

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Тези доповідей  
XXIV Міжнародної  
науково-практичної конференції здобувачів  
вищої освіти і молодих учених

ПОЛІТ.  
СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ НАУКИ

Сучасні авіаційні технології

Київ 2024

УДК 321:341:339.9

**ПОЛІТ. СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ НАУКИ.  
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

Тези доповідей XXIV Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, Київ, 2024, Національний авіаційний університет / Редакційна колегія В. Шульга [та ін.]. – К.: НАУ, 2024. – 194 с.

Матеріали науково-практичної конференції містять узагальнення доповідей науково-дослідних робіт здобувачів вищої освіти та молодих учених у галузі «СУЧАСНІ АВІАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ».

**Голова оргкомітету:**

*В. Шульга, голова комісії з реорганізації НАУ, в.о. ректора Національного авіаційного університету, доктор історичних наук, професор*

**Заступники голови оргкомітету:**

*О. Корченко, в.о. проректора з наукової роботи, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет*

*М. Кулик, декан аерокосмічного факультету, д.т.н., професор, заслужений діяч науки і техніки України*

**Члени оргкомітету:**

*О. Сидоренко, к.т.н., доцент, заступник декана*

*В. Бородій, стр.викл., заступник декана*

*Ю. Квач, к.т.н., доцент, заступник декана*

*В. Квасніков, д.т.н., професор, завідувач кафедри комп'ютеризованих систем та технологій*

*О. Тамаргазін, д.т.н., професор, завідувач кафедри технологій аеропортів*

*В. Захарченко, к.т.н., доцент, завідувач кафедри автоматизації та енергоменеджменту*

*Г. Власенко, к.т.н., доцент, заступник завідувача кафедри аеродинаміки та безпеки польотів ЛА*

*О. Мікосянчик, д.т.н., професор, завідувач кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів*

*В. Бадах, к.т.н., доцент, завідувач кафедри гідрогазових систем*

*С. Юцкевич, к.т.н., доцент, завідувач кафедри конструkcії літальних апаратів*

*Ю. Терещенко, д.т.н., професор, завідувач кафедри авіаційних двигунів*

*О. Попов, к.т.н., доцент, завідувач кафедри підтримки льотної придатності ПС*

**Верстка:**

*М. Свирид, заступник декана АКФ*

**МЕНЕДЖМЕНТ ТЕХНОЛОГІЙ АЕРОПОРТІВ**

УДК 656.71.071.8:648.5.06(043.2)

**ОПТИМІЗАЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ УНІВЕРСАЛЬНОЇ ПРИБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ****Ростислав Бисько***Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник – Віктор Личик, ст. викладач.*

Ключові слова: аеродром, машина прибиральна, параметри експлуатаційні.

Від якості експлуатаційного утримання аеродрому безпосередньо залежить забезпечення безпеки польотів в аеропорту.

Для експлуатаційного утримання аеродромів застосовують різноманітну техніку, яка забезпечує як зимове, так і літнє обслуговування робочої площі аеродрому.

Сезонність використання тих чи інших аеродромних машин приводить до значних експлуатаційних затрат, зниженню надійності агрегатів та систем машин в результаті їх тривалих простоїв.

На сьогодні основний акцент у використанні техніки для експлуатаційного утримання аеродромів надається універсальності використання аеродромних машин.

Універсальна аеродромна прибиральна машина (УАПМ) структурно складається з таких основних блоків: плужне навісне обладнання 1; щіткове обладнання 2; бункера (ємності) 3; вакуумного обладнання 4 (рис.1).

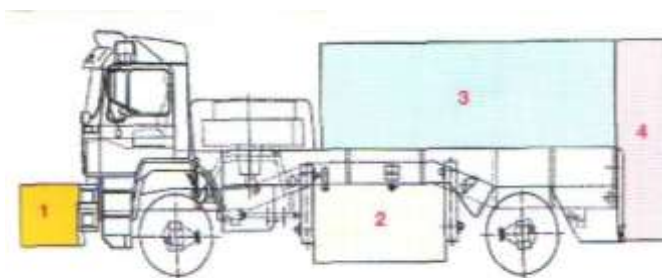


Рис.1. Функціональна схема універсальної аеродромної прибиральної машини

На УАПМ також може бути встановлений комбінований навісний автоматичний розприскувач з бункером для сухого матеріалу і бокових ємностей для рідкого хімреагенту, або система для нанесення виключно рідкого хімічного реагенту. В останньому випадку використовується наявна ємність для збору змету в якості ємності для заповнення її протижелезним хімреагентом.

Наявність з'ємних блоків, якими УАПМ агрегується в залежності від сезону, дозволяє забезпечити виконання таких основних робіт по експлуатаційному утриманню аеродромів:

- зсув непромерзлого снігу, води і сміття на ширину захоплення плуга;
- підмітання з продувкою снігу, пилу і сміття на ширину захоплення щітки;
- всмоктування пилу, сміття і води на ширину захоплення щітки;
- видалення гумових відкладень з поверхні аеродромних покриттів на ширину захоплення щітки;
- збір сміття і води в бункер з наступним самоскидним вивантаженням;
- розподіл рідких і твердих хімреагентів по поверхні покриття;
- продувка покриттів від пилу тощо.

Робоче устаткування УАПМ монтується на спеціальному самохідному шасі. Прикладом такої УАПМ може бути багатофункціональна та високопродуктивна система очищення фірми Boschung «Jetbroom – 10000» [1,2]. Ця УАПМ, в залежності від комплектації, може використовуватись на аеродромах як у весняно-літній, так і осінньо-зимовий періоди експлуатації.

Відповідно до агрегування певних блоків на універсальне шасі визначаються оптимальні експлуатаційні параметри цих робочих органів: ширина і висота відвалу, діаметр та ширина щітки, місткість ємностей для хімреагентів, продуктивність вакуумної установки та інші

### **Висновок**

В залежності від оптимальних експлуатаційних параметрів кожного із структурних блоків УАПМ, може формуватися, під замовлення виробнику, та, чи інша конструктивна одиниця на базі універсального шасі, як відповідатиме вимогам утримання конкретного аеродрому.

### **Список використаних джерел:**

1. Аеродромна вакуумно підметально-збирювальна машина Boschung Jetbroom 10000 нове 2022. URL: <https://emotors.kz/catalog/tekhnika/aerodromnaya-vakuumno-podmetalno-uborochnaya-mashina-boschung-jetbroom-10000-novoe-2022/>
2. Boschung Products – Engineered for Future. URL: <https://www.boschung.com/en/product/jetbroom-10000/>

УДК 678.01:531.43

**ПЕРСПЕКТИВНИЙ НАПРЯМОК СУЧАСНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ АВІАЦІЙНОЇ НАЗЕМНОЇ ТЕХНІКИ ЗА ПРОБОЮ ОЛИВИ****Булига Володимир***Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник Білякович О.М. – к.т.н., доц.*

Ключові слова: олива, мащення, кислотне число, механічні домішки

В сучасних умовах експлуатації авіаційної наземної техніки (АНТ) в міжнародних аеропортах актуальною задачею залишається проведення об'єктивного діагностичного аналізу стану вузлів, агрегатів та спецмашини в цілому. Існує багато методів діагностування, які дозволяють отримати об'єктивний аналіз технічного стану певних агрегатів АНТ. Серед широкого спектру відомих методів діагностування варто відмітити метод перевірки технічного стану двигунів внутрішнього згорання, гідравлічних систем, агрегатів трансмісій за аналізом проби оливи, яка зливається з певного агрегату. Даний метод діагностування достатньо поширений та постійно знаходиться на стадії активного технічного розвитку. Параметри, які аналізуються при використанні діагностичного методу з відбором проб оливи постійно розширюються.

Метою проведення діагностичного аналізу за пробою оливи є підтвердження результату того, що агрегат з якого ця проба була злита, працює в режимі нормальної експлуатації. Існує три основні категорії аналізу оливи: властивості рідини – тип аналізу оливи спрямований на визначення поточного фізико-хімічного стану, а також на визначення залишкового терміну служби як мастильного середовища, так і пари тертя; аналіз оливи на наявність забруднення – визначає вміст руйнівних домішок, їх концентрацію та склад; аналіз продуктів зношування – ця форма аналізу полягає у визначенні наявності та ідентифікації частинок, що утворюються в результаті механічного зношування або корозії.

Існують наступні базові тести оливи: контроль на в'язкість, елементний аналіз, рівень вологості та концентрація частинок механічних домішок, визначення кислотного числа. Як відомо в'язкість – найважливіша характеристика мастильного матеріалу. Моніторинг в'язкості оливи має вирішальне значення, оскільки різка її зміна призводить до негативних процесів в парах тертя. Занадто високі або низькі показники в'язкості можуть бути пояснені неправильно підібраним сортом мастильного матеріалу, втратою пакету присадок в процесі тривалої експлуатації та інтенсивними процесами окислення мастильного середовища. Для картерних оливи із підвищеною кислотністю використовується тест на лужне число – це запас лужності оливи. Низьке лужне число може вказувати на наявність суттєвого прориву

картерних газів двигуна, неправильно підбраного мастильного матеріалу для конкретних умов експлуатації, активних процесів забруднення та окислення оливи в результаті збільшення інтервалу її заміни в двигуні. Елементний аналіз заснований на принципах атомно-емісійної спектроскопії. Даний аналіз призначений для оцінки тенденції зміни елементного складу оливи, внаслідок чого суттєво змінюються фізико-хімічні властивості і вона перестає виконувати свої мастильні функції.

Можливими причинами високого вмісту води в пробі оливи є її потрапляння з відкритих кришок або сапуна, внутрішня конденсація під час коливань температури або витоку через ущільнення [1].

Зростання вмісту механічних домішок, зокрема оксиду кремнію, може вказувати на наявність зовнішніх забруднень як на основну причину абразивного зношування. Внаслідок потрапляння кремнієвих частинок інтенсифікуються процеси зношування та потрапляння в оливу мікрочастинок заліза алюмінію нікелю, тощо.

Провідні виробники АНТ, дорожньо-будівельної техніки, кар'єрних самоскидів, такі як JCB (Велика Британія), CAT (США), SOVAM (Франція) та інші використовують сучасний аналіз проб олив з огляду на можливість розрахунку ресурсу конкретних агрегатів [2-4].

### **Висновок**

Аналіз проби оливи є дуже інформативним, існує цілий спектр сучасного обладнання та приладів для проведення подібних досліджень. Впровадження даного методу діагностування за пробою оливи дозволяє отримати об'єктивну картину щодо реального технічного стану конкретного об'єкту.

### **Список використаних джерел:**

1. Machinery lubrication. URL: <https://www.machinerylubrication.com/Read/29598/oil-analysis-report>
2. CAT. URL: <https://www.cat.com/global-selector.html>
3. JCB. URL: <https://www.jcb.com/>
4. SOVAM. URL: <https://sovam-gse.com/fr/>

**UDC 656.7.025:004.451**

**RESEARCH OF USING SUITABILITY OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR  
AUTOMATING PASSENGER SERVICES IN AIRPORTS**

**Svitlana Vierieina**

*National Aviation University, Kyiv*

*Research Supervisor – Liudmyla Pryimak, c.t.s., doc.*

Key words: innovative technologies, autonomous systems, automated systems, development prospects.

Nowadays, autonomous systems are increasingly used to improve towing systems, with the implementation of artificial intelligence notably accelerating. It is recognized that innovative technologies hold the potential to transform and to improve ground operations at airports. The primary focus should be on the interaction between humans and artificial intelligence to facilitate prompt and modernized servicing of aviation ground equipment through the adaptation of intelligent systems, ensuring logical coordination between manual and automated control.

This material describes methods of comprehensive, interdisciplinary, and specialized analysis. To provide more precise justification, the method of logical extrapolation based on informational sources was utilized.

Innovative technologies such as autonomy, automation, and artificial intelligence can significantly enhance the efficiency and safety of towing systems at airports. It is important to note that artificial intelligence can be likened to a computer tool designed to the problem-solving abilities of the human brain. With these capabilities, aided by various sensors, the control of the towing process can be streamlined. Additionally, statistical data indicates that the implementation of artificial intelligence computer programs positively impacts the speed and quality of aircraft servicing [1].

Examining of foreign experience and practical using of artificial intelligence in aviation, it is essential to admit that the adoption of such systems will definitely affect competitiveness. Currently, technologies are being actively implemented globally, notably in countries like Germany and Austria, but China indisputably stands out as the unequivocal leader.

One example of optimizing of the technological process of aircraft towing is the efficient and quick analysis of large volumes of safety data, enabling the identification of potential risks and threats - it helps to prevent accidents and incidents. Furthermore, it automates traffic management, allowing for the calculation of an optimal route and safe towing speed through precise planning. However, their implementation requires new skills and resources, as well as appropriate adjustments to standards [2].

The implementation of the described technologies above requires further research and development; however, they have great potential for enhancing ground services and aircraft transportation.

### Conclusion

So, with the advancement of innovative technologies in towing systems and aviation as a whole, a new era in the management of aviation ground operations is emerging.

The integration of autonomous, automated systems, and artificial intelligence into aircraft servicing processes ensures the optimization and safety of maneuvers.

Innovative solutions in towing systems open up new perspectives for the development of the aviation industry, enhancing its competitiveness, as well as ensuring effective interaction between humans and technological systems.

### References:

1. KI-on-Air – Künstliche Intelligenz in der Luftfahrt Wien, 23. Oktober 2020. URL: <https://open4aviation.at/resources/pdf/publikationen/endbericht-ki-on-air.pdf>
2. Künstliche Intelligenz im Luftverkehr, Moritz Plingen. URL: [https://ai.hdm-stuttgart.de/downloads/student-white-paper/Winter-1920/KI\\_in\\_der\\_Luftfahrt.pdf](https://ai.hdm-stuttgart.de/downloads/student-white-paper/Winter-1920/KI_in_der_Luftfahrt.pdf)

УДК 656.7.025:004.450

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АНТ ЗА ФАКТИЧНИМ СТАНОМ

**Марія Данилюк**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Олег Білякович, к.т.н., доц.*

Ключові слова: технічне обслуговування, авіаційна наземна техніка, фактичний технічний стан.

Технічне обслуговування (ТО) авіаційної наземної техніки (АНТ) в сучасному авіаційному просторі виявляється ключовим елементом для забезпечення безпеки, ефективності та надійності технологічних процесів з наземного обслуговування повітряних суден, експлуатаційного утримання аеродромів. Цей важливий процес включає в себе широкий спектр організаційних та технічних дій, спрямованих на підтримку оптимального функціонування АНТ, що використовується в сучасних аеропортах [1].



Технічне обслуговування та ремонт експлуатанти авіаційної наземної техніки проводять відповідно до річних планів і місячних планів-графіків. Операції з ТО та ремонту виконуються згідно з вимогами технологічних карт, технічних описів та інструкцій щодо експлуатації спецмашин. Система технічного обслуговування АНТ за фактичним технічним станом (СФТС) базується на постійному моніторингу технічного стану АНТ та виконанні робіт з ТО у разі потреби. СФТС має ряд переваг, таких як зниження витрат: вона дозволяє оптимізувати обсяг робіт з ТО, виконуючи їх лише тоді, коли це дійсно необхідно; підвищення надійності: СФТС дозволяє попередити відмови АНТ, виявляючи та усуваючи несправності на ранній стадії; збільшення пропускної здатності: дана система дозволяє скоротити час простою АНТ за рахунок того, що роботи з ТО виконуються лише при необхідності.

Можна виділити наступні проблеми, які виникають при впровадженні систем технічного обслуговування АНТ за фактичним станом:

- висока вартість пропозиції: СФТС потребує значних інвестицій у діагностичне обладнання, програми забезпечення та підготовку персоналу;
- термін дії нормативної бази: в Україні затверджено нормативну базу, яка регламентує впровадження та застосування СФТС;
- необхідність накопичення даних: для ефективної роботи СФТС необхідно накопичити значну кількість даних про АНТ;
- проблеми з прогнозованими витратами: система може бути вигідна до непередбачених витрат, пов'язаних із відновленням;
- ризик помилок: СФТС виставляє високі вимоги до кваліфікації персоналу, який повинен обслуговувати АНТ;
- недосконалість діагностичного обладнання: обладнання повино бути високоточним та надійним;
- психологічний бар'єр: персонал, який звертається до традиційних систем ТО, може з недовірою ставитися до СФТС.

Незважаючи на низку проблем, впровадження СФТС може бути економічно вигідним для підприємств, що експлуатують АНТ.

Існують наступні шляхи вирішення даних проблем:

- розробка чіткої методики: розробка методики переходу на СФТС, що враховує особливості різних типів АНТ;
- вдосконалення діагностичного обладнання: розробка більш доступного та простого у використанні обладнання;

- підготовка кадрів: підготовка кваліфікованого персоналу, здатного працювати в системі визначення фактичного технічного стану АНТ [2].

### **Висновок**

Впровадження системи за фактичним технічним станом має значний потенціал для підвищення ефективності та безпеки експлуатації АНТ. Однак, на даний момент існує ряд проблем, що стримують широке впровадження цієї системи. Їх подолання може вимагати значних матеріальних, організаційних та методичних зусиль та ресурсів з боку аеропортів, виробників АНТ та державних установ, що регламентують діяльність цивільної авіації.

### **Список використаних джерел:**

1. Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден і авіадвигунів. URL: [https://axis-aviation.com/gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjwwMqvBhCtARIsAIXsZpaTjaf6vp3aocBJaGCrVNVrMKk\\_jMagasBFHMZObhjBGKb7jUjKrIYaAnNiEALw\\_wcB](https://axis-aviation.com/gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwwMqvBhCtARIsAIXsZpaTjaf6vp3aocBJaGCrVNVrMKk_jMagasBFHMZObhjBGKb7jUjKrIYaAnNiEALw_wcB)
2. Ефективність технічного обслуговування повітряного судна між плановим ТО. URL: [https://www.researchgate.net/publication/322565134\\_TECHNICAL\\_MAINTENANCE\\_EFFICIENCY\\_OF\\_THE\\_AIRCRAFT\\_MAINTENANCE-FREE\\_ON](https://www.researchgate.net/publication/322565134_TECHNICAL_MAINTENANCE_EFFICIENCY_OF_THE_AIRCRAFT_MAINTENANCE-FREE_ON)

**УДК 656.7**

## **МОДЕРНІЗАЦІЯ СПОСОБІВ БУКСИРУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН**

**Максим Добруцький**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник - Харченко Олена, к.т.н., доц.*

Ключові слова: аеропорт, повітряне судно, сучасні аеропортові технології буксирування, буксирування повітряного судна.

За останні роки процес буксирування повітряних суден в аеропортах змінюється завдяки впровадженню робототехніки, а також GPS навігації, камер кругового огляду, електричних та гібридних двигунів тягачів. З приходом трансформації буксирів в авіацію хендлінгові компанії та авіакомпанії відкривають для себе безмежні можливості передових технологій. "Після більш ніж 60-річного домінування в авіаційній галузі, старомодний буксир, здається, готовий піти у відставку. Поява ROTV, високо інноваційного продукту, замінює застарілі технології", - сказав Ульріх Нілен, співвласник і керуючий партнер TNA Aviation Technologies" [1].

Завдяки компактним розмірам нових роботизованих буксирів – збільшується простір на ділянках парковок АНТ. Нові технології надають можливість зменшувати фінансування на ПММ, планові та регулярні технічні обслуговування, – що є ключовим в авіаційній галузі.

Аеродромний тягач Schopf F 24L, з двигуном Deutz B/F8L, який має норму викидів “EU II” – викидає в атмосферу до 1 г/км CO<sub>2</sub>. В порівнянні - електродвигун роботизованого тягача компанії TugMAXXE викидає в атмосферу до 0,1 г/км CO<sub>2</sub>.

TaxiBot - це інноваційний автоматичний тягач-буксирувальник, розроблений компанією Israel Aerospace Industries (IAI), який призначений для ефективного переміщення повітряних суден на аеродромах. Основна перевага TaxiBot полягає в його здатності автоматично буксирувати літаки без прямої участі пілота. Це дозволяє зменшити ризики та забезпечити більшу точність при буксируванні [2].

TNA Aviation Technologies, підрозділ Turwitt, Nielsen & Associates, P.A., є ексклюзивним американським дистриб'ютором німецьких буксирів для наземного обслуговування літаків, відомих в Європі під брендами Flyer-Truck® і TugMAXXE®. Ці сучасні електричні безводильні буксирувальники прості в експлуатації та пропонують великий функціонал.

Поворотна платформа може обертатися на 360°, завдяки чому робот здатний розвернути повітряне судно практично на одному місці без необхідності повороту передньої стійки шасі. Крім дистанційного керування роботом-тягачем можна керувати в напівавтоматичному режимі [1].

Роботизовані буксирувальники надають змогу переміщувати повітряне судно на вимкнених силових агрегатах літака, що також зменшує рівень шуму, можуть забезпечити більш плавну та точну роботу під час буксирування, що дозволяє уникнути різких рухів та вібрацій, які можуть бути неприємними для пасажирів та екіпажу.

