

УДК 514.18

ГРАФІЧНІ КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ НЕХАОТИЧНИХ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

Семків О. М., д.т.н.,

semkiv@nuczu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-9347-0997

Калиновський А. Я., к.т.н.,

kalinovskiy.a@nuczu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-1021-5799

Сухарькова О. І,

lena_sukharkova@i.ua, ORCID: 0000-0003-1033-4728*Національний університет цивільного захисту України (м. Харків, Україна)*

Розглянуто приклади застосування технології проектування механічних систем, що базуються на елементах комп'ютерної графіки. Розвинуто теми робіт, де графічні комп'ютерні технології використовувались для дослідження маятникових механічних систем. Тобто розрахунку параметрів механічної системи так, щоб її маятникові коливання стали періодичними (нехаотичними). Для розвитку досліджень необхідно комп'ютерні графічні технології проектування адаптувати для інших механічних систем з метою надання їх рухам технологічної не хаотичності завдяки обраним допустимим значенням параметрів.

*В роботі застосовується метод Лагранжа для консервативних динамічних систем. Для визначення наближеного розв'язку системи рівнянь Лагранжа другого роду необхідно допустимі значення параметрів системи погодити між собою за допомогою методу проєкційного фокусування. Ці етапи здійснюються шляхом графічних побудов в середовищі пакету *maple*. Достовірність одержаного розв'язку перевіряється за допомогою його унаочнення засобами комп'ютерних анімацій. Таке унаочнення дозволить відокремити технологічні нехаотичні рухи елементів механічної системи шляхом належного вибору її параметрів.*

Як приклади застосування графічних технологій розв'язано задачі.

1. Розроблено варіанти забезпечення горизонтального переміщення візка завдяки нехаотичним коливанням маятників, пов'язаних з цим візком. А саме: а) двох маятників (по різні боки візка); б) двох маятників під візком; в) одного пружинного маятника під візком.

2. Розроблено спосіб розрахунку коливань транспортних засобів на прикладі: а) коливання залізничного вагона; б) коливання причепа для перевезення небезпечних вантажів.

3. Розроблено спосіб визначення траєкторії переміщення корисного вантажу металльної машини для варіантів: а) як катапульти для запуску безпілотників; б) як требушет з вертикальним переміщенням противаги.

Ключові слова: комп'ютерна графіка, рівняння Лагранжа другого

роду, метод проєкційного фокусування, машина потребує.

Постановка проблеми. Тема даної статті виникла як продовження теми робіт, де графічні комп'ютерні технології використовувались для дослідження маятникових механічних систем. А саме, розрахункам параметрів певної системи з метою забезпечення не хаотичності її маятникових коливань. Логічним продовженням цих досліджень були б розробки графічних технологій проєктування інших механічних систем з метою надання їх рухам технологічної не хаотичності завдяки вибору відповідних параметрів.

В роботі застосовується метод Лагранжа для консервативних динамічних систем (тобто таких, де сума кінетичної і потенціальної енергій є незмінною). Крім того, приймаються традиційні умови ідеалізації: тертя у вузлах під час коливань відсутнє, елементи системи не деформуються, параметри й початкові значення вузлів задаються в умовних одиницях, тощо.

В загальному вигляді проєктування механічної системи складається з таких кроків.

1. Обчислюються кінетична і потенціальна енергії динамічної системи, і визначається лагранжіан як різниця їх виразів.
2. За допомогою лагранжіана складається система рівнянь Лагранжа другого роду відносно обраних узагальнених координат.
3. Визначаються наближені розв'язки системи диференціальних рівнянь Лагранжа другого роду (здійснюється за допомогою пакету *maple*- програм).
4. Параметри одержаного розв'язку погоджуються між собою за допомогою методу проєкційного фокусування (здійснюється шляхом графічних побудов в середовищі пакету *maple*).
5. Достовірність розв'язку перевіряється за допомогою його унаочнення засобами комп'ютерної графіки у вигляді анімацій.

