

## А.М. БИКОВ, Т.А. ПЛАСТУН СТВОРЕННЯ ТА АНАЛІЗ ПЛАТФОРМИ СТЮАРТА ДЛЯ АВІАСИМУЛЯТОРА

Авіасимулятори вже великий проміжок часу використовують для підготовки пілотів будь-якого типу літаків. Такий вид тренувань більш економічний. Авіасимулятор покращує навички керування в екстремальних ситуаціях з мінімальними ризиками для майбутнього пілота. Навчання на авіасимуляторі дає змогу відтворити несприятливі погодні умови в будь-який період часу. Пілот знаходиться на землі в спеціальній кабіні, яка встановлюється на рухому платформу. Дана система потрібна для забезпечення максимально наближених до реальних умов польоту. Предметом дослідження в статті є авіаційний симулятор на платформі Стюарта. Мета полягає в створенні та аналізі платформи для авіасимулятора за допомогою програмного забезпечення. В роботі представлено вже існуючий авіасимулятор та його характеристики. Враховуючи його габаритні розміри та масу змодельовано платформу в системі SolidWorks. Вибрана та представлена кінематична схема конструкції типу (6-6). Наведено основне рівняння динаміки для розрахунку закону руху платформи за заданими величинами керуючих сил. Також за допомогою цього рівняння можливо знайти керуючі сили знаючи закон руху. Розроблена 3D модель складається з двох платформ, рухомої та нерухомої. За допомогою шарнірів до платформи кріпляться ноги з автоматично змінною довжиною. Підібрано матеріал алюмінієвого сплаву типу 2024 з якого створюється платформа. Проведено статичний аналіз навантаженої платформи. Під навантаженою платформою мається на увазі, що в місцях встановлення симулятора та крісла пілота прикладені навантаження рівні за вагою до симулятора та максимальною вагою крісла з пілотом. Аналіз включає в себе такі епори: навантажень, щоб оцінити витримає конструкція задану вагу, переміщення, деформації, запасу міцності та епора Design Insight для оцінки деталей конструкції. Виявлення елементів, які почнуть швидше за все руйнуватись під впливом ваги симулятора. Дослідження проводились за допомогою програмного забезпечення SolidWorks Simulation. На основі даних отриманих з епор зроблені висновки про працездатність та безпечність розробленої платформи.

**Ключові слова:** Авіасимулятор, платформа Стюарта, конструкція, модель, навантаження, статичний аналіз, епора, SolidWorks.

Авіасимулятори уже большой промежуток времени используют для подготовки пилотов любого типа самолетов. Такой вид тренировок более экономичный. Авиасимулятор улучшает навыки управления в экстремальных ситуациях с минимальными рисками для будущего пилота. Обучение на авиасимуляторе позволяет воспроизвести неблагоприятные погодные условия в любой период времени. Пилот находится на земле в специальной кабине, которая устанавливается на подвижную платформу. Данная система нужна для обеспечения максимально приближенных к реальным условиям полета. Предметом исследования в статье является авиационный симулятор на платформе Стюарта. Цель заключается в создании и анализе платформы с помощью программного обеспечения. В работе представлено уже существующий авиасимулятор и его характеристики. Учитывая его габаритные размеры и массу смоделировано платформу в системе SolidWorks. Выбрана и представлена кинематическая схема конструкции типа (6-6). Приведено основное уравнение динамики для расчета закона движения платформы с заданными величинами управляющих сил. Разработанная 3D модель состоит из двух платформ, подвижной и неподвижной. С помощью шарниров к платформе крепятся ноги с автоматически изменяемой длиной. Подобрано материал алюминиевого сплава типа 2024 с которого создается платформа. Проведено статический анализ нагруженной платформы. Под нагруженной платформой подразумевается, что в местах установки симулятора и кресла пилота приложены нагрузки равные по весу симулятору и максимальному весу кресла с пилотом. Анализ включает в себя такие эпюры: нагрузок, чтобы оценить выдержит конструкция заданный вес, перемещения, деформации, запаса прочности и эпюра Design Insight для оценки деталей конструкции. Выявление элементов, которые начнут ранее всего разрушаться под воздействием веса симулятора. Исследования проводились с помощью программного обеспечения SolidWorks Simulation. На основе данных полученных с эпюр сделаны выводы о работоспособности и безопасности разработанной платформы.