WheelTug - це інноваційна система буксирування для повітряних суден, яка дозволяє літакам рухатися безпосередньо без використання авіатягачів або підсилювачів. Ця система встановлюється на передні колеса літака і оснащена електродвигуном, який забезпечує необхідну тягу для руху по землі та забезпечує зменшення часу очікування на зльотній смузі, оскільки літаки можуть швидше рухатися зі стоянки до стартово-посадкової смуги без необхідності оператора або додаткового обладнання.

### **Висновок**

Зі збільшенням пасажиропотоку в аеропортах – авіакомпанії шукають методи зменшення затримок вильотів рейсів. Буксирування повітряного судна не являється ключовим фактором у цьому питанні, але приймає участь в затримках рейсів. Зростає попит на впровадження нових систем буксирування повітряних суден, що дає змогу компаніям-виробникам цих систем, фінансувати нові проекти по інноваційним винаходам. У впровадженні нових систем є багато переваг: зменшення шкідливих викидів, зменшення навантаження на пілотів, зменшення фінансових витрат на обслуговування, але й ряд

недоліків. Головними недоліками є проміжок часу, за який аеропорти зможуть перейти до нових технологій та невелика статистика технічних проблем, і сервісної історії.

#### **Список використаних джерел:**

1. The Latest in Aircraft Re-Positioning, Towing and Hangar Space Utilization  
URL: <https://www.businessair.com/aircraft-press-release/latest-aircraft-re-positioning-towing-and-hangar-space-utilization>
2. TaxiBot. URL: <https://www.tld-group.com/ru/technologies/taxibot/>
3. Modern and prospective towing methods aircraft/ Білякович О.М., 2022.  
URL: <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit22-01-001/4853>
4. Finally, a Towbarless Electric Aircraft Tug with Unique Universal Capabilities  
URL: <https://www.businessair.com/aircraft-press-release/finally-towbarless-electric-aircraft-tugunique-universal-capabilities>
5. Офіційний сайт представництва Deutz в Україні URL: <https://deutz.com.ua>
6. WheelTug URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/WheelTug>
7. Концепція безпілотного аеродромного тягача як альтернатива традиційним буксирувальникам повітряних суден / Білякович О.М., Харченко О.В., 2023. URL: <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit28-01-031/6020>

УДК 625.598.2(043.2)

## **ВПЛИВ МІГРАЦІЇ ПТАХІВ НА БЕЗПЕКУ ПОЛЬОТІВ В АЕРОПОРТАХ**

**Вікторія Дрозденко**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Віктор Личик, ст.викладач.*

Ключові слова: птахи, безпека польотів, зіткнення, міграції.

Одним з ключових аспектів забезпечення безпеки польотів в аеропортах є система запобігання зіткненням повітряних суден з птахами та дикими тваринами як безпосередньо на аеродромі, так і в режимі польоту.

З цією метою в кожному аеропорту розробляється програма запобігання небезпечній присутності птахів та диких тварин на аеродромі, так звана WHMP (Wildlife Hazard Management Programme) [1].

До комплексу заходів, які передбачаються цією програмою, входить еколого-орнітологічне обслідування території, що знаходиться в 15 кілометровій зоні навколо аеродрому. При цьому детально вивчаються птахи та дикі тварини, які потенційно можуть перебувати або здійснювати переліт над цією територією, місця, які приваблюють птахів та диких тварин і, звичайно, особливості сезонних перельотів птахів в районі аеродрому.

Для цього використовуються, розроблені орнітологами, карти міграції птахів у даному регіоні. Приклад такої карти наведено на рис. 1. Міграції птахів тісно пов'язані з умовами середовища, які впливають на них під час перельоту. Території, через які мігрують птахи,

мають забезпечувати їх кормом з одного боку і створювати умови безпеки з іншого. Дуже часто шляхи міграції птахів співпадають з географічними координатами розміщення аеродромів.

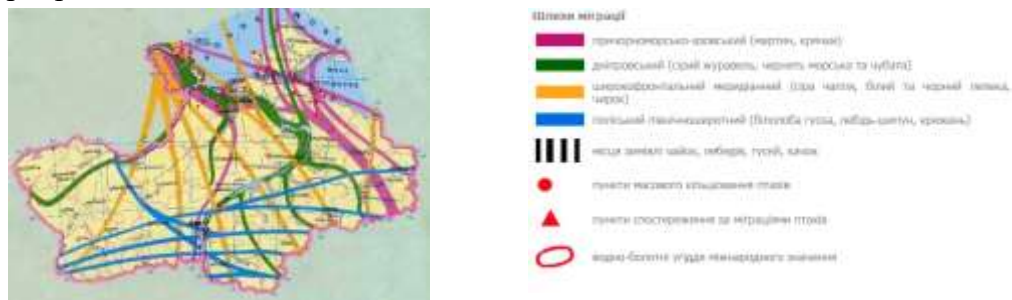


Рис. 1 Карта міграції птахів в Україні [2]

У межах України можна виділити декілька зон, які відіграють важливу роль у підтриманні життєдіяльності птахів, що мігрують. До однієї з таких зон належить і територія заходу України зі значними площами Полісся та долинами річок Прип'яті й Дністра, де проходять важливі міграційні шляхи. Тут найпотужніші міграційні шляхи – схід-захід, північний схід-південний захід, північний захід-південний схід.

Як показує аналіз шляхів міграції птахів в Україні, більшість птахів мають широкий фронт прольоту. Останній проходить не всюди рівномірно, а головним чином вздовж русел річок або в екологічно сприятливих місцях. Такі зони є дуже привабливі для птахів та чинять небезпеку польотів при міграції птахів.

Характерно, що міграцію хижих птахів можна спостерігати на всій території України. Однак її інтенсивність відрізняється у різних регіонах та в окремих місцях.

Наприклад, час та тривалість міграції чайок (*Vanellus vanellus*) тісно пов'язані з кліматичними факторами, особливо весною. Весняним міграціям характерні невеликі за розміром зграї птахів одного виду.

Домінуючим напрямком весняної міграції чайок є східний, куди летять більше 75 % птахів. Також чайкам характерні літні міграції, які здійснюють переважно молоді птахи з ранніх виводків.

Під час цих міграцій птахи летять у західному та південно-західному напрямках на малій висоті. Найінтенсивніше протягом доби проліт чайок відбувається у ранкові години після сходу сонця.

### Висновок

Спостереження за маршрутами міграції птахів, висотою перельоту, інтенсивністю та добовою активністю перельотів птахів дозволяє передбачити в аеропортах ряд превентивних заходів, які знижують ризик зіткнень ПС з представниками дикої природи.

**Список використаних джерел:**

1. ICAO Doc 9137: Airport Services Manual, Part 3: Wildlife Hazard Management. 5th ed.
2. Сезонні міграції птахів (карта). URL: [https://pernatidruzi.org.ua/karta\\_sezonnykh\\_mihratsiy\\_ptakhiv.html](https://pernatidruzi.org.ua/karta_sezonnykh_mihratsiy_ptakhiv.html)

УДК 621.314

**СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЇ АВІАЦІЙНОЇ НАЗЕМНОЇ ТЕХНІКИ В НАПРЯМКУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ****Сергій Коломієць***Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник – Олег Білякович, к.т.н., доц.*

Ключові слова: електромобіль, водневі двигуни, перспективи, екологічна безпека.

Зростання екологічної свідомості у суспільстві стимулює розвиток нових технологій, спрямованих на мінімізацію впливу на довкілля. Ця тенденція стосується й авіаційної наземної техніки, де все більшу увагу приділяють екологічній безпеці.

Проаналізуємо основні конструкційні рішення виробників-піонерів у сфері екологічної безпеки авіаційної наземної техніки.

Компанія Mototok, яка виробляє електричні аеродромні тягачі, була заснована в 2003 році Керстеном Екертом. Ідея електричного аеродромного тягача полягала в спрощенні і підвищенні безпеки самого процесу буксирування повітряного судна (ПС).

Тому дані апарати керуються дистанційно з пульта керування і зроблені напівавтоматизованими, що дозволяє виключити ручну роботу при стикуванні тягача і повітряного судна.

Розглянемо найперспективнішу модель SPACER 8600 PB (рис. 1). Представимо деякі технічні параметри даної машини: тип - електричний буксир; тягове зусилля - 95 т; швидкість буксирування - 5,4 км/год; габарити - довжина: 2,6 м, ширина: 3,2 м, висота - 0,5 м, кліренс - 81 мм; вага - 5,4 т; здатність транспортувати ПС вагою до 95 т; двигун електричного типу потужністю 2 x 6.9 кВт, з напругою 80 В; тип акумулятора – LiFePO<sub>4</sub>; місткість акумулятора - 4x300 Аг; час зарядки 4-6 годин [1].

Використується на літаках як: Airbus 320, Boeing 737, Airbus 220, Bombardier C-Series, Bombardier Regional Aircraft, Embraer Regional Aircraft, Gulfstream.

Компанія Cobus (Німеччина) - німецький виробник перонних автобусів, що має перспективні розробки електробусів і водневих транспортних засобів.

Модель e.COBUS 3000 - це перший повністю електричний перонний автобус у світі, який є повнофункціональним автобусом для переміщення авіапасажирів по перону.

В конструкції даного автобусу використано літій-титанатні батареї LTO, які забезпечують швидку зарядку та довгий термін служби.

Модель COBUS Hydra є перспективним перонним автобусом на водневому двигуні. Водень — це новий шлях до інновацій, і COBUS є піонером у реалізації цієї технології для екологічної безпеки аеропорту. Це також дає поштовх модернізації інфраструктури аеропорту, оскільки водень, навіть у невеликих кількостях, має величезну здатність накопичувати енергію [2].

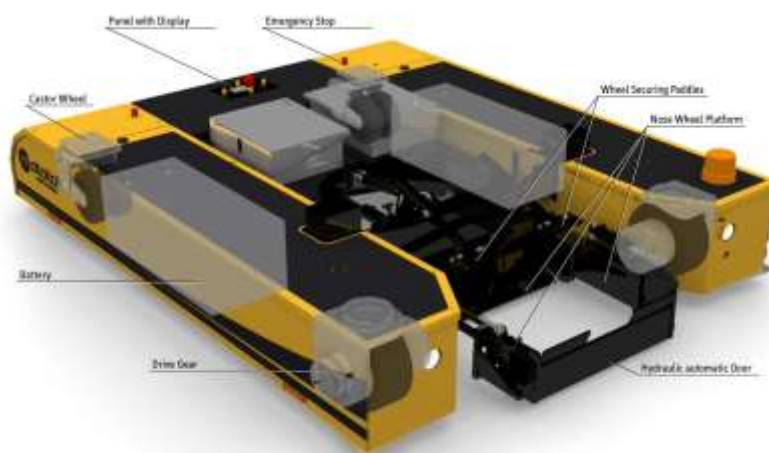


Рис. 1. Електричний аеродромний тягач SPACER 8600 PB

### Висновок

Електротехніка має значний потенціал для модернізації парку авіаційної наземної техніки в аеропортах. Завдяки екологічності, економічності, економії ресурсів та комфортності транспортні засоби на електричному приводі стають все більш популярними в авіаційній галузі. Залучення інвестицій дозволяє активно впроваджувати дану техніку і в перспективі вирішувати проблеми, пов'язані з рівнем екологічної безпеки в аеропортах.

### Список використаних джерел:

1. Документація по Mototok SPACER 8600 PB, URL: <https://www.mototok.com/tugs/spacer> (Last accessed 14.02.2024)
2. Документація Cobus industries, URL: <https://www.cobus-industries.com/> (Last accessed 14.02.2024)

УДК 69.002.5

## АНАЛІЗ ПЛАНОВО-ПОПЕРЕДЖУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ АНТ

**Андрій Красиловець**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Олег Білякович, к.т.н., доц.*

Ключові слова: ремонт, технічне обслуговування, система, наземна техніка.

Експлуатація АНТ передбачає комплекс заходів, що забезпечують підготовку до використання та підтримання машин у працездатному стані. Показники надійності машин

залежать від тих умов, в яких вони експлуатуються, та від режимів роботи.

Зміна параметрів навантажень, швидкостей, температур, вологості та інших показників середовища, в якому працює машина, є основною причиною відхилення від нормативних вихідних параметрів.

Необхідність періодичного відновлення працездатності машини ставить перед експлуатантами складне завдання вибору періодів між ремонтами, а також встановлення обсягів ремонтних робіт, які забезпечують підтримку її працездатності.

У процесі експлуатації АНТ її деталі та окремі елементи конструкції зношуються, виникає стан втоми і старіння металу, порушується взаємне розташування деталей, що призводить до втрати машиною початкових характеристик. Оскільки втрата працездатності є незворотнім процесом, то підтримка АНТ в працездатному стані залежить від своєчасного проведення заходів, які забезпечують її справність і працездатність. Для цього в аеропортах використовується система планово-попереджувального технічного обслуговування та ремонту АНТ [1].

Планово-попереджувальна система (ППС) технічного обслуговування й ремонту – це сукупність взаємозалежних засобів, документації і виконавців, необхідних для підтримки й відновлення якості машин, що входять до системи.

Система заснована на безперервному контролі технічного стану машин, профілактичному характері основних заходів і на жорсткому плануванні цих заходів як за часом виконання, так і за обсягом робіт.

Для виконання зазначених робіт планово-попереджувальна система передбачає такі ремонтно-обслуговуючі дії, за допомогою яких забезпечується необхідний технічний стан



машини і її працездатність протягом усього періоду експлуатації: технічне обслуговування (ТО); поточний ремонт (ПР); капітальний ремонт (КР) [2].

Основні принципи ППС :

- всі роботи з технічного обслуговування і ремонту проводяться за здалегідь складеним графіком, який ґрунтується на рекомендаціях виробника, умовах експлуатації та технічному стані обладнання;
- система орієнтована на попередження виникнення несправностей, а не на їх усунення після того, як вони сталися;
- система охоплює всі види робіт з ТО і ПР, включаючи огляди, чищення, мащення, регулювання, ремонт та модернізацію;
- всі роботи з ТО і ПР проводяться з урахуванням наукових даних про надійність та зношення обладнання.

Переваги ППС полягають у зменшенні простоїв обладнання, підвищенні надійності та безпечності роботи, зменшенні витрат на ремонт, продовженні терміну служби обладнання.

У якості недоліків даної системи варто вказати на високу трудомісткість розробки та впровадження, необхідність у кваліфікованому персоналі, можливі випадки невіправданих витрат на ТО і ПР.

### **Висновок**

На сьогоднішній день, незважаючи на достатньо серйозний вік, планово-попереджувальна система технічного обслуговування і поточного ремонту АНТ залишається актуальною. Основні принципи, що закладені у дану систему є ефективними, мінімальна кількість видів ТО економічно виправдана, запобіжний характер технологічних операцій з підтримки та відновлення технічного стану спецмашин аеропортів дозволяє оперативно контролювати їх надійність та довговічність в умовах експлуатації.

### **Список використаних джерел:**

1. Будівельна техніка. URL: <https://budtehnika.pp.ua/7234-sistema-planovo-poperedzhuvalnogo-tehnchnogo-obslugovuvannya-ta-remontu-mashin.html>
2. Планово-попереджувальна система технічного обслуговування і ремонту машин. URL: <https://westudents.com.ua/glavy/45222-44-planovo-poperedjuvalna-sistema-tehnchnogo-obslugovuvannya-remontu-mashin.html>

УДК 656.7

## ОЦІНКА СИСТЕМИ РЕЄСТРАЦІЇ ПАСАЖИРІВ В УКРАЇНСЬКИХ АВІАКОМПАНІЯХ

Жанна Максимович

Національний авіаційний університет, Київ

Науковий керівник — Олена Харченко к.т.н., доц.

Ключові слова: авіакомпанія, оцінка реєстрації пасажирів, конкурентоспроможність.

У сучасному етапі розвитку авіації авіаперевізники мають свою систему реєстрації пасажирів, яка на їх думку є найбільш ефективною і безпечною. Для оцінки реєстрації пасажирів українських авіаліній необхідно оцінити найпоширеніші системи реєстрації, які використовують українські авіакомпанії. Автоматизація реєстрації пасажирів в аеропортах здійснюється за допомогою електронних систем, що постійно вдосконалюються [1].



Рис.1. Критерії оцінки реєстрації пасажирів

Оцінка якості реєстрації пасажирів залежить від швидкості і якості їх обслуговування, поетапних і комфортних кроків реєстрації. Якість системи реєстрації відіграє значну роль у кожній авіакомпанії так, як це напряму залежить від кількості нових і постійних пасажирів

Оцінка конкурентної спроможності ефективною реєстрації пасажирів залежить від швидкості і якості їх обслуговування. Комплекс критеріїв забезпечення конкурентоспроможності в українських авіакомпаніях для оцінки їх конкурентних переваг у реєстрації пасажирів представлено на рис. 1. Представлені елементи не є вичерпними, але вони є основними при оцінці пасажирів якості надання послуг певною авіакомпанією. Нижче наведемо приклад українських авіаліній, які виконують рейси за межами України під час воєнного стану, від найзручнішої системи реєстрації до менш новітньої.

Авіакомпанія SkyUp. Реєстрація на рейс проводиться дуже зручним способом. Це відбувається як онлайн, так і безпосередньо в аеропорту. Оформлення посадкового талону онлайн відбувається в персональному кабінеті на сайті SkyUp дуже швидко і займає кілька хвилин. Онлайн реєстрація відкривається за 48 годин та закривається за 3 години до вильоту [1]. Для регулярних рейсів безкоштовно залишається учасникам АТО, інвалідам, громадянам похилого віку [2].

Skyline Express (раніше мала назву AzurAirUkraine). Реєстрація також проходить онлайн або безпосередньо в аеропорту. Пасажири економ-класу можуть безкоштовно провезти багаж вагою до 15 кг або до 20 кг. Проте в даній авіакомпанії онлайн-реєстрація починається за 20 годин до вильоту і закінчується за 4 години до вильоту, а також сайт реєстрації потребує значних змін.

Авіакомпанія Windrose. Реєстрація проводиться при наявності електронного квитка та доступу до даної послуги. Онлайн реєстрація відкривається за 24 години та припиняється за 2 години до часу відправлення рейсу. Багаж реєструється в DropOff. Ця авіалінія має найменш зручну систему онлайн реєстрації і менше пасажирів [3].

### **Висновок**

Згідно результатів досліджень, найбільш сучаснішу і швидку систему реєстрації пасажирів за межами України, під час воєнного стану, з усіх вище сказаних, має українська авіакомпанія SkyUp.

Вже зараз у багатьох аеропортах світу зазначають, що час реєстрації пасажирів під час самообслуговування скорочує часові інтервали проходження аеропортових процедур удвічі. Відповідно, знижується потреба у кваліфікованому персоналі, знижуються вимоги до наявності в аеропортах великих площ для обслуговування пасажирів, знижуються витрати на прибирання та утримання великих залів реєстрації.

Безперечно, наступним кроком в автоматизації роботи аеропортів та авіакомпаній стане організація самостійної посадки пасажирів на рейс. Широке поширення нових технологій вплине на зниження вартості цього процесу, аналогічно зниження витрат на інші аналогічні процедури при реалізації сучасних підходів. Аеропорти «майбутнього» все більше переходитимуть під контроль інформаційних систем та вводитимуть незалежний сервіс.

### **Список використаних джерел:**

1. УНІАН інформаційне агентство. URL: <https://www.unian.ua/tourism/news/ukrajinska-aviakompaniya-azur-air-ukraine-zminila-nazvu-ta-vidnovila-poloti-shchob-ne-asociyuvatisya-z-rf-12270849.html>
2. SkyUpAirlines. URL: [https://skyup.aero/uk/news/vidteper-u-pasazhiriv-skyup-zyavitsya-vibir-bezkoshtovna-reyestraciya-onlajn-abo-platna-v-aeroportu\\_206](https://skyup.aero/uk/news/vidteper-u-pasazhiriv-skyup-zyavitsya-vibir-bezkoshtovna-reyestraciya-onlajn-abo-platna-v-aeroportu_206)
3. Windrose. URL: [https://windrose.aero/prepare\\_for\\_flight/checkin/airport\\_checkin/](https://windrose.aero/prepare_for_flight/checkin/airport_checkin/)

УДК 656.7.025:004.451

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ В АЕРОПОРТУ

**Іван Нечасєв**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Олександр Тамаргазін, д.т.н., проф.*

Ключові слова: обслуговування пасажирів, автоматизація, штучний інтелект.

У 2022 році у відкритий доступ було представлено програмний комплекс штучного інтелекту ChatGPT. По суті це була велика мовна модель, яка могла надавати логічно побудовані відповіді, максимально подібні до відповідей які дає людина.

З появою цього програмного комплексу почалися проводити дослідження впливу таких програм на продуктивність праці, зокрема в сучасному аеропорту під час обслуговування пасажирів.