Зазначимо, що саме четвертий і п'ятий кроки покладено в основу графічних технологій проєктування механічних систем з метою надання технологічної не хаотичності їх рухам шляхом належного вибору параметрів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основу графічних комп'ютерних технологій дослідження механічних систем складають графічні співвідношення між інтегральними кривими і фазовими траєкторіями. Для використання зазначених співвідношень необхідно наближено розв'язати систему рівнянь Лагранжа другого роду. З врахуванням початкових умов визначаються інтегральні криві одержаного розв'язку у фазових просторах відповідних узагальнених координат. Проєкції інтегральних кривих на координатну площину утворюють фазові траєкторії. Такий «проєкційний» зв'язок між інтегральними кривими і фазовими траєкторіями дозволяє визначати невідомий параметр через

відомі. Наприклад, якщо значення деякого параметра невідоме, то його можна визначити за допомогою метода проєкційного фокусування.

Суть метода проєкційного фокусування полягає у наступному [1]. Спочатку обираємо початковий набір значень параметрів задачі, користуючись певними емпіричними міркуваннями. З цими значеннями розв'язуємо систему рівнянь Лагранжа другого роду. Одержані наближені розв'язки унаочнюємо у вигляді інтегральних кривих у відповідних фазових просторах функцій узагальнених координат. Далі обираємо один з параметрів у якості змінного. Визначаємо критичні значення цього параметра. Для цього інтегральну криву слід спроекувати на площину параметрів і одержати фазові криві. Критичні значення параметра характеризуються локально мінімальними площами, які утворюють «зображення» фазових кривих.

Метод проєкційного фокусування особливо доцільний з використанням комп'ютерної графіки. Фазові траєкторії (як проєкції інтегральних кривих) можна «оживити» залежно від змінного параметра. Тоді наочно можна спостерігати, як в певні моменти на фазовій площині будуть утворюватися регулярні фазові траєкторії, відмінні від хаотичного скупчення ліній. Це відбувається тоді, коли значення змінного параметра буде дорівнювати певному критичному значенню.

За цією схемою були знайдені критичні значення параметра для деяких задач, розглянутих в даній роботі. Існування нехаотичної траєкторії руху маятника як розв'язку системи рівнянь також ілюструється за допомогою комп'ютерної анімації, що актуально для такого типу задач.

Формулювання цілей статті. Розвинути графічні технології проектування механічних систем з метою надання їм нехаотичного руху шляхом належного вибору допустимих параметрів.

Основна частина. В якості прикладів графічних технологій проектування механічних систем розглянуто розв'язання таких задач.

Задача 1. Розробити варіанти забезпечення горизонтального переміщення візка завдяки нехаотичним коливанням маятників, поєднаних з цим візком. А саме: а) двох маятників по обидва боки візка; б) двох маятників під візком; в) одного пружинного маятника під візком.

Інерціод Толчина [2] є прикладом машини безопірної руху. Схема інерціода наведена на рис. 1. Прилад складається з візка, до якого прикріплено два маятника. Вони здійснюють обертові синхронні рухи з різними кутовими швидкостями. В роботі [3] наведено диференціальні рівняння Лагранжа другого роду для опису цих рухів. При цьому у якості узагальнених координат обрано кути обертання і зміщення візка вздовж осі координат.

Після розв'язання рівнянь Лагранжа другого роду та погодження параметрів одержуємо опис траєкторій руху вантажів маятників.

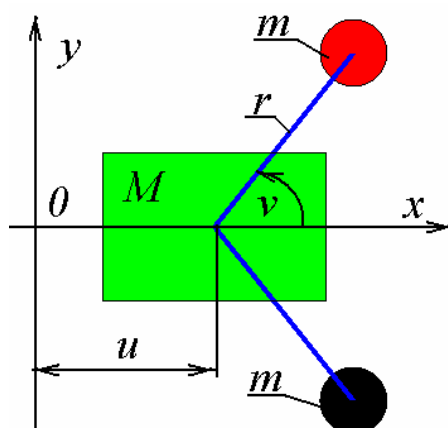


Рис. 1. Схема машини Толчина

Унаочнення розв'язків засобами комп'ютерної анімації дозволяє визначити значення параметрів для руху візка без зупинок (рис. 2) або з зупинками (рис. 3).