**Ключевые слова:** Авиасимулятор, платформа Стюарта, конструкция, модель, нагрузки, статический анализ, эпора, SolidWorks.

Flight simulators have been used for a long time to train pilots of any type of aircraft. This type of training is more economical. The flight simulator improves control skills in extreme situations with minimal risks for the future pilot. Training on a flight simulator makes it possible to reproduce adverse weather conditions at any time. The pilot is on the ground in a special cockpit, which is mounted on a movable platform. This system is needed to ensure flight conditions as close to real as possible. The subject of the research in the article is an aviation simulator on the Stewart platform. The aim is to create and analyze an flight simulator platform using software. The paper presents the already existing flight simulator and its characteristics. Taking into account its dimensions and weight, the platform is modeled in SolidWorks. The kinematic diagram of the type design (6-6) is selected and presented. The basic equation of dynamics for calculating platform motion law for given values of the control forces is given. Also using this equation it is possible to find the controlling forces knowing the law of motion. The developed 3D model consists of two platforms, a movable and a stationary one. The legs with automatically variable length are attached to the platform using hinges. Selected material aluminum alloy type 2024 from which the platform is created. Selected material aluminum alloy type 2024 from which the platform is created. Static analysis of the loaded platform was performed. By loaded platform is meant that in the places where the simulator and the pilot's seat are installed, loads equal in weight to the simulator and the maximum weight of the seat with the pilot are applied. The analysis includes such epurfaces: loads to assess whether the structure can support a given weight, displacement, deformation, safety margins and a Design Insight plot to evaluate design details. Identification of elements that are most likely to start collapsing under the weight of the simulator. The research was performed using SolidWorks Simulation software. Based on the data obtained from the plot, conclusions were made about the performance and safety of the developed platform.

**Keywords:** Flight simulator, platform Stewart, design, model, load, static analysis, diagram, SolidWorks.

**Вступ.** Використання авіасимуляторів є важливою частиною навчання пілотів. Існує велика кількість різновидів динамічних авіасимуляторів на платформі Стюарта, проте їх вартість надзвичайно висока, тому постає питання самостійного створення симулятора, безпосередньо на рухомій платформі Стюарта.

Основною проблемою є вибір конструкції платформи враховуючи місце її встановлення та

навантаження які вона повинна витримувати. Для вирішення даної проблеми змодельовано платформу за допомогою програмного комплексу SolidWorks, та проведемо аналіз навантаженої конструкції.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Не дивлячись на нові результати в створенні конструкції та методах розрахунку платформи Стюарта, актуальність даної конструкції, при створенні

динамічних симуляторів, залишається не змінною, як і можливість проведення розрахунків за допомогою програмного забезпечення (ANSYS, SolidWorks) методом скінченних елементів [1]

В роботі [2] були досліджені різні за конструкцією платформи Стюарта, методом скінченно-елементного аналізу за допомогою програмного забезпечення ANSYS.

В роботі [3, 4] та [5, 6] розглянуто декілька різновидів платформи, були проведені математичні розрахунки для кожної з них. Для платформи з шістьма ступенями свободи було розраховано пряму та обернену задачі динаміки (навантаженої та не навантаженої) платформ та положення рівноваги.

Робота [7, 12] описує процес моделювання, розробки та контролю платформи Стюарта за допомогою програмного забезпечення SolidWorks та Matlab-Simulink та використання ПІД регуляторів.

Роботи [14, 15] описують різні варіанти удосконалення симуляторів за рахунок покращення методів оптимізації та використання дрона, який передає, що відбувається в небі в режимі реального часу.