Обслуговування пасажирів включає в себе фізичну роботу, таку як прийом багажу, перевірку документів, допомогу пасажиром з особливими потребами. Таку роботу не може прийняти на себе будь який програмний комплекс, але елементи штучного інтелекту можуть використовувати зокрема для консультації пасажирів та бронювання і реєстрації білетів. За результатами досліджень проведених у Гарвардській школі бізнесу були зібрані дані які дозволяють оцінити причинно-наслідковий вплив штучного інтелекту, зокрема ChatGPT, на професіоналів із високим людським капіталом [1].

Ці дослідження показали що у 18 реалістичних бізнес-завданнях штучний інтелект значно підвищив продуктивність і якість для кожної специфікації моделі, збільшивши швидкість прийняття рішень більш ніж на 25%, продуктивність, за оцінками виконавців, більш ніж на 40%, а кількість виконаних завдань більш ніж на 12%. Такі дослідження дають основу для оптимістичного очікування від підвищення продуктивності людини, яка використовує програмні комплекси зі штучним інтелектом.

Проте під час застосування програмного комплексу зі штучним інтелектом були відмічені і їх недоліки [2]. Так найбільшу авіакомпанію Канади зобов'язали виплатити компенсацію після того, як її чат-бот надав клієнту недостовірну інформацію, змусивши його купити квиток за повною ціною.

Крім того було виявлено, що програмні комплекси зі штучним інтелектом можуть видати невірний результат, що зазвичай називають «галюцинацією». Найчастіше сьогодні компанії використовують чат-боти тільки для тих пасажирів, які через перевантаження не можуть обробити відповідні call-центр.

## Висновок

Вже зараз можна сказати, що застосування штучного інтелекту в аеропортах суттєво підвищує продуктивність праці при одночасному зниженні кількості персоналу. І тому, по мірі удосконалення відповідних програмних комплексів, і в першу чергу глибини побудови нейромереж, програмні комплекси зі штучним інтелектом все ширше проникатимуть у повсякденну роботу сучасних аеропортів.

### Список використаних джерел:

1. Navigating the Jagged Technological frontier: field experimental Evidence of the effects of Ai on knowledge worker production and quality Harward business school. URL: [https://www.hbs.edu/ris/Publication%20Files/24-013\\_d9b45b68-9e74-42d6-a1c6-c72fb70c7282.pdf](https://www.hbs.edu/ris/Publication%20Files/24-013_d9b45b68-9e74-42d6-a1c6-c72fb70c7282.pdf)

УДК 657.7

## ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

Тимофій Скальський

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Олена Харченко, к.т.н., доц.*

Ключові слова: штучний інтелект, iBorderCtrl, оптимізація, безпека.

Останні десятиліття свідчать про значний розвиток штучного інтелекту (ШІ) у багатьох сферах, зокрема і в авіації. Цей прогрес спонукає прагненням підвищити ефективність та безпеку авіаційних процесів, а також прискорити час обслуговування пасажирів.

Проаналізуємо основний найбільш перспективний проект з використанням штучного інтелекту.

Програмне забезпечення iBorderCtrl, розроблене компанією European Dynamics, спрямоване на допомогу при відборі негромадян ЄС на митному контролі (AlgorithmWatch 2019). За допомогою "фальшивих біомаркерів" система визначає, чи бреше людина під час "автоматизованого інтерв'ю", використовуючи віртуальну систему кордонного охоронця, яка відстежує обличчя та рухи тіла. Якщо iBorderCtrl підозрює особу в брехні, система просить надати біометричну інформацію та проводить особисте інтерв'ю. Мета iBorderCtrl полягає в "зменшенні суб'єктивного контролю та робочого навантаження людських агентів та збільшенні об'єктивного контролю за допомогою автоматизованих засобів, які не додають часу, який мандрівник проводить на кордоні" (ibid). Проте, система все ще ґрунтується на принципі "людина-в-петлі", де реальні агенти кордонної безпеки спостерігають за процесом.



Рис. 1. Ідентифікація обличчя шляхом використання ШІ

Штучний інтелект або програмне забезпечення машинного навчання аналізуватимуть невербальну поведінку для виявлення навмисних неправильних відповідей. Одночасно програмне забезпечення буде перевіряти бази даних правоохоронних органів та збирати інформацію про потенційного мандрівника, доступну на їхніх облікових записах у Twitter, щоб розрахувати рівень ризику. Дослідження та розробка iBorderCtrl були завершені у 2020 році, і пілотна система була протестована на пунктах пропуску кордону в Греції, Угорщині та Латвії [1].

Застосування технологій аналізу мімічних жестів для встановлення кримінального потенціалу порушує ключові принципи Хартії основних прав Європейського Союзу: гідність людини, повагу до приватного життя та захист персональних даних (Статті 1, 7, 8) [2]. Це ставить під загрозу приватність та особисту гідність громадян, що вимагає уважного врахування прав та етичної відповідальності владних структур.

**Висновок** Хоча існують серйозні питання стосовно етичності, приватності та демократичної відповідальності, пов'язані з використанням технологій штучного інтелекту, європейський проект iBorderCtrl має певні перспективи щодо його впровадження в системі авіаційної безпеки аеропорту.

#### Список використаних джерел:

1. ЄС випробує детектори брехні зі штучним інтелектом на кордонах країн. URL: <https://hromadske.ua/posts/yes-viprobuye-detektor-brehni-zi-shtuchnim-intelektom-na-kordonah-krayin>
2. Хартія Європейського Союзу про основоположні права. URL: <https://ccl.org.ua/posts/2021/11/hartiya-osnovnyh-prav-yevropejskogo-soyuzu/>

УДК 656.012.34

## ДОСЛІДЖЕННЯ АВІАЦІЙНОГО ЛОГІСТИЧНОГО ЦЕНТРУ У МІСТІ МИКОЛАЇВ

Владислав Скрипка

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Лідія Курбет, асистент*

Ключові слова: обслуговування вантажів, логістика, транспортування.

Щодня в світі обробляють, приймають і відправляють мільйони вантажів. Динаміка імпорту-експорту постійно зростає [1]. Щоб залишатися конкурентоспроможними на ринку, компаніям потрібно збільшувати пропускну здатність складів та організувати їх безпеку [2]. Щоб зміцнити авіаційну логістичну систему, в європейських країнах будують великі індустріальні парки. Це склади з величезною площею, що обробляють масивні об'єми вантажів. Такі логістичні центри виконують завдання логістичної підтримки, тобто забезпечення, зберігання, управління запасами та розподіл запасних частин і компонентів для літаків, а також інших матеріалів, що потрібні для авіаційної діяльності, транспортування вантажів. В Україні перевезення вантажів авіаційним транспортом регулюється Наказом №1795 [3].

Предметом дослідження є авіаційний логістичний центр в Миколаєві. Основні складові його: вантажний термінал площею: 100 000 м<sup>2</sup>, пропускну здатністю: 200 000 тонн вантажів на рік обладнання для обробки різних типів вантажів, включно зі швидкопсувними та небезпечними. Пасажирський термінал площею: 50 000 м<sup>2</sup>, пропускну спроможністю: 2 мільйони пасажирів на рік, сучасні зали очікування, кафе, магазини та інші зручності для пасажирів. Злітно-посадкова смуга довжиною: 3 500 метрів, шириною: 45 метрів зі здатністю приймати всі типи повітряних суден, включаючи Boeing 747 і Airbus A380. Інфраструктура: дороги, під'їзні шляхи до центру з основних автомагістралей, залізниця, енергопостачання, водопостачання.

До 2022 року Миколаївський авіаційний логістичний центр мав обмежені можливості у вантажних перевезеннях в порівнянні з іншими логістичними хабами в Україні. Зазвичай вантажні перевезення в хабі обмежувалися деякими регулярними рейсами, що виконувалися невеликими вантажними літаками або спеціалізованими вантажними авіалініями.

Вантажі на внутрішніх рейсах, перевезення вантажів між Миколаївським аеропортом та іншими аеропортами України, такими як Київ або Одеса, зазвичай здійснювалися легкими вантажними літаками. Міжнародні вантажні перевезення: обмежений обсяг міжнародних вантажних перевезень через аеропорт, переважно здійснювався через вантажні рейси деяких міжнародних авіакомпаній або спеціалізованих вантажних операторів. Експрес-вантажі:

деякі компанії-логістичні оператори можуть використовувати аеропорт для експрес-вантажів, таких як документи або малогабаритні товари, які потрібно доставити швидко.

Дослідження Миколаївського авіаційного логістичного хабу показали, що його перспективами є розвиток логістичних послуг, які хаб може надавати; збільшення вантажопотоку, привертання нових авіакомпаній та розширення мережі вантажних маршрутів для збільшення обсягів перевезень вантажів через аеропорт; модернізація вантажної інфраструктури, оновлення та модернізація вантажних терміналів, збільшення потужності складських приміщень, вдосконалення систем вантажоперевезень та обробки вантажів; розвиток спеціалізованих вантажних послуг, сприяння розвитку спеціалізованих вантажних послуг, таких як перевезення небезпечних вантажів, перевезення температурно-чутливих товарів тощо.; стимулювання інвестицій в вантажну інфраструктуру, залучення інвестицій для розширення вантажної інфраструктури аеропорту, у тому числі будівництво нових або реконструкція існуючих складських приміщень; співпраця з логістичними компаніями, укладання партнерських угод з великими логістичними компаніями для забезпечення ефективної організації вантажних перевезень та оптимізації логістичних процесів.

#### **Висновок:**

Авіаційні логістичні хаби відіграють критичну роль у глобальній економіці, полегшуючи транспортування товарів та людей по всьому світу. Крім того, авіаційні логістичні центри сприяють розвитку місцевої економіки, створюючи нові робочі місця та приваблюючи інвестиції в інфраструктуру. Вони також є важливим елементом національної безпеки, забезпечуючи надійне функціонування авіаційного сектору в разі кризових ситуацій або екстрених подій. В після військовий час роль авіаційних логістичних центрів в Україні набуде великого значення. Їхні можливості та ефективність визначатимуть конкурентоспроможність українського авіапростору на міжнародній арені.

#### **Список використаних джерел:**

1. Logistics Performance Index (LPI). URL: <https://lpi.worldbank.org/international/global>
2. Trade Logistics in the Global Economy. 2023. URL: [https://lpi.worldbank.org/sites/default/files/2023-04/LPI\\_2023\\_report\\_with\\_layout.pdf](https://lpi.worldbank.org/sites/default/files/2023-04/LPI_2023_report_with_layout.pdf)
3. Наказ №1796 від . Про затвердження авіаційних правил України «Правила повітряних перевезень вантажів». URL: <https://ips.ligazakon.net/document/RE37365?an=1>



УДК 544.643

**АНАЛІЗ ВПЛИВУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА РОЗВИТОК  
КОРОЗИЙНИХ ПРОЦЕСІВ В АВІАЦІЙНІЙ НАЗЕМНІЙ ТЕХНІЦІ****Ігор Сторожук***Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник – Лідія Курбет, асистент.*

Ключові слова: корозія, температура, вологість, іржа, навколишнє середовище.

Корозія металів завдає значної шкоди всім галузям господарства. Ця шкода визначається не стільки вартістю металу, що кородує, скільки витратами на захист від корозії, вартістю ремонтних робіт, а також збитками за рахунок тимчасового припинення нормального функціонування ушкодженого корозією обладнання [1]. Корозія металу – це природний процес, який отримує свій розвиток в результаті контакту металу, води і кисню. Руйнування металів відбувається при хімічній і електрохімічній взаємодії їх з навколишнім середовищем [2]. В авіаційній наземній техніці найчастіше «іржава хвороба» проявляє себе в кузові, на колісних арках, кришці багажника, кромці дверей, порогах, днище (в першу чергу в задній частині авто), а також у всіляких щілинах і дренажних каналах.

Об'єктом дослідження є вплив навколишнього середовища на виникнення та протікання різноманітних проявів корозії на поверхнях та деталях авіаційної наземної техніки. В якості методів дослідження використано аналіз, синтез та порівняння тематичних літературних джерел з метою узагальнення та використання отриманої інформації для потреб вивчення проблем корозійного руйнування поверхонь та деталей авіаційної наземної техніки.

Для автомобілів в основному характерна електрохімічна корозія, так як умови її виникнення створюються постійно:

- при дощі, снігопаді, зміні температури – коли на зовнішніх і внутрішніх поверхнях кузова утворюється водяна плівка (конденсат). При її забрудненні кислотами і лугами, що містяться в повітрі виходить електроліт;

- в металі після штампування і зварювання з'являються ділянки зі зміненою структурою; неоднорідність, а також мікровключення шлаків і дрібні дефекти провокують виникнення гальванічних пар, тобто електрохімічну корозію в сталевих деталях кузова.

Така корозія особливо інтенсивна при відносній вологості повітря більше 60% і у великих містах із забрудненою атмосферою. Для чистої поверхні заліза за відсутності хімічних забруднень в повітрі критична вологість дорівнює приблизно 70%. Але в реальності таких умов утримання не має жоден автомобіль. Для забрудненої поверхні критична вологість знижується до 50%. Пил і дрібні частинки грязі адсорбують і конденсують вологу [2 - 4] .

У промислових районах навіть дощова вода має, як правило, кислу реакцію. Це пояснюється тим, що і газоподібні домішки, що знаходяться в промисловій атмосфері, розчиняються в дощовій воді і підкисляють її. При підвищенні вмісту в навколишньому середовищі діоксиду сірки швидкість корозії збільшується. Аналогічний вплив на швидкість корозії роблять хлор, аміак, оксиди азоту і ряд інших газоподібних домішок.

Бруд, що прилипає до днища кузова автомобіля, навіть в сухі періоди залишається вологим, і корозія продовжується за рахунок вологи, що міститься в бруді. Взимку в аеропортах активно застосовують різні реагенти для профілактики обмерзання [5]. Потрапляння цих солей руйнівню діє на стан кузова.

### **Висновок**

Авіаційна наземна техніка працює в середовищі, яке не є ідеальним з позицій захисту її від появи та розвитку корозійних процесів на поверхнях кузовів та деталях. В умовах експлуатації АНТ навколишнє середовище завжди є агресивним по відношенню до стану металевих поверхонь. Поблизу промислових підприємств пил і бруд на дорогах можуть містити значну кількість агресивних речовин – сульфатів, хлоридів, фосфатів, вугільного пилу тощо. Пил проникає в закриті порожнини кузова, щілини, зазори, накопичується там і при подальшому зволоженні утворює корозійно-активне середовище. Таким чином, швидкість атмосферної корозії АНТ змінюється у залежності від клімату, сезону року і умов експлуатації.

### **Список використаних джерел:**

1. Методи захисту обладнання від корозії та захист на стадії проектування. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018 р. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/991b35bf-dc45-40b3-b67a-557187c95891/content>
2. В.В. Біліченко. Матеріали для сервісу та ремонту автомобілів. URL: [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/bilichenko\\_servis\\_ta\\_remont\\_avto/6.1.html](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/bilichenko_servis_ta_remont_avto/6.1.html)
3. Як уберегти автомобіль від корозії. URL: <https://an.net.ua/more.html?id=23278>

**УДК 625.717(043.2)**

## **СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЗАСОБИ ЗАЛИВКИ АЕРОДРОМНИХ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ ШВІВ**

**Костянтин Тімін**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Віктор Личик, ст.викладач*

Ключові слова: аеродром, покриття бетонні, шви деформаційні.

На сьогодні однією з актуальних проблем будівництва, ремонту та відновлення штучних покриттів аеродромів є формування на покриттях аеродромних деформаційних температурних швів (АДТШ), які забезпечують деформації плит покриття в залежності від температури навколишнього середовища.

Враховуючи різні підходи до вирішення проблеми обладнання деформаційних швів на аеродромах як цивільної, так і державної авіації, проведемо аналіз сучасних технологій, обладнання та матеріалів, які використовуються при будівництві та реконструкції аеродромних покриттів.

Найбільш поширеним матеріалом для аеродромних покриттів є бетон. Бетон, як і багато інших будівельних матеріалів, може розширюватися і стискатися при зміні температури. Чим більшою є бетонна плита, тим більша ймовірність того, що вона буде розширюватися і стискатися. Деформації бетонних плит приводить до виникнення тріщин у покритті. Щоб запобігти виникненню тріщини, необхідно дати бетону простір для руху. Для цього і використовують АДТШ, які виконують роль компенсаторів.

АДТШ– це проміжки між частинами бетону, які штучно створюють (нарізають) після заливки бетону. Потім простір заповнюється спеціальним герметиком, який дозволяє бетонній плиті покриття рухатися.

Відповідно до діючих будівельних норм, жорсткі монолітні покриття слід розділяти на окремі плити деформаційними швами.

Розміри плит повинні встановлюватись залежно від місцевих кліматичних умов, колії опор ПС, розміщення вогнів системи світлосигнального обладнання, а також відповідно до наміченої технології виконання будівельних робіт по облаштуванню аеродромного покриття.

Відстань між деформаційними швами стискання не повинна бути більшою від 25-ти кратної товщини шару для монолітних бетонних покриттів товщиною менше 30 см. А для бетонних покриттів товщиною 30 см і більше ця відстань становить 7,5 м;

Відстань між поперечними деформаційними швами, а також між поздовжніми деформаційними швами збірних покриттів на перонах, МС і майданчиках спецпризначення встановлюється відповідно до значень амплітуд середньомісячних температур в діапазоні від 30° С до 45°С і більше і встановлюється в межах від 24 до 12 м.



Для нарізання деформаційних швів використовується спеціальні наріжчики швів [1] з фрезою, яка має алмазне напилення та систему водного охолодження. Глибина нарізання поперечних швів становить  $1/4$  товщини плити, поздовжніх -  $1/3$  товщини плити. Ширина, як правило, складає 3-4 мм. Деформаційні шви жорстких покриттів повинні бути захищені від проникнення поверхневих вод та експлуатаційних рідин, а також від засмічення їх піском, щебнем та іншими твердими матеріалами. Герметик для заливки швів являє собою суміш рідкого дорожнього бітуму або твердого будівельного бітуму (з додаванням індустриального мастила) та каучуку. Найчастіше використовуються герметики CRAFCO (США), BEGUMA (Німеччина), ВЕМАПЛАСТ (Україна) [2].

Рис.1. Заливальник ВЕМА-500

Матеріали для герметизації швів не повинні змінювати свої експлуатаційні властивості при короткочасному впливі гарячих газоповітряних струменів від авіадвигунів.

Для заливки деформаційних швів герметиком використовуються як самохідні, так і прицепні аеродромні заливальники. Сучасні заливальники обладнані змішувачем, дизельним або газовим пальником, бітумним насосом та шлангом що подає герметик до вудки, що забезпечує подачу герметика безпосередньо у шви [3].

### Висновок

Використання сучасних технологій, матеріалів та засобів для підвищення надійності аеродромних покриттів є важливим елементом аеродромно-технічного забезпечення польотів в аеропортах. В цьому аспекті вітчизняні технології та матеріали, як показує аналіз, є конкурентноздатними з провідними іноземними брендами.

### Список використаних джерел:

1. Швонарізчик електричний CEDIMA CF22E: <https://gurkit.ua/ru/product/21589/shvonorezchik-elektricheskiy-cedima-cf22e.html>
2. Аеродромні мастики: <http://www.vema-k.kiev.ua/p4.htm>
3. Технологія герметизації швів: <https://gruen-gmbh.de/en/produkt/rvk-200i-vertical-mobilestationary/>.

**UDC 656.7.025:004.451**

**PROSPECTIVE TECHNOLOGICAL INNOVATIONS IN AVIATION SAFETY SYSTEM**

**Fedorov Bohdan**

*National aviation university, Kyiv*

*Scientific supervisor - Liudmyla Pryimak, c.t.s., doc.*

Keywords: aviation security, artificial intelligence, biometric authentication.

The aviation security system is one of the most important components of the technological processes of the airport, ensuring the safety of passengers, crew, cargo and aircraft. A decrease in the level of effectiveness of aviation security leads to terrorist acts and attacks. To deal with these threats, modern aviation systems use a comprehensive approach.

At the first stage, the preliminary security control of passengers and their luggage takes place. This includes document checks, detection of metal objects and X-ray scanning of luggage, if necessary, canine support. All these measures are designed to detect and prevent prohibited items from being brought on board the aircraft, which may endanger passengers and crew.

Technological innovations play a significant role in increasing the effectiveness of aviation security. One of the most promising areas is the use of artificial intelligence. Artificial intelligence can be used to analyze large volumes of data from video surveillance systems, detect suspicious activity or objects, and automate the processes of detecting and responding to threats. On the basis of these latest developments, it is possible to implement automated recognition of suspicious actions of passengers and airport employees on video surveillance cameras. After a signal from artificial intelligence systems about an unusual event, it should be paid attention to by an employee of the aviation security service, or, in cases of extreme threat, the system should automatically notify operational units of the aviation security service and the police, in order to reduce the response time and, accordingly, increase chances to detain the violator and prevent his possible actions.

It should be noted that biometric authentication is a promising innovation. This technology, unlike artificial intelligence, was developed and implemented earlier, and has a certain level of development and improvement. Biometric authentication is gradually changing the rules of airport security. By using each person's unique physical data, such as fingerprints, facial contours, iris scans, and even voice recognition, biometric systems have made the passenger authentication process faster and more reliable. This technology significantly reduces the risk of identity fraud and helps aviation security units more effectively identify potential threats by ensuring access to restricted areas is restricted to authorized individuals.