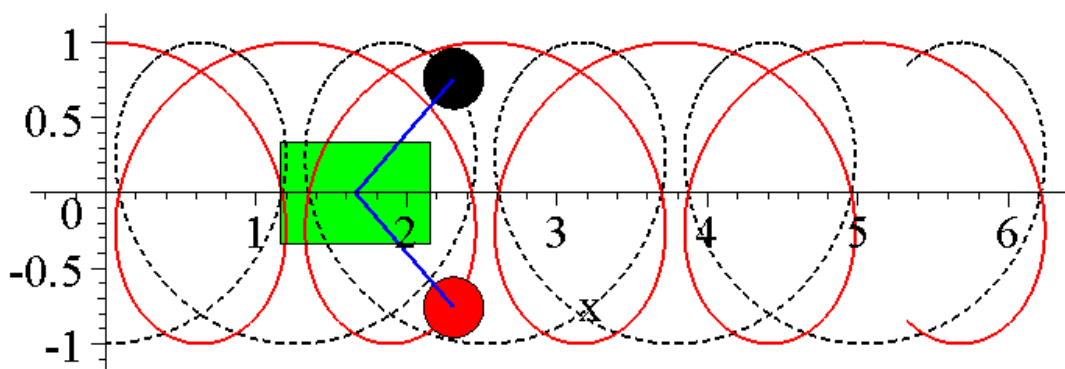


Рис. 2. Траєкторії вантажів маятників для руху візка без зупинок

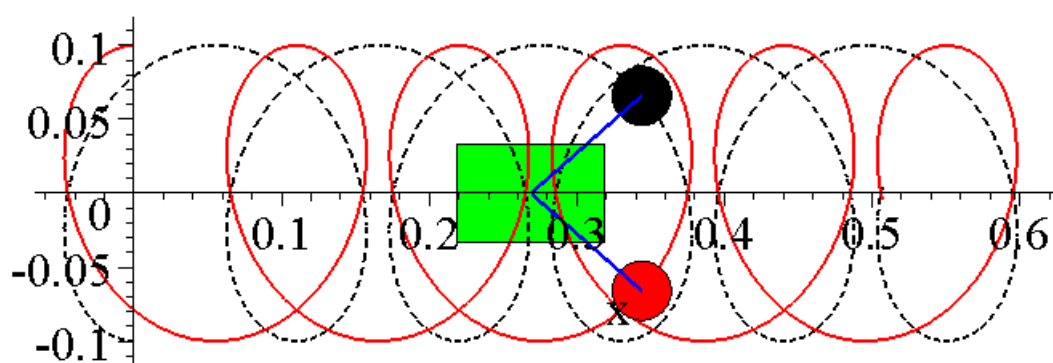


Рис. 3. Траєкторії вантажів маятників для руху візка з зупинками

У певному розумінні узагальненням інерціюїда Толчина буде варіант розташування обох маятників під візком (рис. 4). В роботі [4] наведено рівняння Лагранжа другого роду для опису переміщення візка завдяки коливанням маятників. При цьому у якості узагальнених координат обрано кути коливання та зміщення візка вздовж осі координат.

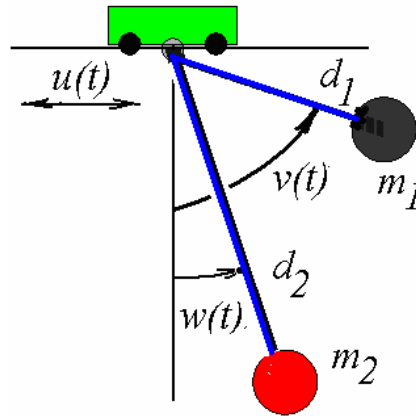


Рис. 4. Схема візка з двома маятниками під цим візком

Після розв'язання рівнянь Лагранжа другого роду та погодження параметрів за допомогою метода проєкційного фокусування одержуємо опис траєкторій руху обох вантажів маятників. На рис. 5 наведено кадр комп'ютерної анімації траєкторій руху вантажів маятників та візка.