**Мета дослідження.** Розробка та аналіз конструкції платформи Стюарта, для існуючого авіасимулятора.

**Основний матеріал.** Авіасимулятор – симулятор польоту за допомогою якого відбувається наземна підготовка пілотів за рахунок максимально наближених умов до реальних. Навчання пілотів не тільки на реальних літаках, а ще за допомогою тренажерів значно покращує результати. [8]

Тренування на симуляторі може підготувати пілота до складних та непередбачуваних випадків, пов'язаних з несправністю системи, відмовою двигуна чи небезпечними метеорологічними умовами, бо під польоту на справжньому літаку такі умови навмисно отримати неможливо, а також це надто небезпечно для екіпажу літака. [9]

Для максимального відтворення польоту авіаційні симулятори встановлюють на рухому платформу та копіюють кабінку пілота реального літака, яка оснащена передовими технологіями з використання віртуальної та доповненої реальності. Рухливість платформи та наявність VR та AR дає змогу відчути справжність польоту. [16]

Симулятор для якого моделюється та розраховується платформа зображено на рисунку 1.

Представлений симулятор має вагу близько 150 кілограмів, та габаритні розміри 110\*50\*140, ці данні нам необхідні для подальших розрахунків платформи.

Платформа Стюарта – механізм з однією рухомою платформою та шістьма ступенями свободи, здібна рухатись у трьох лінійних та трьох кутовим напрямках завдяки так званим ногам у яких автоматично змінюється довжина, вони можуть рухатись як окремо один від одного так і в будь-якій комбінації. Кожна нога з'єднується шарніром з землею. [10]



Рисунок 1 – Авіасимулятор

Існує велика кількість різних конструкцій платформи, залежно від того, де вона буде застосовуватись та яке корисне навантаження вона повинна витримувати. Для продемонстрованого маніпулятора ми вирішили використовувати схему 6-6 (рисунок 2).

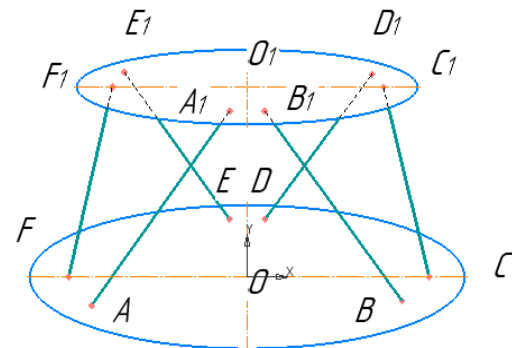


Рисунок 2 – Схема платформи Стюарта типу 6-6

Розглянемо динаміку платформи. Для запису рівняння динаміки призначимо узагальнені координати –  $q_1, q_2, q_3$ , точки  $O$ , яка є центром нерухомої платформи, та  $q_4, q_5, q_6$  – кути повороту рухомої платформи відносно основи. Складемо рівняння Лагранжа другого роду:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} = Q_k, \quad k = \overline{1,6}, \quad (1)$$

$Q_k$  – узагальнені сили,  $T$  – кінетична енергія.

$$T = \frac{(M+M_n)V_0^2}{2} + \frac{1}{2} (J_{y1}\omega_1^2 + J_{x1}\omega_2^2 + J_{z1}\omega_3^2). \quad (2)$$

$M$  – маса кабіни,  $M_n$  – маса платформи,  $V_0$  – швидкість центру платформи,  $\omega$  – миттєва кутова

швидкість,  $J_{y1}$ ,  $J_{x1}$ ,  $J_{z1}$  – моменти інерції рухомої платформи.