## Conclusion

Therefore, the implementation and measures described above together form an aviation security system that is constantly being improved, adapted to new threats and optimized due to the latest technological capabilities. And also an important factor is the reliability and communication of the process of cooperation between aviation companies, technology manufacturers and law enforcement agencies, which contributes to increasing the level of aviation security in the future.

## References:

1. IATA AVIATION SECURITY. URL: <https://www.iata.org/en/programs/security/>
2. AIRPORTINDUSTRY-NEWS. Airport Security: The Power of Technology Explained URL: <https://airportindustry-news.com/airport-security-the-power-of-technology-explained/>

УДК 629.735.4

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПОВІТРЯНИХ КРАНІВ ПРИ ПРОВЕДЕННІ БУДІВЕЛЬНИХ ТА РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ

Шолудько Ігор

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Олег Білякович, к.т.н., доц.*

Ключові слова: вертоліт, будівництво, вантажопідйомність, технологія, вертодром.

Повітряний кран (ПК), який часто називають «вертоліт-кран» (ВК), на сьогоднішній день є одним з перспективних видів обладнання, що застосовується в багатьох галузях, зокрема, у будівництві, при проведенні монтажних робіт, рятувальних робіт, в енергетиці, лісозаготівлі тощо. Їх унікальна здатність вертикального зльоту та посадки, а також висока маневреність та вантажопідйомність роблять їх ефективними для роботи в важкодоступних місцях.

У певних ситуаціях використання послуг ПК може бути навіть обов'язковим. Деякі території мають екологічні обмеження, які вимагають невторчання в навколишнє середовище. Вертоліт-крани роблять це можливим і не завдають шкоди довкіллю, яку створює наземний транспорт [1].

Крім того, на відміну від стаціонарних кранів, ВК не потребує монтажу, окремої площадки для його зберігання на будівельному майданчику та може швидко змінювати місце базування та застосування в залежності від ситуації. Транспортування матеріалів за допомогою гелікоптера може бути оперативним з більш точним позиціонуванням будівельних матеріалів, та одночасно використовуватись у якості стаціонарного крана.

Технічні параметри сучасних ВК свідчать про їх можливості щодо підйому і транспортування великогабаритних предметів, у тому числі цілих фрагментів конструкції.

На протязі тривалого періоду їх експлуатації були реалізовані багаточисельні проекти будівництва різноманітних споруд. Один із таких прикладів включає допомогу з очищення від пилу зі «Статуї Свободи», яка стоїть на куполі Капітолію у Вашингтоні, округ Колумбія, статую демонтували та повернули назад з метою очищення при залученні крану-вертольоту.

ПК від компанії Erickson Air-Crane брали активну участь у будівництві мосту через Чесапекську затоку, який з'єднує Меріленд, Делавер і Вашингтон. Вертольоти допомагали транспортувати вантажі та монтувати секції даної будівлі. Цей міст вважається одним із найдовших надводних мостів у всьому світі [2].

У 2022 році обсяг світового ринку вантажних вертольотів оцінювався в \$4,93 млрд і, за прогнозами, зросте з \$5,55 млрд у 2023 році до \$9,67 млрд до 2030 року (рис.1).

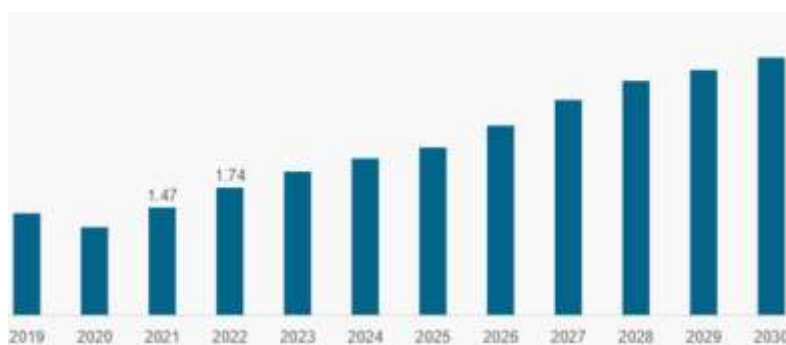


Рис. 1. Зростання світового ринку вертоліт-кранів [3]

Наведемо декілька прикладів найбільш популярних на сьогоднішній день повітряних кранів. AgustaWestland AW101 – вертоліт-кран, який був розроблений спільно компаніями Westland Helicopters (Велика Британія) та Agusta (Італія) у 1999 році та має вантажопідйомність 15 т [4]. Sikorsky S-92 — двомоторний вертоліт-кран, який виробляється фірмою Sikorsky Aircraft, в експлуатації з 2004 року та має вантажопідйомність 13 т [5].

### Висновок

Використання ВК з великою вантажопідйомністю може значно допомогти у післявоєнному відновленні країни. Ці унікальні повітряні машини здатні транспортувати рятувальників та обладнання, завантажувати/розвантажувати будівельні матеріали, гуманітарну допомогу, до районів, які постраждали від війни. Технологічні процеси з використання повітряних кранів дозволять суттєво інтенсифікувати процеси з відновлення країни у повоєнний період.

**Список використаних джерел:**

1. Послуги повітряних кранів. URL: <https://www.flexairo.com/helicopters/helicopter-crene-services/>
2. Про переваги повітряних кранів. URL: <https://www.fairlifts.com/construction-helicopters/heavy-lift/>
3. Ринок вертоліт-кранів. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/air-crane-helicopter-market-102172>
4. AgustaWestland AW101. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/AgustaWestland\\_AW101](https://uk.wikipedia.org/wiki/AgustaWestland_AW101)
5. Sikorsky S-92. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Sikorsky\\_S-92](https://uk.wikipedia.org/wiki/Sikorsky_S-92)



## АЕРОКОСМІЧНА ТА АВІАЦІЙНА ІНЖЕНЕРІЯ

UDC 629.7:533.6

### TOWARDS A COMPACT WIND TUNNEL DESIGN

**Yevhen Panchuk**

*National Aviation University, Kyiv*

*Supervisor – Sviatoslav Yutskevych, PhD, Head of the Department*

Key words: wind tunnel, aerodynamic, Arduino.

**Introduction.** In recent times, there has been a surge in interest surrounding the development and deployment of unmanned aerial vehicles (UAVs), encompassing both fixed-wing aircraft and copter configurations, with sizes ranging from mere tens of centimeters to several meters. For many developers, the aerodynamic characteristics of UAVs may not pose an immediate concern, especially when the aircraft boasts substantial power capabilities. However, as missions extend to longer durations, achieving optimal aerodynamic performance becomes increasingly pertinent.

One potential avenue for addressing this challenge lies in modeling through various Computer-Aided Engineering (CAE) software. Nevertheless, the issue of validating such simulations remains unresolved. A promising approach to validation involves conducting wind tunnel tests on a smaller scale, owing to the compact dimensions of UAVs. The construction of such a scaled-down wind tunnel can be accomplished without exorbitant expenses.

In light of these considerations, this paper delves into the essential parameters requiring attention in the development of such a compact wind tunnel.

**Materials and methods.** Wind tunnels are classified based on various parameters including their circuit type, test-section configuration, Mach number range, and principle of action. Fig. 1 presents a comprehensive classification scheme of wind tunnels [1,2].

WIND TUNNELS		
<p style="text-align: center;"><b>CIRCUIT TYPE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Circuit Wind Tunnels</li> <li>✓ Closed Circuit Wind Tunnels</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>TEST-SECTION CONFIGURATION</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Test Section</li> <li>✓ Closed Test Section</li> <li>✓ Slotted Wall Test</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>MACH NUMBER RANGE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Subsonic (M=0.15-0.7)</li> <li>Transonic (M=0.7-1.3)</li> <li>Supersonic (M=1.3-5)</li> <li>Hypersonic (M=5-25)</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>✓ PRINCIPLE OF ACTION</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Compressor-Based (continuous operation)</li> <li>✓ Pressure-Balloon (utilizing increased pressure in a balloon)</li> </ul>		

Fig.1. Wind Tunnels classification

Key parameters in wind tunnel design are the Reynolds number, Mach number, Freud number, and the Navier-Stokes equation.

**Results.** Ideally, the size of a tunnel is determined by its intended use, with larger tunnels generally allowing for a wider range of experiments and applications. On the other hand, tunnels

with smaller test sections are used primarily for research and education purposes, offering a more controlled environment for detailed analysis and experimentation. The test model should be less than 0.8 the width of the test chamber. The length of the chamber is greater than the width by 1.5-2 times. The typical equivalent cone angle of diffuser is in the range of 2-3,5° with the smaller angles being more desirable. The area ratio is typically 2-3, again with the smaller values being more desirable. Contraction or nozzle. Typical area ratios are in the range of 7-12, although lower and higher values are not uncommon. [1, 2]

Also, when designing a wind tunnel, it is important to consider such factors as noise reduction and acoustic isolation, energy efficiency and operating costs, safety and accessibility, vibrations (can be reduced by the strength and stability of the structure).

In regards to the materials available, the choice is usually between acrylic and polycarbonate sheets. Of course, the choice between these two materials should be based on the specific requirements of the individual case, taking into account the balance between the advantages of durability and simplicity of processing. Polycarbonate is more resistant to vibration while acrylic is easier to machine.

To measure lift and drag in a wind tunnel an Arduino-based system with load cell beams can be used. The system consists of an Arduino board and HX711 amplifiers. The aluminium beams load cells rotate to measure lift and drag. The lift beam configured as a lever to detect upward movement caused by lift. The second upper beam measures drag by moving backwards. This design allows for accurate measurement of both lift and drag forces during wind tunnel testing. [3]

**Conclusion.** For a compact wind tunnel, it is better to choose open circuit tunnel. Polycarbonate is the preferred material for the wind tunnel casing because of its vibration resistance. An Arduino-based system using beams with strain gauges can be developed to accurately measure the lift and drag forces.

#### **References:**

3. L. M. Couch. Wind tunnel supplementary Mach number minimum section insert. NASA Technical Reports Server. 1981. URL: <https://core.ac.uk/works/4473028> (Last accessed: 24.03.2024).
4. C. M., Jr. Jackson, D. G. Summerfield. Wind tunnel model and method. NASA Technical Reports Server. 1974. URL: <https://core.ac.uk/works/4470848> (Last accessed: 24.03.2024).
5. Warren L. Horne, Nans Kunz, Phillip M. Luna, Andrew C. Roberts, Kenneth M. Smith, Ronald C. Smith. Wind tunnel balance. NASA Technical Reports Server. 1989. URL: <https://core.ac.uk/works/4475695> (Last accessed: 24.03.2024).

UDC 621.45.038(043.2)

**COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT COOLING METHODS OF THE LIQUID PROPELLANT ROCKET ENGINE NOZZLE**

**Vladislav Petrov**

*National aviation university, Kyiv*

*Supervisor – Volodymyr Krasnopolskyi, PhD, associate professor*

Key words: rocket engine, nozzle, ablative cooling, regenerative cooling, film cooling.

The exhaust gases of the rocket engine are very hot, provides a risk of nozzle melting during long time operation. That's why it is important to find methods that would not only improve the structure, but also increase airworthiness and economic efficiency.

First possible way in order to prevent melting is making the walls of chamber so thick that even hot gases cannot heat all the metal to the melting temperature level, e.g. could be used a heat-resistant alloy Inconel.

Ablative cooling. Ablative cooling is one of the most simple and effective ways of cooling of the engine. It is a special technique which utilizes latent heat of evaporation and predominant chemical reaction. The carbon composite alloy as an ablation material is attached to the combustion chamber and acts as insulators since the thermal conductivity of ablative materials is very low. When combustion gases flow they are having high temperature and they start vaporizing the liners of ablative materials the material will carry heat with it. For example, the SpaceX Falcon 1 with Merlin 1A engine carbon composites were used as ablative cooling. The rate of combustion of the carbon composite layer depends on the technical specification and design of the rocker engine.

Regenerative cooling is a common option. The method involves allowing a certain amount of fuel to flow through the walls of the combustion chamber and nozzle, absorbing heat before it reaches the injectors. In order to do this, channels are cut into the walls to allow the liquid to flow through, and the interior of the chamber must, firstly, withstand high temperature stress, and secondly, be a good conductor of heat from the walls to the channels. Here, a composite material made of carbon fibers impregnated with a carbon matrix or thermally conductive polymers can be used, all of which meet the conditions mentioned above. The coolant liquid through the channel can be either fuel or cryogenic fuel, i.e. an oxidizing agent, which means that the outside of the rocket nozzle will be extremely cold, while the inside is the opposite. On the other hand, there is an increased chance that the fuel will boil over. In this case, the energy transferred from liquid to gas can be used to rotate the turbine and run the engine pumps.

Film cooling requires the injection of liquid between the combustion chamber or nozzle surface and hot combustion products. This creates an artificial boundary between the wall of chamber or nozzle and hot gases, which acts as thermal insulation removing the excessive heat. The

easiest way to provide this liquid film is to arrange bigger amount of fuel or oxidizer injectors on the outer perimeter of the injector face. This way it can be created a ring of extra fuel flowing around the outer perimeter that won't have enough amount of oxidizer needed to burn. Such liquid ring can stop the heat transferring from the main combustion gases to the walls and flow it away. Additionally that fuel will be used later in the combustion process but it already has greater temperature which increases the efficiency of engine [1].

### Conclusion

It is completely inefficient and impractical to make the walls of the nozzle thick due to a sharp increase in the weight of the structure and the price. It is much easier to use the ablation cooling method, it has no moving parts and self-regulating, although in this case the engine cannot be used again due to the wear of the walls of the ablation chamber. In film cooling, there is a risk of coolant leakage from the system, which can lead to loss of thrust or damage to the nozzle. Although the design is complex, it involves complex systems for supplying the coolant, as well as ensuring a higher wall pressure than in the combustion chamber – the regenerative cooling method is widespread among modern rockets, such as SpaceX Falcon 9 and Blue Origin New Shepard etc.

### References:

1. Everyday Astronaut [https://www.youtube.com/watch?v=he\\_BL6Q5u1Y&t=0s](https://www.youtube.com/watch?v=he_BL6Q5u1Y&t=0s)

**UDC 629.784:626.025(043.2)**

## ANALYSIS OF POSSIBLE SOLUTIONS FOR MOST COMMON SPACESUIT DESIGN PROBLEMS

**Artur Tkachuk, Sophia Maslakaeva, Bohdana Holota**

*National aviation university, Kyiv*

*Supervisor – Volodymyr Krasnopskii, PhD, associate professor.*

Key words: Spacesuit, shoes, knapsack, gloves.

The design of modern spacesuits has several disadvantages: the bulkiness of the gloves, the too short time of using the knapsack, a large number of layers of materials, which in turn makes the design bulky and heavy. The high probability of throwing an astronaut away from the station is also a big problem. Therefore, it is worth considering options for solving these problems.

Shoes for spacesuits must protect the feet from mechanical damage, cooling and overheating and various other external factors. Spacesuit boots for walking in zero gravity have a simple design, since astronauts do not normally walk on the surfaces of space objects, but they must be comfortable, quick and easy to put on and take off. Already for staying on space objects, shoes must be more carefully thought out, for example, for landing on the moon or Mars. Another problem is

the high probability of throwing an astronaut away from the station, for example, due to an accidental unsuccessful movement, which is why it is necessary to create additional safety devices. The solution to this problem is the creation of shoes with magnetic soles – can be used electromagnets that will be sewn into the soles of these shoes [1].

Spacesuit materials are also an aspect that should be improved. The Apollo A7L spacesuit was created for landing on the surface of the Moon under the Apollo program in 1969-1972. This spacesuit was of the soft type and consisted of 17 layers of various strong materials. A thermoregulatory suit, penetrated by a network of tubes with water circulating in them, was worn under the outer spacesuit. The mass of the lunar spacesuit was about 90 kg. The autonomous life support system was designed for six hours of operation on the lunar surface plus 30 minutes of emergency reserve. But now Axiom Space is collaborating with Prada to create spacesuits that will be worn by NASA's next astronauts on the Artemis missions. Prada will assist Axiom in working on the outer layer of its spacesuit, which has to protect the suit's inner layers from the space environment, including lunar dust, without hindering its mobility and also using composites for parts of the torso and pants of the suit, he said, could make the suit lighter [2,3].

The gloves are one of the most important parts of the spacesuit as they are meant to give astronauts ability to operate in the outer space. That is why they must be as mobile as possible in order to make the astronauts' work comfortable. Originally, the spacesuit glove consists of three main layers: the pressure, restraint and Thermal Micrometeoroid Garment (TMG) layers. The pressure layer is meant to keep the air inside the spacesuit, the restraint layer keeps the shape and the size of the gloves permanent and TMG layer protects astronauts from fast moving particles. But still, all this layers mentioned above make gloves inflexible. So, the Smart Astronaut Glove was invented. The essence of its work is that astronauts would operate a joystick interface that would repeat all the movements given by the astronaut. It would make the work much easier for astronauts as they would not have to make a lot of effort to keep the tools in theirs hands. Furthermore, the reduction of physical fatigue will increase the quality of the astronauts' work performance [4].

For movement, astronauts use a knapsack with auxiliary engines. Now  $\text{H}_2\text{O}_2$  is used as fuel. 1 kilogram of hydrogen peroxide can create an impulse of 100 kgf\*s. However, this substance can be used as an oxidizer for more powerful fuels, such as methane. Then, with the same mass of fuel and oxidizer, will be got a greater impulse, which in turn will make it possible to increase the operating time of this equipment. An additional impulse will be provided through an increase in thrust, which in turn will be provided by the combustion of methane and an increase in the pressure and rate of leakage of used gases. For example, modern spacesuits contain about 14 kg of compressed hydrogen peroxide, which provides a total impulse of 1400 kgf\*s. From the equation for the reaction of methane and hydrogen peroxide:  $\text{CH}_4 + 4\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ , is understandable that it is

necessary to take 4 mols of hydrogen peroxide for 1 mol of methane. So, if the total mass of these substances will be 14 kg, then the mass of methane and hydrogen peroxide should be 4.48 kg and 9.52 kg, respectively. But, there are also disadvantages. Possible increase in weight due to the complexity of the system, as well as the fire hazard of such a solution. So, in this way, by replacing only 4.48 kg of compressed hydrogen peroxide with methane, can be achieved a longer operating time of this equipment.

### Conclusion

A spacesuit is a complicated, heavy and expensive technical solution of the human work problem in outer space. To make it more safe, easy, convenient and comfortable the further research and improvements are strongly recommended.

### References:

1. <https://kunsht.com.ua/articles/yak-pracyuye-skafandr>
2. <https://spacenews.com/axiom-space-partners-with-prada-on-artemis-spacesuits>
3. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Скафандр>
4. <https://www.showmetech.com.br/uk/Зустрічайте-нові-скафандри-NASA>

УДК 548

## ГРАФЕН: РЕВОЛЮЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ В АВІАЦІЇ

Софія Бурейко

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Михайло Свирид, к.т.н., доцент*

Ключові слова: графен, матеріал, літакобудування.

**Вступ.** Використання новітніх матеріалів, таких як графен, у літакобудуванні відкриває безліч можливостей для поліпшення продуктивності, зниження ваги та покращення ефективності палива літаків. Ця технологія може значно підвищити безпеку та довговічність літаків, знизити витрати на їх експлуатацію та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

**Матеріали та методи.** Проаналізовано фізичні властивості графену, які можуть мати вирішальну роль у виборі цього матеріалу. Серед них такі як:

- висока міцність: в 200 разів міцніший за сталь. У порівнянні із алюмінієвим сплавом Д16Т витримує навантаження у 100 разів більше (графен 130 ГПа, алюміній 480 МПа);
- легкість: в 5 разів легший за сталь і в 3,5 разів за алюміній;
- електропровідність;
- теплопровідність;

- гнучкість: може згинатися і деформуватися без руйнування.

Ціна на графен наразі значно вища. Проаналізувавши відкриті джерела стосовно цін, можемо побачити, що графен у десятки разів дорожче за алюміній Д16Т. Для прикладу лист алюмінію Д16Т коштує від 300 грн., а графен коштує від 46 грн. за грам.

Завдяки своїм винятковим властивостям, графен має значний потенціал для використання в авіаційній галузі наступним чином:

- Зменшення ваги літаків, економія палива та зниження викидів CO<sub>2</sub>;
- Підвищення міцності фюзеляжа та крил, підвищення безпеки польотів;
- Захист від обледеніння за рахунок теплопровідності графену;
- Електромагнітне екранування електроніки літака;
- Виготовлення датчиків для моніторингу стану літака (температури, тиску, деформації).

### Результати

На авіасалоні Фарнборо 2018 був представлений перший у світі літак з графеновою обшивкою, відомий як Juno. Цей безпілотний літак має довжину 3,5 метри і виготовлений у партнерстві з різними організаціями, такими як Університет Центрального Ланкаширу, Sheffield Advanced Manufacturing Research Center, Національний інститут графену Манчестерського університету та Haydale Graphene Industries [2].