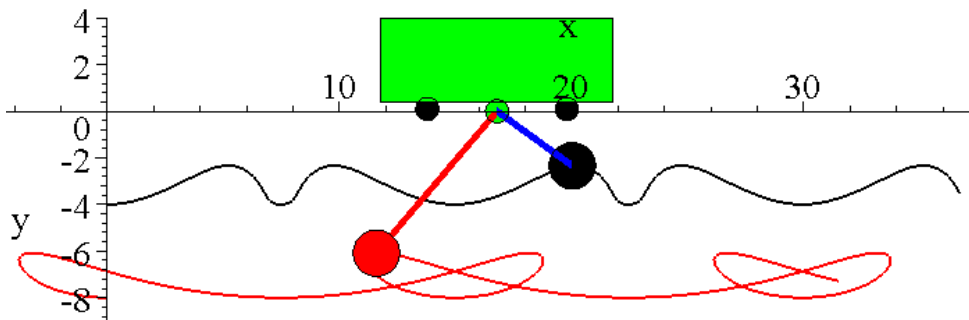


Рис. 5. Траєкторії вантажів маятників для руху візка

Також цікавим буде узагальнення ідеї інерціода, коли в якості маятника буде хитна пружина, розташована під візком (рис. 6).

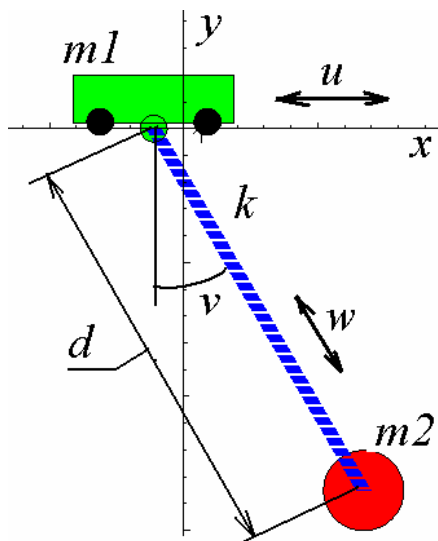


Рис. 6. Схема візка з пружинним маятником під цим візком

В роботі [5] наведено рівняння Лагранжа другого роду для опису переміщення візка завдяки коливанням такого маятника. При цьому у якості узагальнених координат обрано кут коливання та зміщення візка вздовж осі координат. Після розв'язання рівнянь Лагранжа другого роду та погодження параметрів за допомогою метода проєкційного фокусування одержуємо опис траєкторії руху вантажу маятника. Унаочнення розв'язків засобами комп'ютерної анімації дозволяє визначити варіанти швидкості руху візка шляхом вибору відповідних значень параметрів. На рис. 7 наведено кадр комп'ютерної анімації зображення траєкторії переміщення вантажу маятника для забезпечення руху візка в цілому.

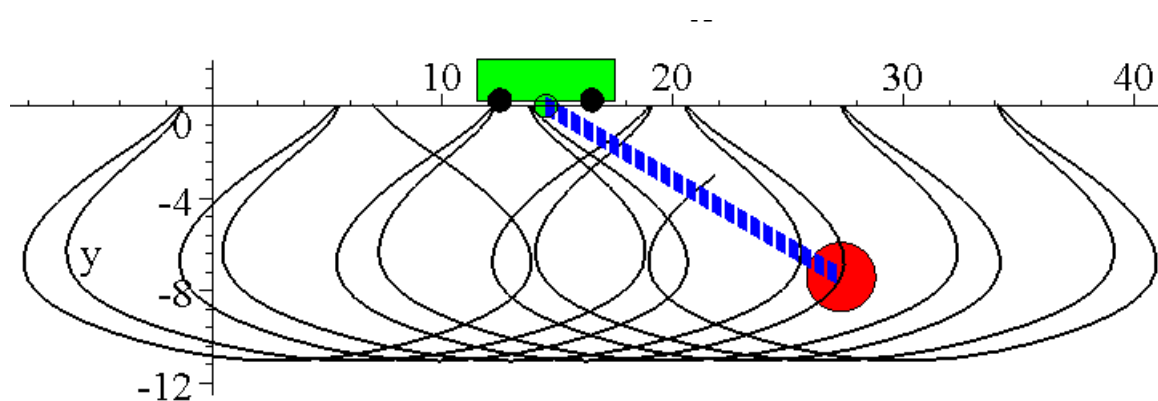


Рис. 7. Траєкторія переміщення вантажу маятника

Задача 2. Розробити спосіб розрахунку коливань транспортних засобів на прикладі: а) коливання залізничного вагона; б) коливання причепа для перевезення небезпечних вантажів.