За допомогою даних рівнянь в подальшому ми зможемо отримати систему динамічних рівнянь для нашої платформи та по заданим величинам керуючих сил знайти закон руху платформи, та навпаки за законом руху знайти керуючі сили.[4]

На основі даної схеми та габаритів симулятора було прийнято, що висота платформи не може перевищувати один метр, а діаметр рухомої (верхньої) платформи має становити не менше півтора метри, тому платформу було змодельовано за допомогою SolidWorks. Висота платформи складає 850 мм, діаметр верхньої платформи 1600 мм.

Для платформи було вибрано матеріал – алюмінієвий сплав 2024.

Властивості матеріала:

Межа плинності –  $7,58291 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>;

Межа міцності –  $1,86126 \cdot 10^8$  Н/м<sup>2</sup>;

Модуль пружності –  $7,3 \cdot 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>;

Щільність матеріалу –  $2800$  кг/м<sup>3</sup>;

Також для покращення характеристик можливе використання зміцнюючих покриттів.[13]

Ці данні необхідні для проведення статичного аналізу в програмі SolidWorks Simulation. 3D модель навантаженої платформи та СЕ (скінченних елементів) сітки представлено на рисунку 3.

Для достовірності розрахунку використовували високий коефіцієнт СЕ сітки, яка побудована на основі кривизни. Максимальний розмір елемента сітки складає 7,1423 мм, мінімальний 1,2146 мм, мінімальна кількість елементів в окружності – 20, всього елементів 3 804 666. Завдяки таким параметрам сітки ми забезпечуємо точність розрахунку.

Під навантаженою платформою мається на увазі, що ми задали зовнішні навантаження, на рухому платформу у двох місцях по 1500 Н. Перше – місце установки симулятора, яке повністю відповідає його габаритним розмірам та вазі. Друге – місце «пілота» враховуючи вагу крісла та приблизну вагу людини..

Модель платформи повністю зафіксована за нижню частину для проведення аналізу, бо в реальному житті платформу буде фіксуватись саме таким чином.

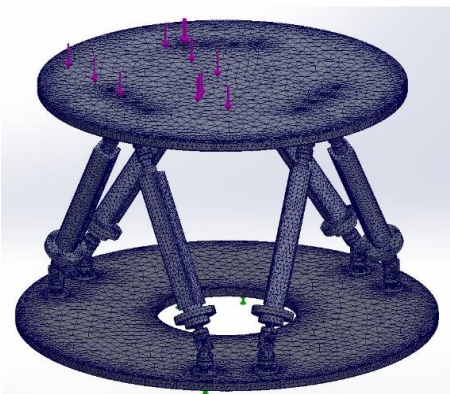


Рисунок 3 – 3D модель навантаженої платформи та сітки

Платформа буда зафіксована під кутом, для більш точного аналізу, бо в експлуатації вона буде рухатись під різними кутами з існуючим навантаженням. Так як найслабкішим місцем в платформі є шарніри та місця кріплення ніг, була змодельована епюра Design Insight, яка демонструє області моделі, що витримують навантаження більш ефективно (рисунок 4).

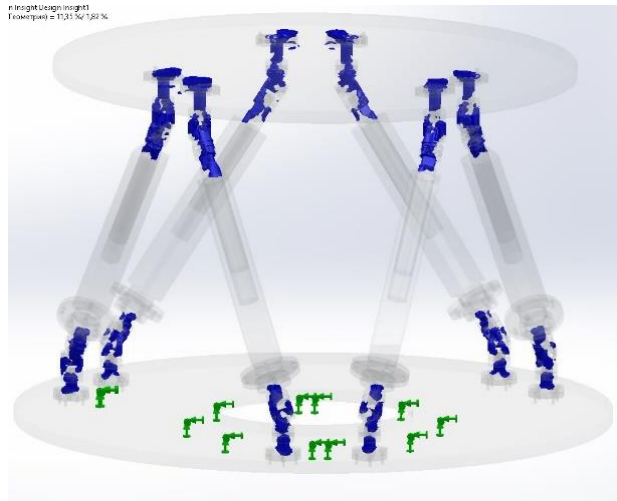


Рисунок 4 – Епюра Design Insight

Синім кольором відділено звідки починається навантаження та які об'єкти найбільш вразливі.