Графенова обшивка літака додає міцності звичайним матеріалам фюзеляжу, зменшуючи вагу літака і дозволяючи збільшити його навантаження або знизити споживання палива. Теплопровідність графену допомагає у запобіганні утворенню льоду, а його електропровідність розсіює енергію ударів блискавки по всій поверхні літака. Тестові польоти Juno планується провести протягом наступних двох місяців. Графен, що складається з шарів зв'язаних атомів вуглецю завтовшки в один атом, є не тільки найміцнішим штучним матеріалом у світі, але також має високу як тепло, так і електропровідність [2].

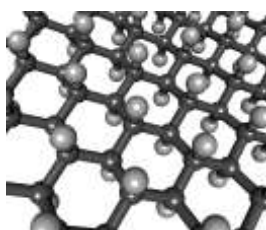


Рис.1. Зв'язані атоми вуглецю завтовшки в один атом

### Висновок

Графен, завдяки своїм унікальним властивостям, відкриває широкі перспективи для застосування в авіаційній галузі. Матеріал може стати одним з ключових матеріалів у цій галузі.

**Список використаних джерел:**

1. Graphene's use in the aerospace industry. *Nanografi Nano Technology*. URL: <https://nanografi.com/blog/graphenes-use-in-the-aerospace-industry/> (date of access: 20.03.2024).
2. World's first graphene-skinned airplane unveiled in the UK. *New Atlas*. URL: <https://newatlas.com/graphene-skinned-aircraft/55817/> (date of access: 19.03.2024)

УДК 624.073.8(043.2)

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕРЕРІЗУ ПІСЛЯ НАСТАННЯ МІСЦЕВОЇ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ****Кирик Мирослава***Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник – Михайло Карускевич, д.т.н., професор*

Ключові слова: тонкостінні конструкції, стиск, місцева втрата стійкості.

Каркас літака – це переважно тонкостінна конструкція. Основним недоліком тонкостінної конструкції є можлива поява місцевої втрати стійкості під дією стиску. Проте місцева втрата стійкості не завжди приводить до руйнування, саме тому, щоб спроектувати ефективну конструкцію, необхідно знати, що відбувається після втрати стійкості [1].

Предметом дослідження поведінки стиснутого тонкостінного елемента після місцевої втрати стійкості були обрані зразки алюмінієвого сплаву, переріз яких є симетричний кутовий профіль 10×10×0,11. Довжина – 100 мм. Зразки навантажувалися статично стискаючою силою, прикладеною без початкового ексцентриситету, аж до руйнування зразка. Перед проведенням експерименту були проведені аналітичні розрахунки відповідно до формул, наведених в роботах [2,3].

Напруження місцевої втрати стійкості:

$$p_{cr} = K \cdot E \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2,$$

де  $K$  – коефіцієнт, який залежить від довжини та способу закріплення пластини;  $E$  – модуль Юнга матеріалу;  $t$  – товщина пластини;  $b$  – ширина пластини, до якої прикладається навантаження.

Сила, при якій пластина втратить стійкість:

$$P_{cr} = \frac{p_{cr}}{A}$$

де  $A$  – площа перерізу зразка

Ефективна ширина пластини:

$$b_{eff} = b \cdot \left(1 + 14 \left(\sqrt{\frac{f_c}{p_{cr}}} - 0.35\right)^4\right)^{-0.2},$$

де  $f_c$  – діючі стискаючі напруження.



Останній розрахунок був проведений ітераційним процесом.

Було досліджено близько 10 зразків для того, щоб оцінити як отримані аналітичним способом критичні напруження будуть відповідати реальним значенням. Згідно з результатами експерименту, значна кількість (9/10) зразків почала втрачати стійкість при силі на 1-10% більшою ніж розрахункова, а один зразок – на 4% раніше, ніж очікувалося. Тому отримані аналітично напруження можна приймати при розрахунку ефективної ширини пластини, більш того цей розрахунок буде вважатися консервативним.

Після втрати стійкості елементів перерізу руйнування зразка не відбувається, так як частина перерізу ближче до кута і далі продовжує сприймати на себе додаткове навантаження, за рахунок вищої жорсткості. В менш стійких елементах, в свою чергу, напруження не ростуть та дорівнюють критичним. При цьому з приростом сили хвилі на полках профілю прогресують від кромки до кута, ділянка, здатна сприймати силу, зменшується. Це відбувається до руйнування: якщо колона – довга, то відбудеться загальна втрата стійкості, якщо – коротка, то напруження в кутах перевищать межу плинності і відбудеться кріплінг.

### **Висновок**

Місцева втрата стійкості стиснутих елементів конструкції не призводить до миттєвої втрати несучої здатності. При проектуванні необхідно звертати особливу увагу на наявність підкріплюючих жорстких елементів конструкції.

### **Список використаних джерел:**

1. Ahmed H Alwathaf «Behaviour Of Steel Plates Under Axial Compression And Their Effect On Column Strength», ст. 42.
2. Prof. S.R.Satish Kumar and Prof. A.R.Santha Kumar «Design of Steel Structures», ст. 33.
3. Prof. S.R.Satish Kumar and Prof. A.R.Santha Kumar «Design of Steel Structures», ст. 35.

### **УДК 531**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ АЛЮМІНІЄВИХ СТРИЖНІВ РІЗНОЇ ГНУЧКОСТІ ТА ВПЛИВ ПОЧАТКОВОЇ КРИВИЗНИ СТРИЖНІВ НА ЇХНЮ НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ**

**Анастасія Кувавіна**

*Прогрестех-Україна, Київ*

*Науковий керівник – Юлія Белікова, фахівець з підготовки кадрів.*

Ключові слова: втрата стійкості, формула Ейлера, гнучкість, критичне навантаження.

**Вступ.** Теоретичне визначення критичного навантаження, яке отримав Леонард Ейлер в 1757 році, докладно описується у будь-якому підручнику з дисципліни «Механіка матеріалів та конструкцій». Однак, зазвичай, не розглядається тема відповідності розрахункових

значень та результатів експериментального дослідження стрижнів на загальну втрату стійкості. Також тема стискання неідеальних стрижнів, себто таких, що мають початкову кривизну, докладно не висвітлюється у всесвітній літературі, але є важливою з практичної точки зору, наприклад вплив початкової кривизни паль, яка виникає через їх встановлення або виробництво [1]. Тому ціллю цього дослідження є порівняння результатів експериментів з розрахунками за допомогою формули Ейлера та аналіз результатів експериментів зі стрижнями, які мають початковий прогин.

**Матеріали та методи.** В якості зразків використовувалися стрижні з алюмінієвого сплаву АД31 з різною довжиною  $l$ , відповідно, гнучкістю. Усі зразки мали однаковий поперечний переріз – прямокутник  $8 \times 2$  мм. Таким чином було підготовлено п'ять типів зразків, з довжинами 399 мм, 349 мм, 287 мм, 230 мм та 180 мм. Відповідні їм гнучкості ( $\lambda$ ) – 674, 589, 485, 389 та 304. Стенд для випробувань стрижнів на втрату стійкості було розроблено та виготовлено самостійно, більшість деталей надруковано на 3-D принтері. Максимальний прогин вимірювався за допомогою штангенциркуля.

**Результати.** При проведенні дослідів з прямими зразками різної гнучкості було побудовано графіки залежності найбільшого прогину від прикладеної стискаючої сили. На графіках спостерігається подібна один до одного поведінка усіх зразків - вони майже не деформувались до навантаження 90% від розрахункової критичної сили. Далі прогин стрижнів стрімко збільшувався до втрати положення рівноваги при навантаженнях, які в середньому на 2,8% відрізняються від розрахункових. Для кожного окремого зразка було отримано такі відхилення: зразок з  $\lambda_1 = 674$  мав відхилення 0,1%,  $\lambda_2 = 589$  – 1,9%,  $\lambda_3 = 485$  – 0,9%,  $\lambda_4 = 389$  – 0,6% та  $\lambda_5 = 304$  – 10,3%. Важливо зазначити, що останній зразок витримав на 10,3% більше розрахункової сили.

Також було проведено серію дослідів з визначення зміни критичної сили неідеальних стрижнів з різною гнучкістю та початковим прогином. Так як зразки мали різну гнучкість, то величину початкового прогину доцільніше оцінювати не за абсолютним значенням, а як частку від початкової довжини. Для досліджуваних зразків було обрано такі приблизні значення: 0,7%, 1,5%, 4%, 6% та 10%. Досліди з колонами, у яких більший відносний прогин, недоцільні у виробництві та використанні.

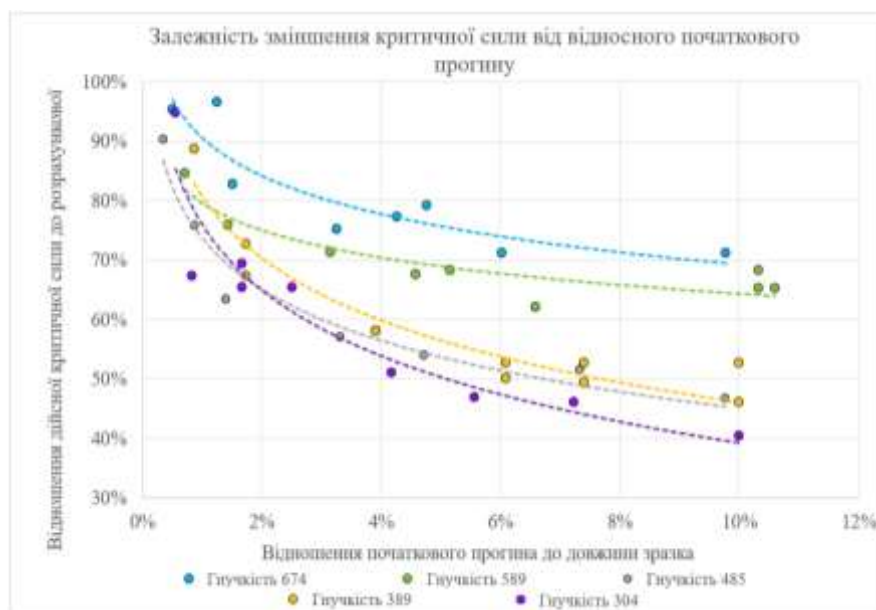


Рис.1. Графіки залежності зменшення критичної сили від відносного початкового прогину

Всі групи зразків якісно поведуться подібно. Несуча здатність стрижня стрімко зменшується в діапазоні початкового прогину 0-4%, при цьому чим менша гнучкість зразка – тим більше це падіння: на 25%, 40% та 50% при гнучкості 677, 389 та 304 відповідно. А от при збільшенні початкового прогину в діапазоні 4-10% зменшення сповільнюється: додаткове падіння критичної сили складає всього 5-10% для всіх гнучкостей.

**Висновок.** Формула Ейлера в середньому дає похибку 2,8%. Однак навіть невелика початкова кривизна стрижня значно зменшує його несучу здатність: величина падіння складає від 25% до 50%. До того ж, чим менша гнучкість зразка, тим сильніше зменшується його несуча здатність при збільшенні початкового прогину.

#### Список використаних джерел:

1. Nonlinear Buckling Analysis of Slender Piles with Geometric Imperfections / Mohammad Nadeem, Tanusree Chakraborty, Vasant Matsagar// Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering – 2014.

УДК 539.3

### ПОРІВНЯННЯ З РЕАЛЬНІСТЮ РОЗРАХУНКОВИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РІА БАЛОК, ЩО ПІДДАЮТЬСЯ ДЕФОРМАЦІЯМ ЗГИНУ

Аліна Лановенко

Національний авіаційний університет, Київ

Науковий керівник – Юлія Белікова, фахівець з підготовки кадрів

Ключові слова: деформація згину, формула Нав'є, пластичний шарнір, метод скінченних елементів (МСЕ).

**Вступ.** Для аналізу балок, що піддаються деформаціям згину, існує декілька розрахункових моделей. Серед них розрахунок за допустимими напруженнями, граничним навантаженням (іноді називають пластичним шарніром) та за допомогою МСЕ. Щоб обрати найоптимальнішу модель для проведення реального розрахунку, необхідно розуміти границі застосовності зазначених моделей. Тому цілю цього дослідження було порівняння зазначених моделей розрахунку з власними експериментальними даними.

**Матеріали та методи.** Для наукового обґрунтування результатів досліджень різних моделей був використаний експериментальний метод, а саме поступове навантаження об'єктів експерименту та зняття показників прикладеного навантаження та викликаного ним прогину. Об'єктами, що досліджувалися, були надруковані на 3-D принтері 5 пластикових (PLA) швелерів з волокнами, направленими вздовж повздовжньої осі балки. Розрахунковою схемою для цих зразків була обрана двохопорна балка із зосередженою силою посередині.

Важливо підкреслити, що окрім основного експерименту в лабораторії університету було проведено дослідження з визначення механічних характеристик матеріалу, що були необхідні для деяких розрахунків.

**Результати.** Отримані в ході експерименту результати зображені на рис. 1. Всі випробувані зразки зруйнувалися від зусилля в діапазоні від 7.64 до 7.95 кг. При цьому руйнуюче навантаження, отримане з розрахунку за допустимими навантаженнями, склало від 3.97 до 4.86 кг, а за пластичним шарніром – від 7.71 до 8.32 кг. Розрахунок за допомогою МСЕ був проведений для балки із усередненими габаритними розмірами та характеристиками. Зазначимо, що вхідні параметри цього розрахунку практично збігалися із характеристиками одного із зразків. Отриманий результат відрізнявся від експериментальних даних для зазначеного зразка всього на 1%.



Рис.1. Графік залежності прогину від навантаження для зразків з волокнами, надрукованими вздовж повздожньої осі балки

**Висновок.** Порівнюючи результати експерименту зі значенням руйнівної сили, розрахованої за допустимими напруженнями, можна побачити, що така модель доволі консервативна, оскільки реальний результат перевищував розрахунковий в середньому в 1.8 разів. На практиці це означає, що спроектована таким чином конструкція буде програвати в масі та габаритах, які грають вирішальну роль в авіації.

В свою чергу, результат розрахунку за пластичним шарніром виявився точнішим, однак неконсервативним: реальні зразки витримали на 3-4% менше, ніж за розрахунком. Причиною можуть бути особливості матеріалу. Така модель розрахунку приймає, що напруження в кожній точці перерізу доходять до межі текучості, після чого зразок руйнується. В реальності ж крайні волокна перерізу досягають межі міцності й руйнуються раніше, ніж середні досягають межі текучості. Якщо при проектуванні взяти певний коефіцієнт запасу, то можна забезпечити необхідну міцність та виграти в масі.

Останній розрахунок за допомогою програмного забезпечення ANSYS мав відмінність менше 1%. Тобто даний метод розрахунку найбільш наближений до реальності й серед всіх перерахованих вище методів розрахунку дає найточніший результат.

Важливість проведених дослідів полягає в отриманні необхідного практичного досвіду роботи з різними розрахунковими моделям й вмінні аналізувати та обробляти отримані дані.

#### Список використаних джерел:

1. Experimental and Numerical Investigation of Aluminum Beams: Flexural Behavior Section Shape Effect.

**UDC 656.7.071.6(043.2)**

## **ENHANCEMENT OF SPECIALIZED SANITARY AIRCRAFT EQUIPMENT**

**Ivan Lozovsky**

*National aviation university, Kyiv*

*Scientific supervisor – Mykhailo Karuskevich, D.Sc., Prof.*

Keywords: airplane, stretcher, ramp, patient, amortization.

### **Introduction**

The field of medical aviation is constantly evolving, and an important part of this process is the improvement of special equipment of medical aircraft. The purpose of the presented work is to develop a lifting mechanism for patient stretchers. This will provide more efficient and safe transportation of patients, which is a key factor in providing quality medical care.

### **Technical description of the development**

Within the framework of this work, three components of aviation transportation of the wounded, sick, and severely injured were considered. An analysis of existing means in domestic and foreign practice of using medical aviation was carried out. It was determined that the medical equipment of aircraft can be improved. The use of stretchers, the design of the floor in the area of stretcher fixation, the feasibility of using an escalator for smooth movement of stretchers with victims was considered. The stretchers in this project remain of a traditional design, but with new means of fixation in the cabin. The use of special fastening nodes is planned on the cabin floor. The main feature of the project is an escalator that provides lifting and moving stretchers around the cabin. The drive of the escalator is electric. The main requirement for the design of the escalator is to ensure a horizontal position of the stretchers at all stages of their loading and transportation inside the cabin. The design of the stretcher suspension system to reduce their vibrations during movement was considered. The proposed development considers the possibility of its integration into a short-haul narrow-body aircraft, with a take-off weight of up to 67,5 tons, but can be adapted for other transport category aircraft that have a ramp loading system. The necessary motor power for the drive of the moving system was calculated. The gear ratio of the reducer was determined. A scheme for integrating the moving device into the aircraft structure, both in the ramp and inside the aircraft, was developed. Based on the fact that the speed of movement of this device is 6 m/min.

**Conclusions.** A developed system for loading stretchers with wounded and seriously ill patients, which reduces patient injuries due to stretcher vibrations during their movement. The project contains a concept of a mechanized system, preliminary sketch drawings, and defines ways of further work on improving the proposed concept.

**References:**

1. National Library of medicine. The Travel and Tropical Medicine Manual. 2017: 36-46. Jet Health. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7152125/> (Published online 23.09.16)
2. Evacuation of tsunami victims to Sweden: experiences of the use of a corporate jet aircraft. J. Åstrand, J. Nilsson, P. Ederoth, J. Linde, T. Dagöö & H. | Received 02 Nov 2006. International Journal of Disaster Medicine. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15031430701282030/> Published online: 13 Jul 2009. Accepted 09 Feb 2007.
3. Materials of the 21st All-Ukrainian Scientific and Practical Conference (with international participation) Development of Civil Protection in Modern Security Conditions. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/9458/1/%D0%9C%D0%90%D0%A2%D0%95%D0%A0%D0%86%D0%90%D0%9B%D0%98%20%D0%9A%D0%9E%D0%9D%D0%A4%D0%95%D0%A0%D0%95%D0%9D%D0%A6%D0%86%D0%87.pdf#page=318/> [ukr]
4. АН-26. URL: <https://vue.gov.ua/%D0%90%D0%9D-26/> [ukr]

**УДК 539.5****ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ ДЛЯ ЗРАЗКІВ З PLA ПЛАСТИКУ  
НАДРУКОВАНИХ ШАРАМИ ВЗДОВЖ І ВПОПЕРЕК ОСІ****Анастасія Старушкевич***Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського», Київ**Науковий керівник – Юлія Белікова, фахівець з підготовки кадрів*

Ключові слова: модуль пружності, 3Д-друк, орієнтація волокон, формула Максвелла-Мора

**Вступ.** 3Д друк – це технологія створення прототипів форм, яка набуває все більшого поширення у виробництві. Однією з особливостей деталей, виготовлених на 3Д принтері, є анізотропність властивостей. Дослідження модуля пружності в цьому напрямку показують, що для зразків з орієнтацією  $0^\circ$  (шарами вздовж) модуль пружності на 10% більший, ніж з орієнтацією  $90^\circ$  (шарами впоперек) [1]. В іншому дослідженні говориться, що більша міцність і жорсткість досягаються при куті  $0^\circ$  завдяки паралельному розташуванню волокон [2].

**Матеріали та методи.** Всього досліджувалось 4 групи зразків. Досліджуванні об'єкти являють собою полоси товщиною 1-2 мм, шириною 10-15 мм і робочою довжиною 90-130 мм. Групи 1, 2, 3 складаються з пари зразків, один з яких надрукований лежачи шарами вздовж, а інший - шарами впоперек. Група 4 складається з трьох зразків, що надруковані вверх шарами впоперек. Стенд для експерименту складається з основи, в яку вставляється зразок. На одному кінці на зразок клеюється втулка, на другому – стрілка, що приставляється до шкали лінійки. Методика проведення досліду: спочатку фіксується початкове значення на шкалі лінійки до якої приставлена стрілка. Гирі з кроком по 2-5 грами вішаються на кінець зразка, через що кінець відхиляється від свого початкового положення.

Фіксується нове значення на шкалі лінійки. Абсолютний прогин визначається як різниця кожного наступного значення і початкового. Для кожного зразка експеримент проводився кілька разів. Таким чином отримано ряд значень навантаження і залежного від нього прогину. По цих даних будується графік залежності навантаження від прогину. За допомогою функції в Excel «LINEST» визначається коефіцієнт лінії тренду. По формулі Максвела-Мора для консольної балки визначається модуль пружності для кожного експерименту.

