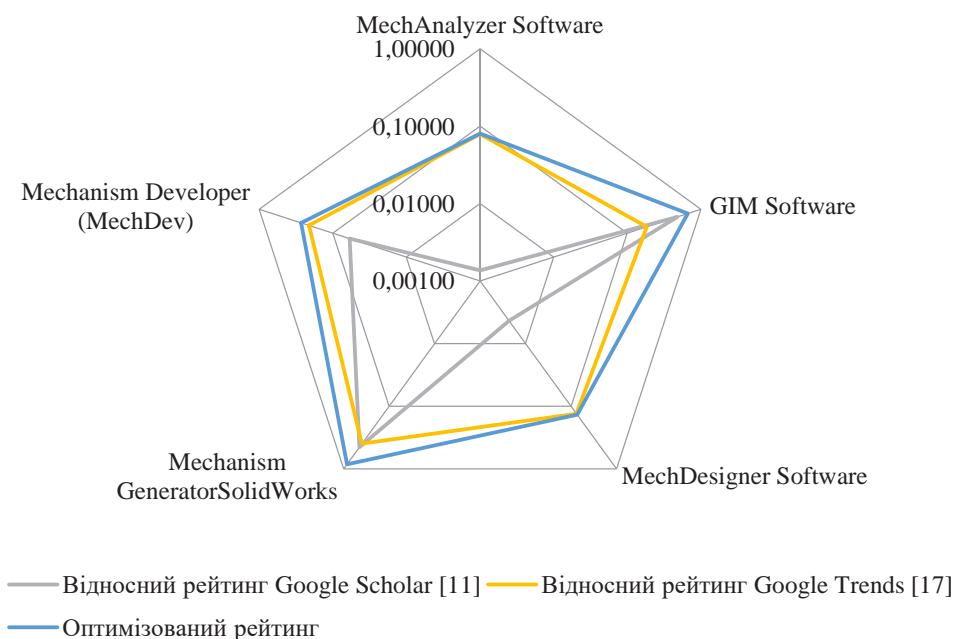


Рис. 5. Визначення оптимального ПЗ для синтезу й аналізу механізмів

виокремленої номенклатури програмних засобів (табл. 1) встановлено, що найбільш вживаними та поширеними програмними продуктами є *Mechanism Generator SolidWorks*, *GIM Software* і *Mechanism Developer (MechDev)*.

Оптимальний програмний засіб для синтезу й параметричного аналізу складних механічних

систем визначено за допомогою перехресного статистичного аналізу (табл. 3, рис. 4, рис. 5).

Отже, за результатами перехресного аналізу (табл. 3, рис. 4, рис. 5) оптимальним програмним засобом для дослідження властивостей складних механічних систем у контексті аналізу й синтезу різних типів механізмів є *Mechanism Generator SolidWorks*.

Висновки. За результатами розгляду предметної сфери стосовно дослідження властивостей складних механічних систем у контексті аналізу й синтезу різних типів механізмів встановлено такі аспекти:

- актуальність проблематики дослідження механізмів базується на постійному використанні механічних систем та оптимізації їхніх експлуатаційних параметрів: динамічних навантажень, вібростійкості, трибологічної витривалості, термічної стійкості тощо. Досягнути такої мети можливо з використанням цифрових інструментів і середовищ синтезу;

- більшість наукових праць спрямована на дослідження параметрів функціонування механічних систем окремих конструктивно-технічних

рішень, однак відсутні дослідження про оптимальні засоби синтезу складних механізмів і систем;

- за результатами дослідження визначено номенклатуру релевантних програмних засобів, що дають змогу виконувати синтез і параметричний аналіз складних механічних систем: *MechAnalyzer Software*, *GIM Software*, *MechDesigner Software*, *Mechanism Generator SolidWorks* і *Mechanism Developer (MechDev)*;

- відповідно до результатів перехресного аналізу визначено, що оптимальним програмним засобом для дослідження властивостей складних механічних систем у контексті аналізу й синтезу різних типів механізмів є *Mechanism Generator SolidWorks*.

Список літератури:

1. Vaiana N., Capuano R., & Rosati L. Evaluation of path-dependent work and internal energy change for hysteretic mechanical systems. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2023. Vol. 186. P. 109862. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2022.109862> (date of access: 08.05.2023).
2. Vaiana N., Capuano R., & Rosati L. Evaluation of path-dependent work and internal energy change for hysteretic mechanical systems. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2023. Vol. 186. P. 109862. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2022.109862> (date of access: 08.05.2023).
3. Sirichotiyakul W., & Satici A. C. Data-driven passivity-based control of underactuated mechanical systems via interconnection and damping assignment. *International Journal of Control*. 2023. Vol. 96. No. 6. P. 1448–1456. URL: <https://doi.org/10.1080/00207179.2022.2051750> (date of access: 08.05.2023).
4. Celledoni E., Leone A., Murari D., & Owren B. Learning Hamiltonians of constrained mechanical systems. *Journal of Computational and Applied Mathematics*. 2023. Vol. 417. P. 114608. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cam.2022.114608> (date of access: 08.05.2023).
5. Macaulay M. O., & Shafiee M. Machine learning techniques for robotic and autonomous inspection of mechanical systems and civil infrastructure. *Autonomous Intelligent Systems*. 2022. Vol. 2. No. 1. P. 8. URL: <https://doi.org/10.1007/s43684-022-00025-3> (date of access: 08.05.2023).
6. Jiang D., Chen T., Xie J., Cui W., & Song B. A mechanical system reliability degradation analysis and remaining life estimation method—With the example of an aircraft hatch lock mechanism. *Reliability Engineering & System Safety*. 2023. Vol. 230. P. 108922. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108922> (date of access: 08.05.2023).
7. Mercier A., & Jézéquel L. Nonlinear and stochastic analysis of dynamical instabilities based on Chebyshev polynomial properties and applied to a mechanical system with friction. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2023. Vol. 189. P. 110051. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2022.110051> (date of access: 08.05.2023).
8. Zhu J., Li H., Wei S., & Song S. A framework for uncertainty quantification of mixed lubrication of conformal contacts in multilevel systems. *Advances in Engineering Software*. 2023. Vol. 176. P. 103396.
9. Yang H., Jiang J., Chen G., & Zhao J. Dynamic load identification based on deep convolution neural network. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2023. Vol. 185. P. 109757. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2022.109757> (date of access: 08.05.2023).
10. Feng K., Ji J. C., Ni Q., & Beer M. A review of vibration-based gear wear monitoring and prediction techniques. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2023. Vol. 182. P. 109605. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2022.109605> (date of access: 08.05.2023).
11. Hao J., Yao Z., Li C., Song W., Miao H., Xu M., & Liu Z. Dynamic characteristics analysis of asynchronous motorized spindle considering combined unbalanced magnetic pull and nonlinear bearing restoring force effects. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2023. Vol. 185. P. 109807. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2022.109807> (date of access: 08.05.2023).
12. Google Scholar. 2023. URL: <https://scholar.google.com/> (date of access: 08.05.2023).
13. Dubey A. D., Verma S., & Kumar P. Analysis of Double Wishbone Suspension System Using MechAnalyzer. In *Advances in Mechanical and Energy Technology: Select Proceedings of ICMEET 2021*. Singapore: Springer Nature Singapore. 2022. P. 245–255. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-19-1618-2_24 (date of access: 08.05.2023).
14. Singh S., Zuber M., Hamidon M. N., Azriff Basri A., Mazlan N., & Ahmad K. A. Kinematic Investigations of a Novel Flapping Actuation Design with Mutually Perpendicular 3 Cylindrical Joint Approach for FW-Drones.

Biomimetics. 2023. Vol. 8. No. 2. P. 160. URL: <https://doi.org/10.3390/biomimetics8020160> (date of access: 08.05.2023).

15. Dikshithaa R., Jain S., Swaminathan J., Chittawadigi R. G., & Saha S. K. MechAnalyzer: software to teach kinematics concepts related to cams, gears, and instantaneous center. In *Mechanism and Machine Science: Select Proceedings of Asian MMS 2018*. Springer Singapore. 2021. P. 135–149. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-15-4477-4_10 (date of access: 08.05.2023).

16. Liu M., Grinberg Dana A., Johnson M. S., Goldman M. J., Jocher A., Payne A. M., ... & Green W. H. Reaction mechanism generator v3. 0: advances in automatic mechanism generation. *Journal of Chemical Information and Modeling*. 2021. Vol. 61. No. 6. P. 2686–2696. URL: <https://doi.org/10.1021/acs.jcim.0c01480> (date of access: 08.05.2023).

17. Knobloch T., Brünjes V., Hüsing M., & Corves B. Analyse von Koppel-, Kurven, Räder- und Räderkoppelgetrieben mit Mechanism Developer (MechDev). *GETRIEBETAGUNG*. 2022. Vol. 23. URL: <https://d-nb.info/1268673331/34#page=25> (date of access: 08.05.2023).

18. Google Trends. 2023. URL: <https://trends.google.com/home> (date of access: 08.05.2023).

Kaidash M.D. RESEARCH OF THE PROPERTIES OF COMPLEX MECHANICAL SYSTEMS IN THE CONTEXT OF THE ANALYSIS AND SYNTHESIS OF DIFFERENT TYPES OF MECHANISMS

The article deals with the problems of researching the properties of complex mechanical systems in the context of the analysis and synthesis of various types of mechanisms. The relevance of this issue is emphasized, since mechanical systems are widely used in various fields of engineering and production, therefore, optimizing their operational parameters is an important task. The study of the parameters of the functioning of mechanical systems is the subject of many scientific works, but there are no studies on the optimal means of synthesis of complex mechanisms and systems. Based on the results of the examination of the subject area, a nomenclature of software tools was determined that allow the synthesis and parametric analysis of complex mechanical systems, including MechAnalyzer Software, GIM Software, MechDesigner Software, Mechanism Generator SolidWorks and Mechanism Developer (MechDev).

During the cross-analysis, it was determined that the most the optimal software tool for studying the properties of complex mechanical systems in the context of analysis and synthesis of various types of mechanisms is Mechanism Generator SolidWorks. Using an optimal software tool for studying the properties of complex mechanical systems is an important task in modern mechanical engineering. The practical significance lies in the possibility of using the optimal software tool for the development and improvement of mechanical systems in various industries. The use of appropriate software can help improve the quality and productivity of the mechanical systems being developed and reduce the time and costs of research and design. Therefore, the determination of the optimal software tool for studying the properties of complex mechanical systems has important scientific and practical significance and can be used for the further development of mechanical engineering.

Key words: *mechanical systems, synthesis, analysis, GIM Software, Mechanism Generator SolidWorks.*