Результати статичного аналізу продемонстровано на рисунках 5, 6, 7.

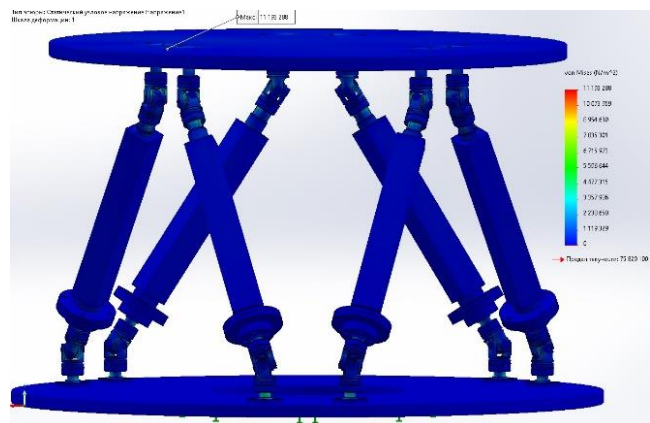


Рисунок 5 – Статичний аналіз (епюра напружень)

Напруження, при потрібному нам навантаженні, утворюється в місцях кріплення ніг до рухомої та не рухомої платформи. Максимальне значення напруження менше межі плинності та має числове значення  $1,119 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>.



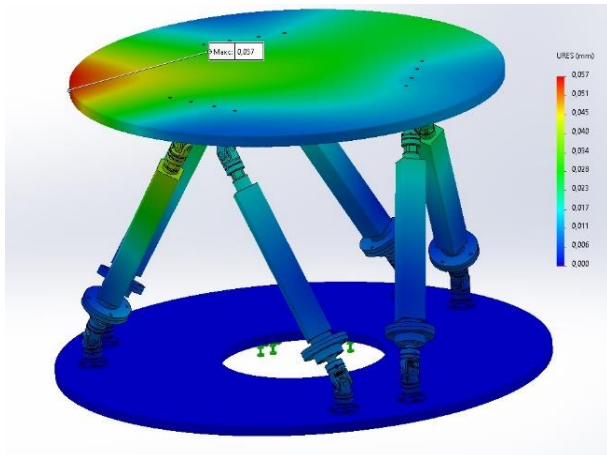


Рисунок 6 – Сатичний аналіз (епюра переміщень)

З епюри переміщень ми бачимо, що рухома платформа, яка знаходиться під кутом, найбільше змістилась в праву сторону на 0,057 мм в області з червоним кольором.

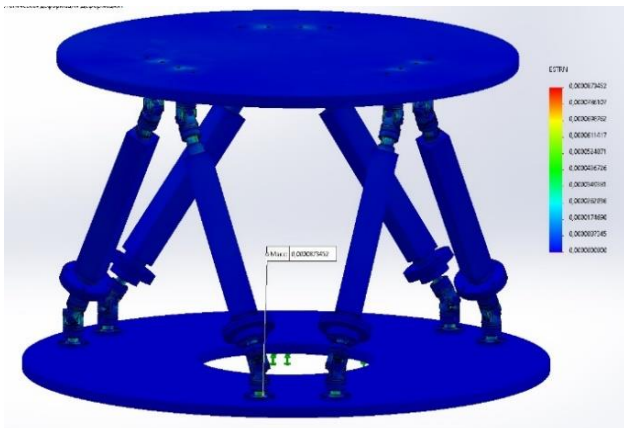


Рисунок 7 – Статичний аналіз (епюра деформацій)

Епюра деформацій демонструє, що найбільша деформація відбулась у місці кріплення однієї з ніг до верхньої платформи, зі сторони нахилу платформи. В деформованому стані платформа залишається придатною для використання, бо суттєвих змін в конструкції не відбулось.