В роботах [6] і [7] наведено схеми відповідних транспортних засобів та рівняння Лагранжа другого роду для опису коливань. Ілюстрації мають громіздкий вигляд і тут не наводяться.

Задача 3. Розробити спосіб визначення траєкторії переміщення корисного вантажу гравітаційної металюної машини для варіантів: а) як катапульти для запуску безпілотників; б) як требушет з вертикальним переміщенням противаги.

На рис. 8 зображено традиційну схему катапульти типу требушет. Механізм складається з основного важеля, до якого через тяги приєднано корисний вантаж і противаги. В роботі [8] наведено диференціальні рівняння Лагранжа другого роду для опису траєкторії руху корисного вантажу. При цьому у якості узагальнених координат обрано кути. Після розв'язання рівнянь Лагранжа другого роду та погодження параметрів одержуємо опис траєкторій руху вантажів маятників.

В роботі [8] розглянуто можливість використання катапульти типу требушет як засобу запуску моделей безпілотних літаків. При цьому у якості противаги можна використовувати сам транспортний засіб (автомобіль). На рис. 9 наведено кадр комп'ютерної анімації схеми використання катапульти требушет з автомобілем у якості противаги.

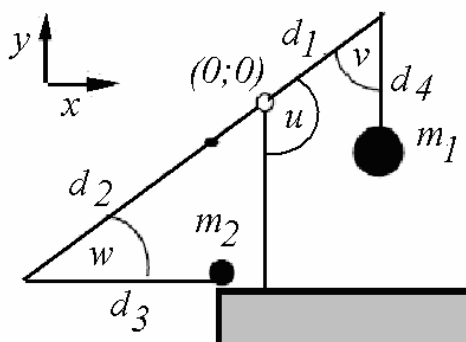


Рис. 8. Традиційна схема катапульти типу требушет

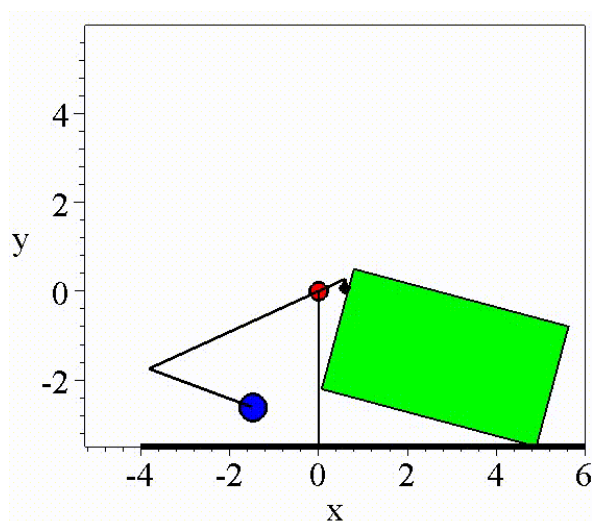


Рис. 9. Схема використання требушет з автомобілем-противагою

Далі розглянемо требушет з вертикальним переміщенням противаги (рис. 10). В роботі [9] наведено диференціальні рівняння Лагранжа другого роду для опису траєкторії руху корисного вантажу. При цьому у якості узагальнених координат обрано кути, зображені на рисунку.