**Результати.** Результати першої пари зразків: у зразка вздовж модуль пружності  $334 \text{ кГ/мм}^2$ , у зразка з шарами впоперек –  $367 \text{ кГ/мм}^2$ . При цьому найбільший прогин зразків складає 32% від робочої довжини зразка, що вибивається з допущення опору матеріалів про малі переміщення. В групі 2 для зменшення прогину товщину зразків збільшено в 2 рази і довжину збільшено до 115 мм. Прогин зменшився до 13%. Результати 2 групи наступні:  $304 \text{ кГ/мм}^2$  – для зразка вздовж і  $336 \text{ кГ/мм}^2$  для зразка впоперек. Розбіжність між 1 і 2 групами 10%. Зразки третьої групи мають однакові геометричні характеристики з 2 групою. Результати 3 групи такі:  $297 \text{ кГ/мм}^2$  – для зразка вздовж і  $326 \text{ кГ/мм}^2$  для зразка впоперек. Розбіжність результатів 2 і 3 групи 2%. Отримані значення модулів пружності використано в експериментах на згин швелерів надрукованих також вздовж і впоперек шарами. Порівнюючи кути нахилу пропорційної ділянки графіка «Сила-прогин» швелера шарами вздовж і розрахункового прогину з використанням отриманого модуля пружності, бачимо, що вони накладаються (рис. 1). Щодо графіка швелерів з шарами впоперек, то кут розрахункового прогину вийшов більшим. Це може бути через відмінність способу друку швелера і полоси – швелер друкувався стоячи, викладаючи шари вверх, а полоса лежачи, викладаючи шари по горизонталі. 4 група зразків була надрукована таким самим способом стоячи. Отриманий модуль пружності –  $242 \text{ кГ/мм}^2$ . Використовуючи новий модуль пружності, кути нахилів графіків сходяться. Отже значення модуля пружності було перевірено двома різними експериментами. Фінальні результати: зразки вздовж –  $301 \text{ кГ/мм}^2$ , впоперек –  $242 \text{ кГ/мм}^2$ .



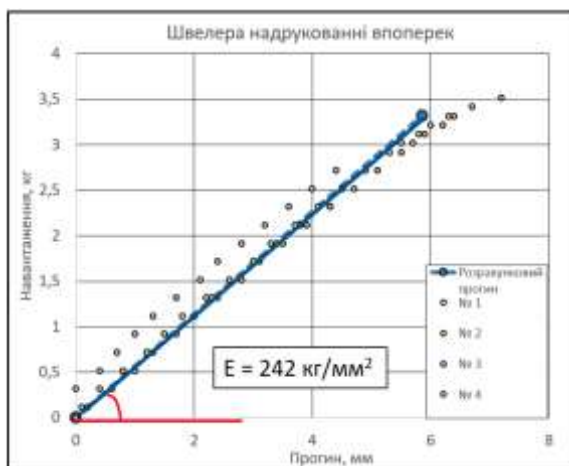


Рис. 1. Залежність «Сила-прогин»

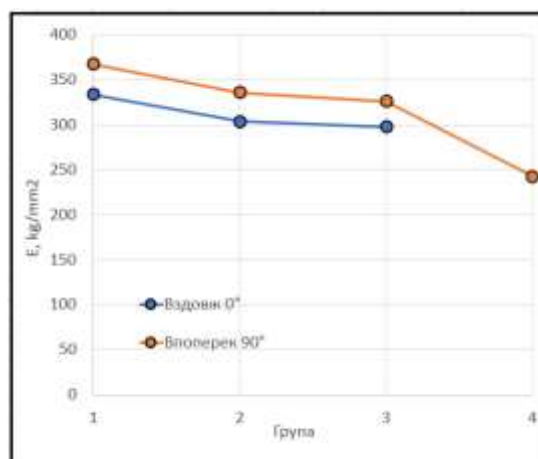


Рис 2. Значення модуля пружності

**Висновок.** Через анізотропність деталей надрукованих на 3Д принтері, є важливим проводити експерименти для зразків з різним розташуванням шарів. Як бачимо для зразків впоперек (друк стоячи) модуль пружності падає в 1,2 рази в порівнянні з зразками вздовж.

#### Список використаних джерел:

1. Ferreira RTL. Experimental characterization and micrography of 3D printed PLA and PLA reinforced with short carbon fibers. Compos Part B Eng 124:88–100
2. Shilpesh R. Rajpurohit. Prediction of tensile strength of fused deposition modeling (FDM) printed PLA using classic laminate theory, Engineering Solid Mechanics, Vol. 10 No. 1, pp. 13-24.

UDC 629.7:539.3

### THE POSSIBILITIES OF STUDYING THE CHARACTERISTICS OF G-FORCE AND DEFORMATION ON THE GLIDER SCALE MODEL

**Martyn Trushkovskiy**

*National Aviation University, Kyiv*

*Supervisor – Sviatoslav Yutskevych, PhD, Head of Department*

Key words: airframe, flight loads, flight test, load factor.

**Introduction.** Flight loads exhibit a stochastic nature, characterized by significant dispersion of individual loading, a pronounced asymmetry in the spectrum with a notable predominance of positive loads, and variation in the load spectrum during operation. Understanding the correlation between load factors, categorized into three components (X, Y, Z), and the deformation parameters of the aircraft structure is significant for comprehending overall aircraft loading during flight. The measured sequence of load extrema during operation allows for determining the repetitiveness of G-Forces by counting the number of load cycles on average per hour of flight. Researcher Christian Raab paid considerable attention to the issue of similar load studies (flight load studies using MEMS pressure sensor technology) [1].

The aim of this study was to develop an accessible flight model to collect information on the loads and deformations of the aircraft structure in flight. To achieve this goal, a foam toy glider was chosen due to its favorable aerodynamic characteristics and robust design to resist shocks and impacts.

**Materials and methods.** An Arduino based system was developed to collect data on the G-Force and deformations in flight. Components include: an Arduino Nano, an ADXL345 accelerometer, two HX711 modules, a microSD card adapter, a microSD card, 8 strain gauges and a lithium-ion battery (9V). Placed on the airframe in strategic locations: the front of the fuselage, centre of mass, wing and stabilizer. The Arduino Nano, located at the front of the fuselage, controls, processes and writes data to the microSD. A microSD adapter and two HX711 modules amplify the strain signals. The strain gauges (8 in total) on the wing and stabilizer form Wheatstone bridges, changing the resistance during deformation. A lithium-ion battery and ADXL345 in the centre of the fuselage keep the aircraft balanced and measure acceleration on the ground. The integration of the battery ensures that the centre of gravity is not displaced, maintaining flight characteristics. The accelerometer is located above the battery for precise orientation in space.

**Results.** Test flights were carried out with further analysis of collected data of structural deformation versus G-force. They reveal increased deformation during abrupt directional changes and steep maneuvers, with decreases during smooth, straight flight. These findings aid in assessing aircraft structure strength, offering insights into surface deformation during flight crucial for aircraft design.

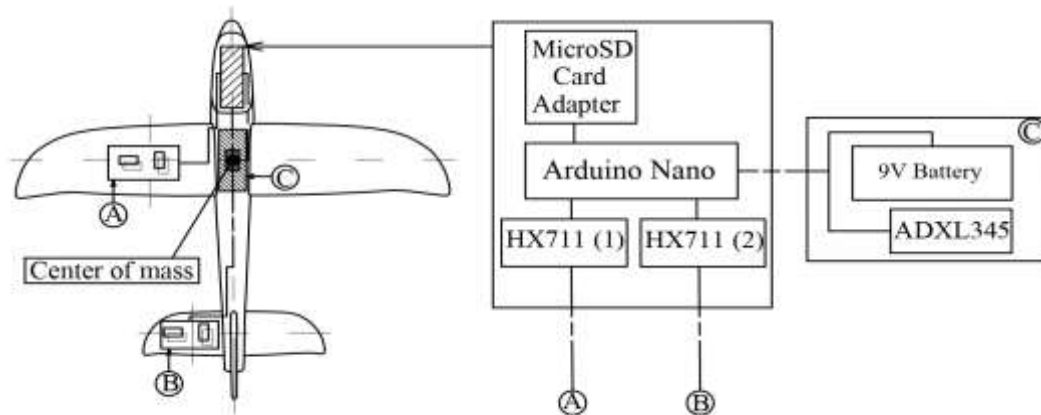


Fig.1. Schematic diagram of the in-flight data monitoring system

**Conclusion.** The correlation between load factors and deformation of the aircraft structure shows that using a toy foam glider equipped with an Arduino-based system may successfully collect in-flight load and strain data, revealing trends in increasing strain during dynamic in-flight manoeuvres. This data provides valuable information for assessing the strength of the aircraft structure and justifying design decisions for future aircraft models.

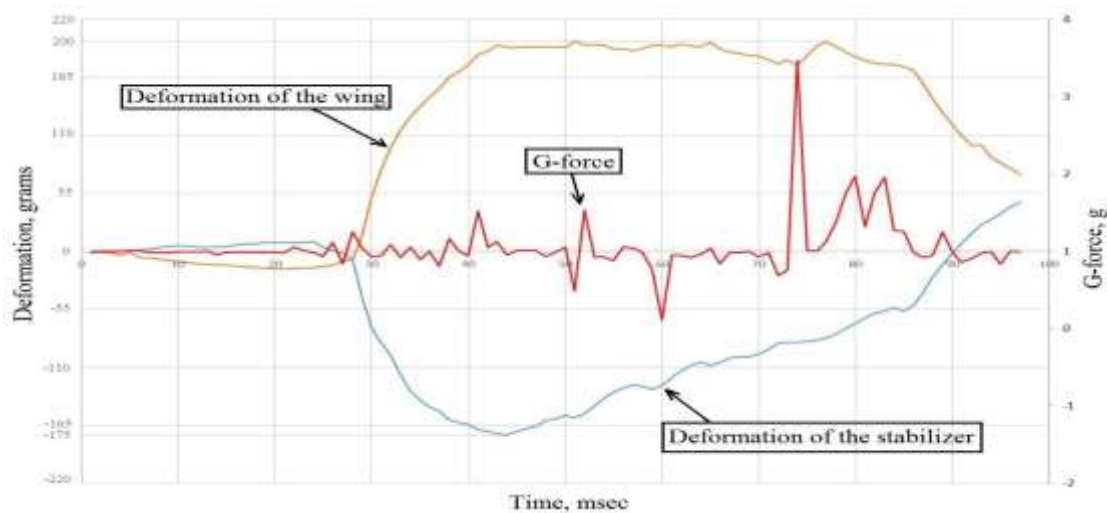


Fig.2. Flight data

**References:**

1. Raab, Christian. (2019). *Evaluation of Flight Loads Determined with MEMS Pressure Measurements*. DLR-Interner Bericht. DLR-IB-FT-BS-2019-67. DLR - Institut für Flugsystemtechnik. 95 S. (In Press)

УДК 623.746-519(410)(043.2)

### МОДЕЛЬ БРИТАНСЬКОГО ВІНИЩУВАЧА СПІДФАЙР

**Володимир Українець, Роман Драпак**  
*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Михайло Свирид, к.т.н., доцент*

Ключові слова: спідфайр, конструкція, модель, фюзеляж.

Модель Британського винищувача спідфайр. За своєю конструкцією це одномоторний моноплан з низько розташованим еліптичним крилом.

Лонжерон виконаний з дубової смужки товщиною 3 мм, 22 нервюри та елерони виготовлені з бальзи, а обшивка з пергаменту, що забезпечує одночасно міцність та легкість конструкції. Фюзеляж також зроблений з бальзи, фанери та дерев'яних рейок і є досить легким та міцним. Хвостове оперення зроблене суцільно з ДВП (деревинноволокниста плита). Також деякі частини виконані з пінопласту, адже вони мають складну форму та не несуть великого навантаження. Шасі зроблене з пластику та міцної гуми і через малі розміри моделі не прибирається, стійки шасі із металевих спиць, які розташовані під незначним кутом і є одночасно пружними і міцними.

Лонжерон виконаний з дубової смужки товщиною 3 мм, 22 нервюри та елерони виготовлені з бальзи, а обшивка з пергаменту, що забезпечує одночасно міцність та легкість



Рис.1. Вигляд моделі

конструкції. Фюзеляж також зроблений з бальзи, фанери та дерев'яних рейок і є досить легким та міцним. Хвостове оперення зроблене суцільно з ДВП (деревинноволокниста плита). Також деякі частини виконані з пінопласту, адже вони мають складну форму та не несуть великого навантаження. Шасі зроблене з пластику та міцної гуми і через малі розміри моделі не прибирається, стійки шасі із металевих спиць, які розташовані під незначним кутом і є одночасно пружними і міцними.

Хвостове оперення та елерони приводяться в рух за допомогою пластикових 9-ти грамових сервоприводів. Зусилля передаються також за допомогою металевих спиць. Сама модель приводиться в рух гвинтом 9×5 та безколекторним двигуном A2212 1400kv. Керування забезпечує 40 А-ний регулятор обертів та акумулятор 11,1 V, 850 mAh, що створює близько 1 кгс тяги. Дистанційне керування виконується за допомогою апаратури flysky fs-i6. Сигнал сягає понад 500 метрів на відкритій місцевості, але через малі розміри (62 см довжина фюзеляжу та 80 см розмах крила) не варто дуже далеко летіти, адже можна втратити з поля зору, що призведе до сумних наслідків.

### Висновки

На жаль на даний час безпілотні літальні апарати не можна піднімати у повітря. Літак можна використовувати як стендову модель, навчання керуванню більш складними та більшими БПЛА, які не можуть зависати у повітрі, звичайно можна використовувати і для розваги. Креслення було знайдено на просторах інтернету і є у вільному доступі на багатьох сайтах [1]. Виготовленням моделі займалися студенти АКФ Українець Володимир, група АО-123 та Драпак Роман, група ЛВ-1026.

### Список використаних джерел:

1. [Images.app.goo.gl](https://images.app.goo.gl)

УДК 531.3

**ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ НА МІЦНІСТЬ АЛЮМІНІЄВИХ  
КОНСТРУКЦІЙ ЗА ДОПУСТИМИМИ НАПРУЖЕННЯМИ, ЗА ГРАНИЧНИМ  
СТАНОМ ТА МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ****Олександр Хуснутдінов***Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний  
інститут", Харків**Науковий керівник – Юлія Белікова, фахівець з підготовки кадрів*

Ключові слова: алюмінієві сплави, балка на двох опорах, проектування за допустимими напруженнями, метод кінцевих елементів, проектування за межею пружності

**Вступ.** Класична теорія балки налічує 2 методи розрахунку на міцність: за допустимими напруженнями та за граничним станом. За першою вказаною моделлю, проектування здійснюється таким чином, щоб напруження у жодній з точок матеріалу не досягали межі плинності (для пластичних матеріалів). Своєю чергою, конструкція, спроектована за граничним станом, при досягненні розрахункової сили перестає сприймати зовнішнє навантаження. Для ідеально-пластичної моделі цей стан настає при досягненні у всьому перерізі деталі межі плинності. Тому, конструкція спроектована за граничним станом більш повно реалізує свій потенціал міцності, а, отже, є легшою і дешевшою. На сьогодні, проектування конструкцій з алюмінієвих сплавів поза пружними деформаціями не регламентується у більшості стандартів проектування, за виключенням рекомендацій європейських установ щодо непружного аналізу (див. Eurocode 9). Але зростання частки використання алюмінієвих конструкцій у промисловості та, особливо, в авіації формує потребу у визначенні різниці між цими методами, що стане оцінкою перспективності розвитку підходів до проектування поза пружними деформаціями. У цьому дослідженні, вираховано несівну силу для конструкції за цими обома методами, а також додано розрахунок за МСЕ. Проведено експериментальний дослід та порівняно результати розрахунку із дійсною поведінкою конструкції.

**Матеріали та методи.** За вид навантаження обрано прямий поперечний згин, а за зразки – 6 екструдованих алюмінієвих швелерів з матеріалу АД-31. Останні розташовані таким чином, щоб стінка профілю стискалась. Довжину обрано таким чином, щоб елементи перерізу не втрачали стійкість у діапазоні прикладених до зразків навантажень. Механічні характеристики матеріалу отримані з експериментів на розтяг екструдованих смуг з того ж самого матеріалу, від того ж самого виробника у лабораторії «НАУ». Для заданих умов, граничним станом є утворення «пластичного шарніра» в одному з перерізів балки.

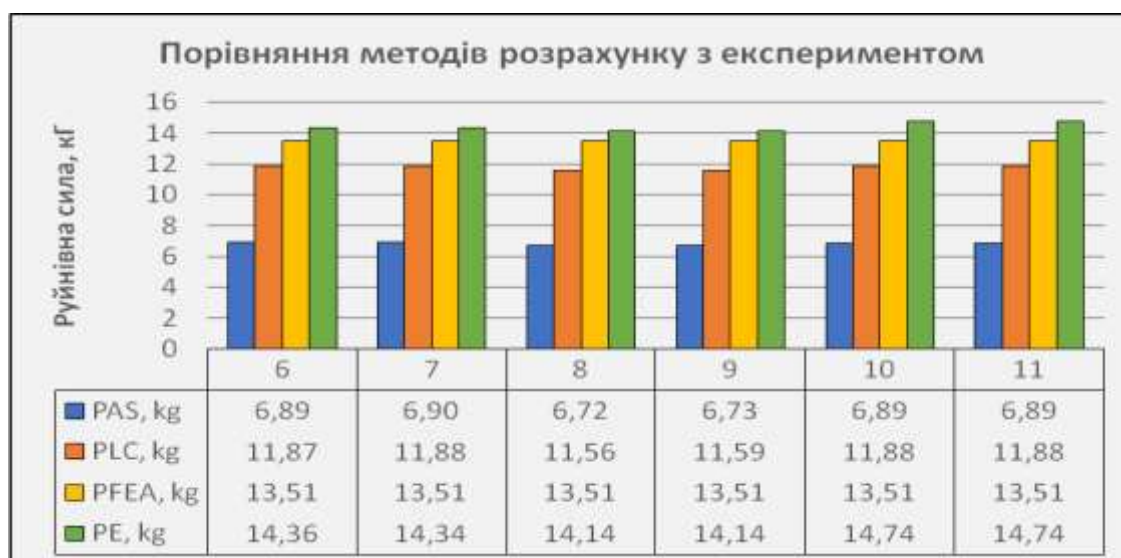


Рис.1. Порівняння методів розрахунку з експериментом:

$P_{AS}$  – руйнівна сила за допустимими напруженнями;

$P_{LC}$  – руйнівна сила за граничним станом (пластичний шарнір);

$P_{FEA}$  – руйнівна сила за методом скінчених елементів;

$P_E$  – дійсна руйнівна сила, отримана з експерименту.

**Результати.** Для кількісної оцінки відмінностей вищезгаданих моделей, результати підсумовано на рис. 1.

### Висновки.

Результати демонструють, що класичний розрахунок за допустимими напруженнями занижує реальну руйнівну силу більш ніж удвічі, а пластичний шарнір – усього на 20%. Метод кінцевих елементів є ще ближчим до дійсності, але потребує більш точних характеристик матеріалу, є більш працемістким та потребує додаткових спеціалізованих програм.

### Список використаних джерел:

1. Підручник / Г.С. Писаренко, О. Л. Квітка, Е. С. Уманський; 3 ред. Г.С. Писаренка. — 2-ге вид., допов. і переробл. — К.: Вища шк., 2004. — 655 с.: іл. ISBN 966-642-056-2
2. Evangelia Georgantzia, Michaela Gkantou, George S. Kamaris, Kunal D. Kansara. Ultimate response and plastic design of aluminum alloy continuous beams. School of Civil Engineering and Built Environment, Liverpool John Moores University, United Kingdom.
3. Sa'ad Fahad Resan, Nabeel Abdulrazzaq Jasim. Experimental and Numerical Investigation of Aluminum Beams: Flexural Behavior Section Shape Effect.

УДК 621.791.3:678.5.044

**ВІДПРАЦЮВАННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ПЛАСТИКОВИХ ДЕТАЛЕЙ НАДРУКОВАНИХ НА 3D ПРИНТЕРІ****Володимир Картамишев***Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків**Науковий керівник – Третьяков Олексій Сергійович, к.т.н., доцент*

Ключові слова: 3D-друк, міцність, оптимізація, орієнтація друку.

**Вступ.** Після початку «великої» війни з РФ використання адитивних технологій для забезпечення потреб фронту набуло небаченого в нашій Україні обсягу. Найбільш відома серед суспільних мас сфера використання 3D друку на війні – дрони: системи скиду боєприпасів, хвостовики для гранат, різноманітні навіски тощо. Актуальна проблема полягає у визначенні ефективних з точки зору маси і міцності перерізів, а це можливо лише зі знанням характеристик матеріалу, який використовується.

**Матеріали та методи.** Кожна 3D-модель зразка спочатку має бути «наріzana» горизонтальними «шарами» у програмах-«слайсерах», щоб потім можна було її пошарово відтворити на 3D-принтері у світі фізичному. В залежності від налаштувань напрямку шарів друку моделі фізичні властивості можуть змінюватися у досить широкому діапазоні. Тож визначення границь цього діапазону є нагальною потребою.

Об'єктами наших досліджень слугували зразки з PLA пластику у яких шари робочої зони були надруковані усіма доступними нам способами, зразки були плоскими. Границі міцності були визначені під час випробувань на розтяг видовження зразків після розриву визначалися штангенциркулем, обробка результатів експерименту здійснювалася статистичним методом.

**Результати.** У результаті серій випробувань отримано наступне:

- Зразки, у яких «волокна» розташовувались вздовж осі навантаження найміцніші – середня границя міцності 43 МПа і найбільше відносне видовження 0,6%.