Щоб отримати цілісну картину, була побудована епюра запасу міцності (рисунок 8).

Перевірка запасу міцності була проведена на основі критерію руйнування Von Mises (VM). Даний критерій ґрунтується на теорії Мізес-Хенки, так звана теорія енергії формозміння. За даною теорією пластичний матеріал починає руйнуватись там, де напруження Von Mises дорівнює граничному напруженню. В нашому випадку за граничне напруження приймемо межу плинності.

$$\text{Запас міцності (FOS)} = \frac{\sigma_{\text{Limit}}}{\sigma_{\text{VM}}}$$

$$\sigma_{\text{VM}} = \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 \cdot 0.5} \quad (3)$$

Де:  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – головні напруження.[11]



Рисунок 8 – Запас міцності

Мінімальний запас міцності складає 6,775, отже цілісність конструкції не буде порушена.

Розрахуємо при яких навантаженнях конструкція буде не придатна для використання.

Змінимо положення платформи, змінивши кут нахилу та збільшимо навантаження з 1500 Н у двох місцях до 15000 Н у місці кріплення симулятору та 5000 Н у місці кріплення крісла пілота.

Параметри SE сітки залишимо ідентичними, першому експерименту. На рисунку 9 продемонстровано епюру напруження для платформи з збільшеним навантаженням.

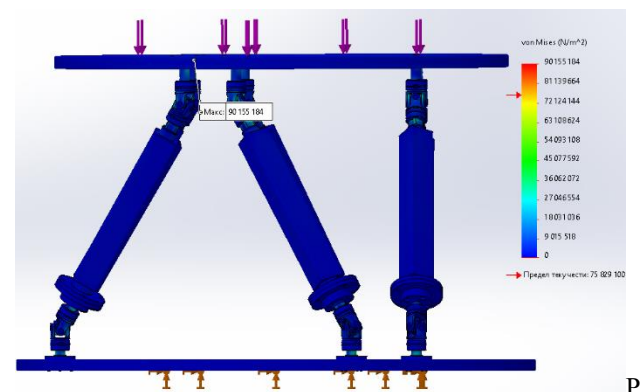


Рисунок 9 – Епюра напружень при більшому навантаженні

З рисунку 9 ми бачимо, що при такому навантаженні максимальне значення напруження більше за межу плинності та дорівнює  $9,0155 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$ . Отже при такому навантаженні платформа не придатна для експлуатації. [17]

**Висновки.** В даній статті досліджено платформу Стюарта для динамічних авіасимуляторів.

В ході роботи було підібрано схему конструкції платформи, розроблено 3D модель на основі якої проводився аналіз за допомогою SolidWorks Simulation, для цього модель була зафіксована за нижню платформу, а на рухома платформу у двох місцях було прикладено навантаження по 1500Н, згенеровано сітку та побудовано такі епюри:

напруження, переміщення, деформації та запасу міцності. На основі отриманих, з епюр, даних можна зробити висновок, що, дана модель платформи витримує задані навантаження, а напруження та деформації, які утворюються не впливають на цілісність конструкції. Також проведено аналіз для виявлення навантаження при якому платформа не придатна для використання та руйнується.

Результати виконаної роботи допоможуть при створенні та розрахунку не тільки платформи, яка була розглянута, а будь-якого механізму чи деталі, до виготовлення, щоб уникнути проблем при експлуатації.