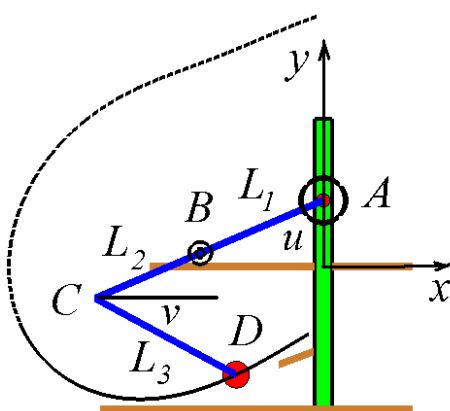


Рис. 12. Схема требушет з вертикальним рухом противаги

Після розв'язання рівнянь Лагранжа другого роду та погодження параметрів одержуємо опис траєкторій руху вантажу требушет (рис. 13).

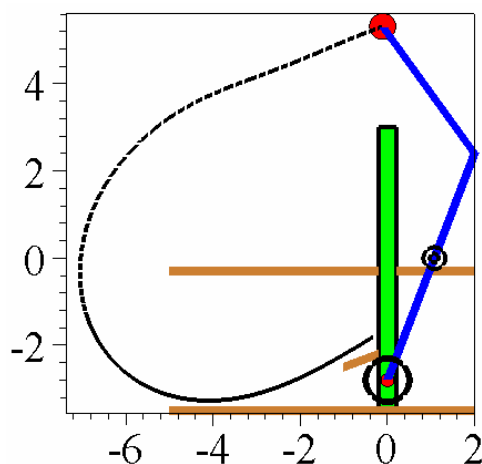


Рис. 13. Траєкторія вантажу на кінцевій фазі метання

Параметри установки слід обрати так, щоб кінцевий відрізок траєкторії мав лінійний характер, що зручно для подальших розрахунків.

Висновки. Розглянуто конкретні приклади графічних технологій проектування механічних систем з метою надання їм нехаотичного руху шляхом належного вибору допустимих параметрів. В роботі [10] наведені комп'ютерні анімації, які підтверджують одержані результати.

Література

1. Semkiv O., Shoman O., Sukharkova E., & Zhurilo A., Fedchenko H. Development of projection technique for determining the non-chaotic oscillation trajectories in the conservative pendulum systems *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 2, 4 (86). P. 48–57.
2. Толчин В.Н. Инерциод. Силы инерции как источник поступательного движения. Пермь: Пермское книжное издательство, 1977. 103 с. Режим доступа: http://second-physics.ru/lib/books/tolchin_inertioid.djvu
3. Семків О. М, Сухарькова О.І. Комп'ютерне моделювання руху маятникових аналогів інерціоїда В. М. Толчина. *Eurasian scientific discussions. Proceedings of the 4th International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing*. Barcelona, Spain. 2022. С. 209–218.
4. Сухарькова О. І, Семенова-Куліш В.В, Морозова Г.В, Бородін Д. Ю. Ініціювання руху візка за допомогою двох маятників. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь: МДПУ імені Богдана Хмельницького, 2017. Вип.8. С. 138–143.
5. Сухарькова О.І. Ініціювання горизонтального руху візка коливаннями приєднаного до нього маятника. *Матеріали III Міжнародної конференції «Весняні наукові читання» I частина* (м. Київ 28 квітня 2017р.). Київ: Центр наукових публікацій, 2017. С. 106–114.
6. Сухарькова О. І. Визначення коливань залізничного вагона у поздовжній вертикальній площині у середовищі пакету Maple. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2015. Вип. 3. С. 477–483.
7. Семків О. М, Сухарькова О. І. Експериментальна схема підвіски причепа

- для перевезення небезпечних вантажів. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь: МДПУ імені Богдана Хмельницького, 2016. Вип. 6. С. 104–108.
8. Куценко Л.М., Запольський Л. Л., Сухарькова О.І. Геометричне моделювання мобільної гравітаційної установки для запуску безпілотників типу літака. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2018. Вип. 94. С. 60–65.
 9. Сухарькова О. І. Геометричне моделювання дії требушет з вертикальним переміщенням протываги. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь: МДПУ імені Б. Хмельницького, 2018. Вип.13. С. 172–177.
 10. Куценко Л. М., Сухарькова О. І., Пікрасов М. М. Ілюстрації до статті "Графічні комп'ютерні технології проектування нехаотичних механічних систем", 2022. Режим доступу: URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/15557>