- Зразки, які були надруковані «стоячи», мають середню границю міцності 28 МПа і відносне видовження менше 0,1%

- Зразки, у яких вздовж робочої зони волокна розташовані зигзагом: мають середню границю міцності 29 МПа і відносне видовження менше 0,1%

- Зразки, у яких «волокна» розташовувались перпендикулярно вздовж осі навантаження виявилися найменш міцними – середня границя міцності 12 МПа, відносне видовження також менше 0,1%.

Встановлено що міцність зразків з PLA у яких «волокна» розташовані вздовж осі більша ніж зразків надрукованих «стоячи» і зигзагом у 1,5 разів. І більша ніж у зразків з волокнами перпендикулярними – у 3,6 разів. Залишкове відносне видовження різниться у 6 разів.

### **Висновок**

Встановлено, що орієнтація і налаштування друку суттєво впливають на механічні характеристики готових виробів. Тому необхідно враховувати ці відмінності як проєктувальниками для підбору оптимальних поперечних перерізів, так і спеціалістами які налаштовують параметри 3D-друку. Тому такі дослідження мають проводитися для різних типів пластика і типів друку і якомога скоріше впроваджені. У протилежному випадку нехтування особливостями цієї технології виготовлення призведе до збільшення вартості виробництва, або недостатньої міцності готових деталей.

### **Список використаних джерел:**

1. Different Types of 3D Printers. – Режим доступу: <https://3dinsider.com/3dprinter-types/> – 17.11.2019.
2. Types of 3D Printing Technology. – Режим доступу: <https://all3dp.com/1/typesof-3d-printers-3d-printing-technology/> – 16.11.2019.
3. 3D printing. – Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_printing/](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing/) – 18.11.2019.



**ПІДТРИМКА ЛЬОТНОЇ ПРИДАТНОСТІ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН**

УДК 621.891

**УСТАНОВКА ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ ШАРНІРНИХ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ**

**Маргарита Хімко, Анастасія Гречуха**  
*ТОВ Авіакомпанія «НЗОПЕРЕЙШНС», Київ*  
*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Андрій Хімко, к.т.н., доц.*

Ключові слова: шарнірний підшипник, металополімерні матеріали, методика, установка, реверсивний рух, зношування, випробовування, умови експлуатації, модернізація.

Підшипники з антифрикційними покриттями використовуються у конструктивних вузлах шасі та системі управління майже всіх сучасних повітряних суден, таких як, В-767, В-777, В-787, А320, А330, А340, Ан-124, Ан-225 та ін. застосовується більше тисячі таких підшипників. На покриттях, що самозмащується, працюють опори ракетних двигунів, та газотурбінних двигунів в літаках цивільної авіації. Ці матеріали широко використовуються в поворотних вузлах та кульових опорах легкових та вантажних автомобілях та спеціальної кар'єрної техніці, шарнірах рульових тяг. Подібні покриття знайшли застосування в текстильній промисловості, наприклад, гонці ткацького верстата. Вони використовуються в транспортному та підйомно-транспортному машинобудуванні, у харчових машинах, де не допустиме мастило, у варіаторах, тощо.

Для випробування шарнірних підшипників із металополімерними композиційними матеріалами було розроблено установку яка імітує спеціальні умови роботи підшипників в широкому діапазоні навантажень. Особливістю цієї установки є випробування готових шарнірних підшипників із геометричними розмірами згідно DIN ISO 12240 та ГОСТ 3635-78 (навантаження та кількість циклів напрацювання, порядок контролю зазорів) та вимог СТП 651.02.061-92 (навантаження для шарнірних підшипників, база випробувань на ресурсні дослідження, умови проведення випробувань) які були визначені при розробці цієї установки як базові.

Умови навантаження для шарнірних підшипників під час випробувань є комбінованими. Тобто одночасна дія радіального та осевого зусилля. В розробленій установці передбачена така можливість. Існує додатковий пристрій який завантажує тримач внутрішньої обойми шарнірного підшипника та прикладає за допомогою важеля певне зусилля. Згідно нормативних документів осьове зусилля при комбінованому навантаженню складає 10 % від радіального.

Фото установки для лабораторних ресурсних випробувань авіаційних шарнірних підшипників ковзання представлено на рис. 1. Результати зносу шарнірних підшипників під час випробувань та після демонтажу необхідно проводити згідно умов DIN ISO 12240 та. Під зносом шарнірних підшипників розуміють осьовий зазор між внутрішній та зовнішній обіймами під дією певного навантаження. Наприклад для шарнірного підшипника ШН30ЮТ це 20 кГ згідно технічної документації на гелікоптер Мі-8МТВ/17. Розроблена установка дозволяє визначати осьовий зазор підшипника без демонтажу його із місця кріплення.



Рис. 1.– Фотографія розробленої установки для лабораторних ресурсних випробувань авіаційних шарнірних підшипників ковзання.

### **Висновок**

Розроблено унікальну методику та лабораторну установку для ресурсних випробувань авіаційних шарнірних підшипників діаметрами до 3 мм. Установка дозволяє випробовувати реальні готові підшипники і визначати ресурс в залежності від умов навантажування, специфічних умов роботи (вібрація, реверсивний рух, однонаправлений рух, частота коливань, швидкість ковзання) та специфічного середовища (температурний вплив, вологість, запиленість).

### **Список використаних джерел:**

1. International Standard ISO 7148-2. Plain bearings – testing of the tribological behaviour of bearings materials. Part 2. Testing of polymer – based bearing materials. 10.01.2012.
2. Хімко М.С., Якобчук О.Є., Хімко А.М., Науменко Н.О. Методика випробувань шарнірних підшипників на зносостійкість. Проблеми тертя та зношування. К.: НАУ, 2017, 1(74), С.118-122.
3. Патент на винахід SU 1550350 A1. Стенд для випробувань шарнірних підшипників. Р.М. Чатинян, Д.Б. Пармузин, В.Л. Смольников, А.І. Антонов. 1990р., бюл. № 10, 3 ст.
4. Патент на винахід SU 1434306 A1. Машина для випробувань шарнірних підшипників. Н.Б. Чистик. 1988 р., бюл. № 40, 3 ст.

**UDC 623.7.027.(043.2)**

**EVALUATING THE FEASIBILITY OF IMPLEMENTING SELF-HEALING MATERIALS  
IN CRITICAL LANDING GEAR COMPONENTS FOR IMPROVED AIRWORTHINESS**

**Tymofii Balandiuk**

*National Aviation University, Kyiv*

*Academic advisor – Yurii Smirnov.*

Keywords: landing gear, airworthiness, self-healing.

**Introduction**

Flight safety is the main concern in aircraft structures. Ensuring the safety and reliability of aircraft structures without adding excessive weight is the main challenge of design. That is why the design and maintenance of the landing gear structure are sophisticated and critically important. The landing gear absorbs the shock and vibration load stresses that occur during taxiing, take off, and landing. Landing and take-off are the most critical manoeuvres of the aircraft. Most aircraft failures occur during those stages. Despite intensive efforts during the design, operation, and maintenance phases, due to the inherent uncertainties of operating conditions, complete failure or partial damage to the landing gear may occur. Finding and implementing light, strong, wear-resistant material for the landing gear assemblies is the main strategy for increasing the airworthiness of that structure. Self-healing polymer materials might be the best solution to this problem.

**Materials and methods**

Landing gears are one of the most crucial structural elements of an aircraft and are classified as a Structurally Significant Item (SSI). Landing gear assemblies are subjected to high stresses, both static and dynamic, and are also exposed to atmospheric conditions. Stress corrosion cracking, fatigue, and overload failures are the most common failure mechanisms of various landing gear components. A high percentage of these failures are a result of an operation, maintenance, design, and manufacturing process. Asymmetric landing, hard landing, landing with a fully loaded aircraft, landing at a high horizontal or vertical speed, landing in heavy atmospheric conditions such as rain, snow, ice, or excessive wind, and harsh taxi manoeuvres are the most common causes of landing gear damage. A combination of these sources places even more strain on the landing gear components. Self-healing nanocomposite materials might be effective in continuing the airworthiness of the landing gears of aircraft [1].

During the last three decades, the research on self-healing materials is continuously growing [2]. Mainly, self-healing polymer/fibre composites were developed [3]. The self-recovery effect has also been studied for polymeric nanocomposites [4]. In nanocomposites, nanofillers have been used to enhance the self-healing effect [5]. Self-healing agents have also been employed to facilitate the healing process in nanomaterials. To incorporate healing agents, small vesicles or capsules have been used, which may rupture during the recovery of the damaged surface or area [6]. The epoxy nanocomposite was designed,

and the self-healing effect was studied using the nano-encapsulated healing agent. The self-healing epoxy nanocomposite was used as a coating to protect the surface damage. The damage was almost completely healed using the nanocapsules [7].

### Results

The main idea of implementing self-healing materials in landing gear structures is to increase the fail-safe level. The landing gear struts, and especially shock absorbers are subjected to high stress forces. Such large and intense amounts of cyclic forces may result in the fatigue fracture of the structure elements. Hard/overweight landings could also result in the development of cracks in the material. By incorporating the nanocapsules of self-healing material into the stainless steel/titanium alloy, the main materials used in landing gear structure, a drastic increase in wear-resistance could be achieved.

In case of occurring of structural damage in the material, nanocapsules of self-healing material burst to release the healing agent. The healing agent fills the existing structural defect and starts the healing process. The self-healing effect is initiated by stimuli such as light, heat, moisture, impact, etc. As aircraft are constantly affected by environmental factors, the process of healing initiates almost immediately after the structural damage occurrence, thus preventing possible further structural damage propagation. As a result, the safety level of the structure increased, while the need for an immediate maintenance support is decreased.

### Conclusion

Further research of the self-healing materials, their active development, improvement, and implementation into aerospace vehicles could greatly improve the fail-safe levels and reduce the amount of time needed for performing the maintenance of structural components. As a result, improving the overall safety, reducing the extent needed for repair and increasing the profitability and airworthiness of the aircraft.

### Reference:

- Diltemiz, S. F. (2021). Failure analysis of aircraft main landing gear cylinder support. *Engineering Failure Analysis*, 129, 105711. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105711>
- Kausar, A. Self-healing aeronautical nanocomposites. In *Polymeric Nanocomposites with Carbonaceous Nanofillers for Aerospace Applications*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2022; p. 263.
- Wu, X.F.; Rahman, A.; Zhou, Z.; Pelot, D.D.; Sinha-Ray, S.; Chen, B.; Payne, S.; Yarin, A.L. Electrospinning core-shell nanofibers for interfacial toughening and self-healing of carbon-fiber/epoxy composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 2013, 129, 1383–1393.
- Pulikkalparambil, H.; Siengchin, S.; Parameswaranpillai, J. Corrosion protective self-healing epoxy resin coatings based on inhibitor and polymeric healing agents encapsulated in organic and inorganic micro and nanocontainers. *Nano-Struct. Nano-Objects* 2018, 16, 381–395.

• Chen, K.; Liu, H.; Zhou, J.; Sun, Y.; Yu, K. Polyurethane Blended with Silica-Nanoparticle-Modified Graphene as a Flexible and Superhydrophobic Conductive Coating with a Self-Healing Ability for Sensing Applications. *ACS Appl. Nano Mater.* 2022, 5, 615–625.

• Adelnia, H.; Ensandoost, R.; Moonshi, S.S.; Gavgani, J.N.; Vasafi, E.I.; Ta, H.T. Freeze/thawed Polyvinyl Alcohol Hydrogels: Present, Past and Future. *Eur. Polym. J.* 2021, 164, 110974.

• Mukhopadhyay, S.; Bhajiwala, H.; Bhowmick, A.K.; Gupta, V. Emerging Smart Materials: Recent Development in Self-healing Elastomers. *Int. J. Compos. Mater. Matrices* 2019, 5, 2.

### Appendix:

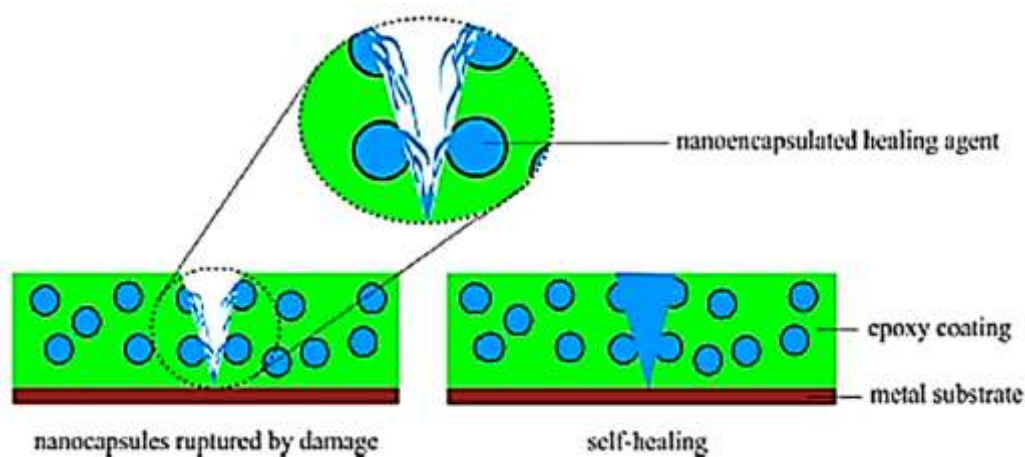


Figure 1. Self-healing mechanism in polymer nanocomposite using nanocapsules.

УДК 629.7

## ВИКОРИСТАННЯ «ХМАРНИХ» ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ЛЬОТНОЇ ПРИДАТНОСТІ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

Юрій Недашківський

Національний авіаційний університет, Київ

Науковий керівник – Салімов Ринат, к.т.н., доц.

Ключові слова: хмарні технології, інновації, обслуговування, цивільна авіація.

Авіаційна галузь постійно знаходиться в пошуку нових та інноваційних рішень для покращення безпеки авіаційних перевезень, оптимізації процесів авіаційних перевезень з технологічної сторони, забезпечення та максимізації розподілу фінансового капіталу компанії-експлуатанта задля досягнення його економії, що в свою чергу дозволяє збільшити об'єм авіаційних перевезень та використати всі ресурси потрібним чином, а саме максимально ефективно.

З огляду на технічний прогрес та належну популяризацію ІТ галузі з секторами різної направленості в сучасному світі «Хмарні» технології з'являються на ринку як потужний

інструмент, що має змогу оптимізувати процеси в авіаційній галузі. Вони дозволяють успішно реалізовувати весь спектр задач, які затребувані в процесах авіаційних перевезень та їх всебічної підтримки.

Також хочу надати пояснення, щодо визначення «Хмарних» технологій. «Хмарні» технології – це назва способу надання обчислювальних потужностей в якості послуги через мережу, що в свою чергу максимально децентралізує, полегшує та пришвидшує доступ користувача до певних сервісів.

В галузі цивільної авіації «Хмарні» технології стають фактично незамінним елементом, що використовується як для організації та підтримки безпеки, роботи аеропортів, координації повітряних суден, обслуговування клієнтів.

Потенціал «Хмарних» технологій забезпечується такими факторами, як:

- Децентралізація обчислювальних потужностей, що в свою чергу дозволяє більш успішно протистояти потенційному кібер-тероризму.

- Оптимізація часу, що потрібен на прийняття рішення. Особливо корисною дана опція є у випадку надзвичайних ситуацій як на борту повітряного судна, так і в зоні роботи аеропорту на землі.

- Простота та гнучкість доступу до сервісів авіакомпаній як звичайного клієнта, так і компаній-експлуатантів повітряних суден.

При прямій підтримці льотної придатності повітряного судна - його технічному обслуговуванні, використання «Хмарних» технологій скорочує велику частину «паперової» роботи, що пришвидшує процес ведення будь-якої документації та зменшує вірогідність втрати чи пошкодження такої документації в наслідок впливу людського фактору.

Кросс-платформерний доступ до потужних обчислювальних ресурсів дозволяє застосовувати при технічному обслуговуванні такі інноваційні методи, як VR гарнітури для обслуговуючого персоналу, що в свою чергу дає можливість використовувати цифровізовану документацію по підтримці льотної придатності повітряних суден, координувати дії людини в режимі «прямого ефіру» (наприклад старший, більш кваліфікований інженер може керувати та надавати методичну підтримку молодшому і менш досвідченому персоналу).

### **Висновок**

«Хмарні» технології та їх розвиток на практиці неодноразово доводять свою ефективність. Враховуючи ключові аспекти та здатність хмарних сервісів забезпечувати високу масштабованість та гнучкість, дозволяючи компаніям швидко адаптуватися до змінних умов ринку та потреб споживачів. «Хмарні» рішення надають легкий доступ до

великих обсягів даних та потужних обчислювальних ресурсів, що є незамінним для розвитку та імплементації інноваційних продуктів і сервісів.

**Список використаних джерел:**

1. Відстеження процесу обслуговування ПС. URL: <https://veryon.com/flightdocs-maintenance>
2. Авіаційні хмарні журнали обліку (ТО та інше). URL: <https://veryon.com/blog/unlocking-a-cloud-of-opportunity-the-role-of-technology-for-aircraft-logbook-management-and-maintenance>
3. Хмарні рішення. URL: <https://ucloud.ua/hmarni-rishennya-2023-2024/#:~:text=Завдяки%20хмарним%20рішенням%20компанії%20можуть,доступність%20подуг%20для%20своїх%20клієнтів>

**UDC 629.7.027-048.34:004(043.2)**

**OPTIMIZATION OF LOAD DISTRIBUTION ON THE AIRCRAFT  
LANDING GEAR USING COMPUTER-AIDED DESIGN**

**Mykhailo Anosov**

*National Aviation University, Kyiv*

*Scientific supervisor – Oleksandr Rugain, PhD, Associate Professor*

Keywords: CAD – Computer-aided design, distribution, landing gear

The aircraft's landing gear is a crucial element responsible for ensuring the safe return of the aircraft to the ground after a flight, minimizing damage. It is engineered to absorb and safely distribute the kinetic energy generated during landing across the airframe. Designing landing gear is a challenging endeavor, especially when it needs to be retractable, adding complexity due to kinematic considerations and space limitations. The landing gear encounters various loads from different directions during landing, leading to potential overloading issues.

Optimization of load distribution on aircraft landing gear is a crucial aspect of aircraft design to ensure safe and efficient operations. Computer-Aided Design (CAD) software can be instrumental in simulating and analyzing different load distribution scenarios. One approach is to model the landing gear system in CAD software, including the individual components such as struts, tires, and shock absorbers. By inputting the various loads and forces acting on the landing gear during different phases of flight (takeoff, landing, taxiing, etc.), engineers can simulate how the load is distributed across the various components. Through iterative simulations and analyses, engineers can optimize the design to ensure that the load distribution is balanced and that no single component is overloaded. This can help extend the lifespan of the landing gear, improve overall aircraft performance, and enhance safety during landing and takeoff.

The way in which forces and moments are transmitted from the wheels to the aircraft structure is known as load distribution in a landing gear. A well-executed load distribution can enhance the

stability, longevity, and effectiveness of both the landing gear and the aircraft. When the load distribution is balanced, it can decrease bending and torsional stresses on the landing gear components, as well as reduce fuel consumption and noise emissions from the aircraft. Conversely, an imbalanced load distribution may lead to excessive wear and tear, structural malfunctions, or even result in loss of aircraft control. Hence, optimizing the load distribution of a landing gear is a crucial goal for aerospace engineers.

### Conclusion

Utilizing CAD for optimizing landing gear load distribution offers numerous benefits to aerospace engineers and the industry. This includes cutting down on design time and cost by minimizing reliance on physical testing and prototyping, while also expediting design iterations and revisions.

### References:

1. Review on Failures Design and Material. 11 February 2023. Available: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.4910>
2. Design Optimization of Aircraft Landing Gear Assembly Under Dynamic Loading by Jonathan Y. B. Wong, September, 2017. Available: <https://www.linkedin.com/advice/0/how-can-you-optimize-aircraft-landing-gear-kubae>
3. Landing Gear Problems: Guidance for Controllers. Available: <https://skybrary.aero/articles/landing-gear-problems-guidance-controllers>.

УДК 621.7.029:629.7(043.2)

## РОЗУМНИЙ АНГАР ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

**Олександр Хвостик**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Ринат Салімов, к.т.н., доц.*

Ключові слова: розумний ангар, автоматизація, авіація, обслуговування, іноваційні технології.

Розумний ангар для зберігання та обслуговування авіаційної техніки - це ангар, який використовує датчики, програмне забезпечення та інші технології для автоматизації та оптимізації процесів, пов'язаних з зберіганням та обслуговуванням літаків.

Деякі з ключових функцій розумного ангара для авіаційної техніки:

• **Моніторинг умов навколишнього середовища:** датчики можуть відстежувати такі параметри, як температура, вологість, освітлення, рівень забруднення та інші. Ця інформація може використовуватися для автоматичного регулювання систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (ОВК), а також для запобігання корозії та інших пошкоджень літаків.