#### Список літератури

1. Woge O. G., Morán C. O. G., Chau A. L. Introducción al método del elemento finito: Solidworks y Matlab //Ideas en Ciencias de la Ingeniería. – 2020. – Т. 1. – №. 1. – С. 27-47.
2. Mohammed H. M., Deji H. Research on 6 dof-stewart platform mechanical characteristics analysis and optimization design //International Journal of Science and Research (IJSR). – 2013. – Т. 2. – №. 11. – С. 391-395.
3. Chao, Min, Chin Yu Wang, and Cheng Kang Lee. "Dynamic analysis of a 6-DOF inverted Stewart platform." Key Engineering Materials. Vol. 419. Trans Tech Publications Ltd, 2010.
4. Юшков М. П. Стабилизация положений равновесия нагруженных модификаций платформы Стюарта. – 2014.
5. Korobeynikov A. V., Turlapov V. E. Modeling and evaluation of the Stewart platform //sign. – 2005. – Т. 1. – №. 1. – С. 1-21.
6. Harib, Khalifa, and Krishnaswamy Srinivasan. "Kinematic and dynamic analysis of Stewart platform-based machine tool structures." Robotica 21.5 (2003): 541-554.
7. Kizir S. et al. Development and control of a high precision Stewart platform //Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi. – 2011. – Т. 3. – №. 1. – С. 51-59.
8. Federal Aviation Administration Task Force On Air Carrier Safety and Pilot Training [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.faa.gov/training\\_testing/testing/media/DLVACSPTAR\\_CFinalReport.pdf](https://www.faa.gov/training_testing/testing/media/DLVACSPTAR_CFinalReport.pdf). – 25.05.2021.
9. Federal Aviation Administration Task Force On Air Carrier Safety and Pilot Training [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ang/offices/tc/about/campus/faa\\_host/ard/ssb/](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ang/offices/tc/about/campus/faa_host/ard/ssb/). – 25.05.2021.
10. Stewart D. A platform with six degrees of freedom //Proceedings of the institution of mechanical engineers. – 1965. – Т. 180. – №. 1. – С. 371-386.
11. Dassault systemes. Maximum von Mises Stress Criterion [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://help.solidworks.com/2020/english/solidworks/cworks/r\\_maximum\\_von\\_mises\\_stress\\_criterion.htm](https://help.solidworks.com/2020/english/solidworks/cworks/r_maximum_von_mises_stress_criterion.htm). – 25.05.2021.
12. Yermiyev M. B. et al. Automated System of the Variable-Pitch Propeller Rotation Control //2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). – IEEE, 2019. – Т. 2. – С. 186-191. DOI: 10.1109/STC-CSIT.2019.8929757
13. Plankovskyy S. et al. Review of Methods for Obtaining Hardening Coatings //Conference on Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering–Synergetic Engineering. – Springer, Cham, 2020. – С. 332-343. DOI: 10.1007/978-3-030-66717-7\_28
14. Obaid M. S., Mebayet S. O. Drone controlled real live flight simulator //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 1818. – №. 1. – С. 012104. DOI: 10.1088/1742-6596/1818/1/012104
15. Chandrasekaran K., Theningaledathil V., Hebbar A. Ground based variable stability flight simulator //Aviation. – 2021. – Т. 25. – №. 1. – С. 22-34. DOI: 10.3846/aviation.2021.13564
16. Karatanov O. B. и др. Implementation of augmented reality technologies in the training process with the design of aircraft equipment //RADIOELECTRONIC AND COMPUTER SYSTEMS. – 2021. – №. 1. – С. 110-118. DOI: 10.32620/reks.2021.1.10
17. Furqan M., Alam M. N. Finite element analysis of a Stewart platform using flexible joints //Proceedings of the 1st International and 16th National Conference on Machines and Mechanisms (iNaCoMM2013), IIT Roorkee, India. – 2013. – С. 18-20.