GRAPHIC COMPUTER TECHNOLOGIES FOR DESIGN OF NON-CHAOTIC MECHANICAL SYSTEMS

Oleg Semkiv, Andrii Kalinovskiy, Elena Sukharkova

The application of technology for designing mechanical systems, which are based on elements of computer graphics, is considered. The work develops the themes of works where graphic computer technologies were used to study pendulum mechanical systems. Those. calculating the parameters of a mechanical system so that its pendulum oscillations become periodic (non-chaotic). For the development of research, it is necessary to apply computer graphic design technologies to other mechanical systems in order to provide their movements with technological not chaotic due to the selection of acceptable parameter values. The work uses the Lagrange method for conservative dynamical systems. To determine the approximate solution of the system of Lagrange equations of the second kind, it is necessary to coordinate the allowable values of the system parameters with each other using the projection focusing method. These stages are carried out by graphical constructions in the environment of the maple package. Problems are solved as examples of the application of graphic technologies.

1. To develop options for ensuring the horizontal movement of the trolley due to non-chaotic oscillations of the pendulums associated with this trolley. Namely: a) two pendulums (on opposite sides of the cart); b) two pendulums under the cart; c) one spring pendulum under the cart.

2. Develop a method for calculating vehicle vibrations using the following example: a) railway car vibrations; b) oscillation of a trailer for the transport of dangerous goods.

3. Develop a method for determining the trajectory of the payload of a trebuchet machine for options: a) as a catapult for launching unmanned

vehicles; b) as trebuchet with vertical movement of the counterweight.

Keywords: computer graphics, Lagrange equation of the second kind, projection focusing method, trebuchet machine.

References

1. Semkiv O., Shoman O., Sukharkova E., & Zhurilo A., Fedchenko H. (2017). Development of projection technique for determining the non-chaotic oscillation trajectories in the conservative pendulum systems *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, 4 (86), 48–57 [in English].
2. Tolchin V.N. (1977). Inertcioid. Forces of inertia as a source of translational motion. Perm': Permskoe knizhnoe izdatel'stvo. Retrieved from: http://second-physics.ru/lib/books/tolchin_inertcioid.djvu [in Russian].
3. Semkiv O, Sukharkova E. (2022). Computer modeling of motion pendulum analogues tolchin's inertcioid. *Eurasian scientific discussions. Proceedings of the 4th International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing*. Barcelona, Spain. pp. 209–218 [in Ukrainian].
4. Sukharkova E., Semenova-Kulish V., Morozova G., & Borodin D. (2017). Initiation of truck traffic with the help of two pendulums. *Modern problems of modeling*, 8, 138–143 [in Ukrainian].
5. Sukharkova E. (2017). Horizontal movement initiation carts oscillations pendulum attached to it. *Materialy III Mizhnarodnoyi konferentsiyi «Vesnyani naukovi chitannya» I chastina (pp. 106–114)*. Kiïv: Centr naukovih publikacij [in Ukrainian].
6. Sukharkova E. (2015). Research vibrations of railway carriage in longitudinal vertical plane with maple. *Visnyk Khersonskogo natsionalnogo tekhnichnogo universytetu*, 3, 477–483[in Ukrainian].
7. Semkiv O, Sukharkova E. (2016). Experimental scheme of trailer suspension for transportation of dangerous goods. *Modern problems of modeling*, 6, 104 *Modern problems of modeling*, 8, 138–143.108 [in Ukrainian].
8. Kutsenko L., Zapolsky L., Sukharkova E. (2018). Geometrical modeling of mobile gravitational installation for starting the drones of a type of the aircraft. *Prikladna geometriya ta inzhenerna grafika*, 94, 60–65 [in Ukrainian].
9. Sukharkova E. (2018). Geometric modeling actions trebuchet with vertical movement of countertime. *Modern problems of modeling*, 13, 172–177 [in Ukrainian].
10. Kutsenko L., Sukharkova E., Piksasov M. (2022) Ilyustratsiyi do statti «Hrafichni kompyuterni tekhnolohiyi proektuvannya nekhaotychnykh mekhanichnykh system». [in Ukrainian]. Retrieved from: URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/15557>