#### References

1. Woge, Oscar González, Carlos Omar González Morán, and Asdrúbal López Chau. "Introducción al método del elemento finito: Solidworks y Matlab." Ideas en Ciencias de la Ingeniería 1.1 (2020): 27-47.
2. Mohammed, Husameldeen Mustafa, and Hu Deji. "Research on 6 dof-stewart platform mechanical characteristics analysis and optimization design." International Journal of Science and Research (IJSR) 2.11 (2013): 391-395.
3. Chao, Min, Chin Yu Wang, and Cheng Kang Lee. "Dynamic analysis of a 6-DOF inverted Stewart platform." Key Engineering Materials. Vol. 419. Trans Tech Publications Ltd, 2010.
4. Yushkov, M. P. "Staby'ly`zacy`ya polozheny`j ravnovesy`ya nagruzhennykh mody`fy`kacy`j platformy` Styuarta." (2014).
5. Korobeynikov, Alexander V., and Vadim E. Turlapov. "Modeling and evaluating of the Stewart platform." sign 1.1 (2005): 1-21.
6. Harib, Khalifa, and Krishnaswamy Srinivasan. "Kinematic and dynamic analysis of Stewart platform-based machine tool structures." Robotica 21.5 (2003): 541-554.
7. Kizir, Selçuk, et al. "Development and control of a high precision Stewart platform." Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi 3.1 (2011): 51-59.
8. Federal Aviation Administration Task Force On Air Carrier Safety and Pilot Training [Analytical information]. Available at: [https://www.faa.gov/training\\_testing/testing/media/DLVACSPTAR\\_CFinalReport.pdf](https://www.faa.gov/training_testing/testing/media/DLVACSPTAR_CFinalReport.pdf). (accessed 25.05.2021).
9. Federal Aviation Administration Task Force On Air Carrier Safety and Pilot Training [Analytical information]. Available at: [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ang/offices/tc/about/campus/faa\\_host/ard/ssb/](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ang/offices/tc/about/campus/faa_host/ard/ssb/). (accessed 25.05.2021).
10. Stewart, Doug. "A platform with six degrees of freedom." Proceedings of the institution of mechanical engineers 180.1 (1965): 371-386.
11. Dassault systemes [Maximum von Mises Stress Criterion]. Available at: [https://help.solidworks.com/2020/english/solidworks/cworks/r\\_maximum\\_von\\_mises\\_stress\\_criterion.htm](https://help.solidworks.com/2020/english/solidworks/cworks/r_maximum_von_mises_stress_criterion.htm). (accessed 25.05.2021).
12. Yermiyev, M. B., et al. "Automated System of the Variable-Pitch Propeller Rotation Control." 2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). Vol. 2. IEEE, 2019. DOI: 10.1109/STC-CSIT.2019.8929757
13. Plankovskyy, Sergiy, et al. "Review of Methods for Obtaining Hardening Coatings." Conference on Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering–Synergetic Engineering. Springer, Cham, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-66717-7\_28
14. Obaid, Mays S., and Salman O. Mebayet. "Drone controlled real live flight simulator." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1818. No. 1. IOP Publishing, 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/1818/1/012104
15. Chandrasekaran, Kamali, Vijeesh Theningaledathil, and Archana Hebbar. "Ground based variable stability flight simulator." Aviation 25.1 (2021): 22-34. DOI: 10.3846/aviation.2021.13564
16. Karatanov, Oleksandr Volody`my`rovych, et al. "Implementation of augmented reality technologies in the training process with the design of aircraft equipment." RADIOELECTRONIC AND COMPUTER SYSTEMS 1 (2021): 110-118. DOI: 10.32620/reks.2021.1.10
17. Furqan, Mohd, and Md Naushad Alam. "Finite element analysis of a Stewart platform using flexible joints." Proceedings of the 1st International and 16th National Conference on Machines and Mechanisms (iNaCoMM2013), IIT Roorkee, India. 2013.

*About the Authors / Відомості про авторів / Сведения об авторах*

**Биков Андрій Миколайович (Быков Андрей Николаевич, Andrii Bykov Nikolaevich)** – асист. каф. інформаційних технологій проектування, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна; тел.(068)740-23-09; e-mail: a.bykov@khai.edu; ORCID: 0000-0002-7184-4994

**Пластун Тетяна Анатоліївна (Пластун Татьяна Анатольевна, Plastun Tetiana Anatolievna)** – молодший науковий співробітник каф. інформаційних технологій проектування, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна; тел. (098)030-21-37; e-mail: plastun.t.a@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4323-6075