•**Управління доступом:** система контролю доступу може використовуватися для відстеження того, хто й коли заходить і виходить з ангару. Це може допомогти підвищити безпеку та запобігти крадіжкам.

•**Моніторинг стану:** датчики можуть використовуватися для відстеження стану літаків, наприклад, для виявлення тріщин, деформацій або інших пошкоджень. Це може допомогти запобігти аваріям і забезпечити безпечну експлуатацію літаків.

•**Оптимізація енергоспоживання:** система автоматизації може використовуватися для оптимізації енергоспоживання ангару, наприклад, за рахунок автоматичного вимкнення освітлення та інших систем, коли вони не використовуються.

•**Планування та управління обслуговуванням:** система може використовуватися для планування та управління обслуговуванням літаків, наприклад, для замовлення запчастин, планування завдань технічного обслуговування та відстеження запасів технічного обслуговування.

#### **Переваги використання розумного ангару для авіаційної техніки:**

•**Підвищення безпеки:** розумні ангари можуть допомогти підвищити безпеку за рахунок систем контролю доступу, моніторингу стану та інших функцій.

•**Зниження витрат:** розумні ангари можуть допомогти знизити витрати за рахунок оптимізації енергоспоживання, складських операцій та інших процесів.

•**Підвищення ефективності:** розумні ангари можуть допомогти підвищити ефективність за рахунок автоматизації різних процесів, пов'язаних з експлуатацією ангару.

•**Підвищення продуктивності:** розумні ангари можуть допомогти підвищити продуктивність за рахунок оптимізації ланцюжка постачання та інших процесів.

•**Продовження терміну служби літаків:** завдяки кращим умовам зберігання та обслуговування літаки можуть служити довше.

#### **Приклади використання розумних ангарів для авіаційної техніки:**

•**Авіакомпанії:** розумні ангари можуть використовуватися для зберігання та обслуговування пасажирських та вантажних літаків.

•**Авіаційні ремонтні заводи:** розумні ангари можуть використовуватися для ремонту та обслуговування літаків.

•**Аеропорти:** розумні ангари можуть використовуватися для зберігання та обслуговування літаків, які належать аеропортам.

•**Військові авіабази:** розумні ангари можуть використовуватися для зберігання та обслуговування військових літаків.

#### **Висновок**

**Розумні ангари** - це нова та інноваційна технологія, яка може допомогти покращити експлуатацію ангарів для авіаційної техніки.

**Очікується, що в найближчі роки ринок розумних ангарів для авіаційної техніки буде стрімко зростати.**

**Список використаних джерел:**

1.URL : <https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2016-12-hangar-of-the-future>

2.URL : <https://aviationweek.com/mro/emerging-technologies/smart-hangar-tech-targets-aircraft-damage-risks>

3.URL : <https://fodnews.com/smart-hangars/#:~:text=How%20do%20Smart%20Hangars%20work,MRO%20operations%20and%20increase%20efficiency.>

**UDC 553.661:629.7.072.1(043.2)**

**IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF HELICOPTER FLIGHT CONTROL SYSTEMS  
BY EXPANDING NAVIGATION CAPABILITIES**

**Yevgeniy Koshelenko**

*National Aviation University, Kyiv*

*Scientific supervisor – Oleksandr Rugain, PhD, Associate Professor*

Keywords: Helicopter Flight Control System, Navigation Capabilities, GPS

A Helicopter Flight Management System (HFMS) is an automated system aimed at assisting helicopter pilots in overseeing diverse flight operations including navigation, flight planning, aircraft systems monitoring, and communication. Its purpose is to enhance the safety and efficiency of helicopter operations by furnishing pilots with real-time data, enabling them to make better-informed decisions and adapt to evolving conditions with greater effectiveness.

A typical HFMS comprises an array of sensors and instruments that collect data concerning the aircraft's position, velocity, altitude, fuel usage, and other pertinent parameters. Subsequently, this data undergoes processing by the system's software algorithms, which generate alerts, warnings, and recommendations for the pilot.

In order to increase the efficiency of HFMS, it is necessary to expand the navigation capabilities.

Enhancing navigation capabilities in helicopters involves implementing various technologies and strategies aimed at improving the accuracy, reliability, and efficiency of navigation systems. Below are some key methods to achieve this.

One of them is the use of global navigation satellite systems (GNSS). GNSS systems, such as GPS (Global Positioning System), provide precise positioning data to helicopters, enabling them to determine their exact location anywhere on the globe. Integration with multiple satellite

constellations like GPS, GLONASS, Galileo, and BeiDou enhances reliability and accuracy, especially in areas with limited satellite visibility.

Inertial Navigation Systems (INS) utilizes gyroscopes and accelerometers to track the helicopter's movements and determine its position relative to an initial starting point. Combining INS with GNSS data through a process known as GNSS-aided INS (GNSS/INS) improves accuracy, especially in environments where GNSS signals may be obstructed or degraded.

Terrain Awareness and Warning Systems (TAWS): TAWS utilizes databases of terrain elevation to provide real-time alerts to pilots regarding potential terrain conflicts. This helps prevent controlled flight into terrain (CFIT) accidents, especially during low visibility or in mountainous terrain.

Among the notable components of HFMS are sophisticated navigation systems, weather radar, predictive tools, collision avoidance systems, and automated flight planning and tracking capabilities. These technological advancements aid pilots in navigating challenging terrain, evading hazards, and optimizing flight routes to minimize fuel consumption and decrease overall flight duration.

### **Conclusion**

In summary, HFMS plays a crucial role in enhancing the safety, efficiency, and efficacy of helicopter operations by assisting pilots in navigating intricate environments, making informed decisions, and promptly adapting to shifting circumstances.

By integrating and utilizing these advanced technologies and systems, helicopter operators can significantly enhance their navigation capabilities, leading to safer, more efficient, and more reliable flight operations.

### **References:**

- Pratt, J., & Whitney, G. (2016). "Helicopter Performance, Stability, and Control". Cambridge University Press.
- Seddon, J., Newman, S., & Young, P. (2011). "Introduction to Helicopter and Tiltrotor Flight Simulation". AIAA (American Institute of Aeronautics and Astronautics).

УДК 629.735.07 (045)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ПРИ ТЕХНІЧНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

**Антон Плуговий**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Ірина Морозова, к.т.н., проф.*

Ключові слова: повітряне судно, технічне обслуговування, інтернет речей.

Серед інноваційних технологій останнього часу, які найбільше впливають на авіаційну галузь, безумовно, в особливому ключі варто відзначити технології сфери інтернету речей (IoT) та їх комбінації з іншими технологіями.

Оператори авіакомпаній та технічні фахівці звертаються до IoT для збору даних, які вказують на відмову обладнання на першому етапі, особливо це актуально для формування технічного обслуговування (ТО) повітряних суден (ПС).

Основні способи використання IoT для покращення ТО ПС:

1. Впровадити профілактичне ТО ПС за допомогою IoT.

Однією з основних завдань профілактичного обслуговування є аналіз наявних даних. Фахівці з технічного обслуговування повинні розуміти відомі проблеми, що виникають із обладнанням. Їм необхідно бачити тенденції, що вказують на те, що обладнання готове до відмови, і прогнозувати його життєвий цикл, що залишився. Це дозволяє провести заміну чи ремонт перед тим, як виникнуть серйозні проблеми.

Перехід від графіка оперативного обслуговування до рішень щодо профілактичного обслуговування покращить технічне обслуговування, ремонт та капітальний ремонт у довгостроковій перспективі. Це дозволить використовувати більш економічні стратегії та підвищити продуктивність персоналу з технічного обслуговування.

2. Використовувати датчики IoT для діагностики обладнання ПС.

Технічні фахівці, оператори авіакомпаній та компанії, що займаються продажем запчастин застосовують діагностичні та прогностичні стратегії, які використовують для виявлення симптомів, що попереджають про можливі майбутні відмови ПС. Розміщуючи датчики на важливому обладнанні та механізмах, таких як двигуни, закрилки та шасі, працівники з технічного обслуговування літаків можуть ефективно збирати дані для аналізу ознак відмови літака, що дозволяє створювати графіки профілактичного обслуговування для замовлення деталей та призначати кваліфікований персонал для своєчасного ремонту обладнання.

3. Поліпшити аналіз зібраних даних.

Ще одна проблема, яку фахівці з ТО та оператори авіакомпаній можуть вирішити за допомогою технологій IoT - це збір значущих і корисних даних. Датчики літака можуть надсилати назад величезні обсяги даних, і надто багато зусиль, витрачених на їх аналіз, не тільки збільшує трудовитрати, а й час простою ПС на ТО.

Технологія IoT забезпечує більшу прозорість життєвого циклу деталі, дозволяючи технічному фахівцю переглядати дані, записані в ланцюжку блоків, та враховувати історію встановлення, використання та ремонту деталі, щоб приймати більш обґрунтовані рішення про технічне обслуговування, ремонт та капітальний ремонт.

#### 4. Зменшити кількість помилкових спрацьовувань виробів ПС.

При аналізі даних фахівці з ТО повинні уникати хибних тривог. Хибна тривога може виникнути, коли датчик вказує на можливу проблему деталі, яка працює нормально при наступному перегляді. Коли помилкові тривоги щодо обладнання відбуваються часто, фахівці з ТО можуть почати ігнорувати їх, навіть якщо в обладнанні літака є реальна проблема.

IoT може вирішити цю проблему, надавши комплексний системний зв'язок між різними компонентами літака, а також збираючи більше даних від персоналу з ТО, пілотів літаків, авіакомпаній та компаній, що виробляють запчастини. Зменшення розриву зв'язку між різними відділами може дозволити проводити оцінки із різних джерел даних. Переглядаючи всі дані, техніки/інженери з технічного обслуговування можуть шукати кореляції з інших точок зору, що допомагає зменшити кількість помилкових тривог та краще прогнозувати сигнали відмови обладнання.

### Висновок

Впровадження IoT трансформує галузь технічного контролю та обслуговування літаків, забезпечуючи доступ до колись обмеженої інформації, інноваційних рішень та надаючи змістовні дані з технічного обслуговування, які знижують експлуатаційні витрати, відкривають нові потоки доходів та скорочують час, проведений літаком поза польотом.

#### Список використаних джерел:

1. eBook: Aircraft Maintenance Technology.
2. [https://taqtile.com/aircraft-maintenance-technology/?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjwzN-vBhAkEiwAYiO7oLCe3W7SRyhjUluoGWS65yErH-sFw-s5E8K9NsztcdKtwrrNQ46A8BoCYGsQAvD\\_BwE](https://taqtile.com/aircraft-maintenance-technology/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwzN-vBhAkEiwAYiO7oLCe3W7SRyhjUluoGWS65yErH-sFw-s5E8K9NsztcdKtwrrNQ46A8BoCYGsQAvD_BwE)

УДК: 629.7.05:004.9

## ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОБСЛУГОВУВАННІ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

Тарас Савчук

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Ринат Салімов, к.т.н., доц.*

Ключові слова: штучний інтелект, прогностичне обслуговування, оптимізація, автоматизація, авіація.

Штучний інтелект (ШІ) революціонує авіаційну галузь, пропонуючи нові можливості для покращення обслуговування повітряних суден. Ця стаття досліджує різні аспекти застосування ШІ в цій сфері, зосередившись на таких аспектах, як прогностичне обслуговування, оптимізація запасних частин, автоматизація процесів та покращення безпеки.

Обслуговування повітряних суден - це комплексний процес, який включає в себе широкий спектр завдань, таких як:

- Огляд - візуальний та інструментальний контроль стану повітряного судна для виявлення можливих несправностей.
- Діагностика - визначення причини несправності та оцінка її серйозності.
- Ремонт - відновлення працездатності повітряного судна.
- Прогнозування - передбачення можливих несправностей та вжиття заходів для їх запобігання.

### Аналіз можливості застосування ШІ

ШІ може бути застосований до всіх аспектів обслуговування повітряних суден, щоб:

- Підвищити точність та надійність огляду - ШІ-системи можуть аналізувати зображення та дані датчиків, щоб виявити несправності, які можуть бути пропущені людським оком.
- Скоротити час простою - ШІ-системи можуть допомогти механікам швидше діагностувати та усунути несправності.
- Знизити витрати - ШІ-системи можуть допомогти авіакомпаніям оптимізувати плани технічного обслуговування та запобігти непередбачуваним ремонтам.
- Підвищити безпеку польотів - ШІ-системи можуть допомогти авіакомпаніям краще прогнозувати можливі несправності та вживати заходів для їх запобігання.

### Приклади

- Rolls-Royce використовує ШІ для прогнозування несправностей двигунів - система аналізує дані датчиків з мільйонів польотів, щоб визначити двигуни, які схильні до ризику несправності.

- Airbus використовує ШІ для автоматизації огляду повітряного судна- система використовує камери та машинне навчання для автоматичного виявлення пошкоджень на поверхні літака.

- Lufthansa Technik використовує ШІ для оптимізації планування технічного обслуговування - система аналізує дані про стан повітряних суден та рекомендує оптимальні плани технічного обслуговування.

### **Висновок**

ШІ має значний потенціал для покращення обслуговування повітряних суден. Авіаційна галузь лише починає використовувати ШІ, але вже є багато прикладів успішного його застосування. У міру розвитку ШІ його роль в обслуговуванні повітряних суден буде лише зростати.

### **Список використаних джерел:**

- 1.URL : <https://techwireasia.com/12/2018/rolls-royce-turns-to-ai-to-predict-engine-problems/>
- 2.URL : <https://www.airbus.com/en/innovation/industry-4-0/artificial-intelligence>

**УДК 629.7.023.2:001.12/.18(043.2)**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ІННОВАТИВНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ПОКРАЩЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБШИВКИ ПОВІТРЯНОГО СУДНА**

**Богдан Бурдун**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Юрій Іванович Смірнов, к.т.н., доц.*

Ключові слова: повітряне судно, обшивка, технічне обслуговування, інновації, штучний інтелект, нейронна мережа, покращення, дрон

### **Вступ**

Літаки є найбільш складними технічними системами, де кожна деталь відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки та ефективності польотів. Однією з найважливіших частин літака є його обшивка, яка не лише забезпечує аеродинамічні властивості, але і захищає внутрішні системи від впливу навколишнього середовища та механічних пошкоджень. Оскільки безпека польотів залежить від стану обшивки, технічне обслуговування цієї частини повітряного судна має вирішальне значення.

З огляду на швидкий розвиток технологій та появу нових вимог до безпеки, інноваційні підходи до покращення технічного обслуговування обшивки літака стають актуальними. Використання новітніх технологій та методів може значно підвищити ефективність, надійність та безпеку польотів, а також знизити витрати на технічне обслуговування.

Метою даного дослідження є аналіз інноваційних можливостей у сфері покращення

технічного обслуговування обшивки літака з метою вдосконалення процесів та забезпечення більшої безпеки авіаперевезень. Дослідження включає аналіз сучасних підходів до обслуговування обшивки, вивчення новітніх технологій та методів, а також розгляд можливостей їх впровадження у практику авіаційного технічного обслуговування.

## Матеріали та методи

Дослідження базується на комплексному аналізі сучасних методів технічного обслуговування обшивки літаків, а також вивченні інноваційних технологій, що можуть бути застосовані у цій сфері.

Основними джерелами інформації для аналізу є наукові статті, монографії та патенти, які охоплюють різні аспекти технічного обслуговування обшивки літаків. Здійснювалася оцінка переваг та недоліків існуючих методів та технологій.

Для вивчення можливостей впровадження інноваційних підходів проводилися експерименти з використанням сучасних матеріалів та технологій обслуговування. Особлива увага приділялася використанню дронів для моніторингу стану обшивки, впровадженню автоматизованих систем контролю, а також використанню новітніх матеріалів з покращеними експлуатаційними властивостями.

Для автоматичного виявлення дефектів обшивки літаків за допомогою дронів було використано технологію MASK R-CNN. Ця технологія забезпечує ідентифікацію піксельно-орієнтованої демаркації об'єктів, таких як дефекти обшивки. Дослідження включало навчання нейронної мережі за допомогою невеликого набору фотографій з дефектами обшивки, а також оцінку результатів експериментів з використанням метрик точності та повноти.

Аналіз отриманих результатів проводився з урахуванням ефективності, економічної доцільності та потенційної безпеки впровадження інноваційних рішень у практику технічного обслуговування обшивки літака.

## Результати

**Використання дронів для моніторингу обшивки:** Експериментальні дослідження показали, що використання дронів для моніторингу стану обшивки дозволяє ефективно виявляти потенційні проблеми та дефекти, забезпечуючи оперативну реакцію на них. Наприклад, дрони можуть здійснювати детальні перевірки навіть у важкодоступних місцях, що раніше вимагало б значних зусиль та витрат. Зменшення часу, необхідного для оцінки стану обшивки, і економія коштів на обслуговуванні є очевидними перевагами такого підходу.

**Використання новітніх матеріалів:** Експерименти з використанням новітніх композитних матеріалів показали значне покращення експлуатаційних характеристик обшивки. Ці матеріали відрізняються високою міцністю, стійкістю до корозії та впливу навколишнього середовища.



Внаслідок цього можливе збільшення терміну служби обшивки та зниження частоти необхідного обслуговування, що в свою чергу позитивно позначиться на зменшенні загальних витрат на технічне обслуговування повітряних суден.

**Автоматизація процесів обслуговування за допомогою штучного інтелекту:** Впровадження автоматизованих систем контролю та діагностики, побудованих на базі штучного інтелекту, дозволить суттєво підвищити ефективність технічного обслуговування обшивки літака. Ці системи здатні автоматично виявляти потенційні проблеми навіть на ранніх стадіях, що дає можливість вжити необхідні заходи щодо усунення дефектів ще до того, як вони стануть відкритими. Більш того, використання штучного інтелекту допоможе знизити ризик виникнення людських помилок під час процесу обслуговування, що сприятиме покращенню якості та безпеки літаків.

**Результати застосування MASK R-CNN:** Застосування технології MASK R-CNN для автоматичного виявлення дефектів обшивки літаків дало значне покращення точності та швидкості виявлення проблем. Проведені експерименти показали, що ця технологія дозволяє з високою точністю ідентифікувати різні типи дефектів, такі як подряпини, вигини, тріщини та інші аномалії на обшивці літака.

У порівнянні з традиційними методами обстеження, використання MASK R-CNN спрощує процес виявлення дефектів, зменшуючи час, необхідний для проведення інспекцій та витрати, пов'язані з технічним обслуговуванням. Більш того, ця технологія забезпечує більш оперативну реакцію на виявлені проблеми, що дозволяє уникнути затримок у виробничому процесі та забезпечує підтримку безперебійності роботи повітряного судна.

Додатково, використання MASK R-CNN сприяє покращенню безпеки польотів, оскільки дозволяє оперативно виявляти потенційно небезпечні дефекти та вчасно приймати відповідні заходи щодо їх усунення. Ця технологія також може знизити ризик людських помилок, які можуть виникнути під час ручного обстеження літака.

## **Висновок**

Впровадження інноваційних технологій, таких як використання дронів, новітніх матеріалів та штучного інтелекту, у технічне обслуговування обшивки літаків позитивно впливає на оптимізацію процесів обслуговування. Ці інновації дозволяють ефективно виявляти та реагувати на потенційні проблеми, що сприяє зменшенню часу і витрат на обстеження та ремонт обшивки. Покращення точності та швидкості виявлення дефектів за допомогою технології автоматичного розпізнавання дефектів на поверхнях підтверджує перспективи використання штучного інтелекту та нейронної мережі в авіаційній промисловості.

## **Список використаних джерел:**

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118983>"RiseHYPERLINK

УДК 621.891

## МОНІТОРИНГ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Назарій Березівський, Олексій Левченко  
*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Рудольф Мнацаканов, д.т.н., проф.*

**Ключові слова:** мастильні матеріали, фізико-хімічні властивості, лабораторний контроль.

### Вступ

Мастильні матеріали (ММ) є важливим елементом будь-якого механічного обладнання, оскільки вони впливають на його ефективність. Вони призначені для зменшення тертя між деталями, захисту від корозії та зносу, а також підвищення терміну служби механізмів. Важливою є їхня надійність, яка забезпечує безпечну та ефективну роботу літальних апаратів. Синтетичні мастильні матеріали, завдяки своїм властивостям, успішно замінили мастила та оливи на вуглеводневій основі в авіаційній та аерокосмічній промисловості [1].

### Матеріали та методи

Проаналізована оцінка якості експлуатаційних властивостей ММ для повітряних суден та авіаційної наземної техніки за методиками: вміст лугів та водорозчинних кислот (ГОСТ 6307); вміст фосфору (ASTM D 4927, ASTM D 6443, ASTM D 6481, ГОСТ 9827); коксівність (ГОСТ 14298, ГОСТ 19932); температура помутніння (ДСТУ ISO 3015, ГОСТ 5066); температура краплепадіння (ГОСТ 7171, ГОСТ 6793, ГОСТ 19832); коефіцієнт фільтруємості (ГОСТ 19006); масова частка ароматичних вуглеводів та анілінова точка (ГОСТ 12329); кислотне число (ASTM D 974, ГОСТ 11362); індекс в'язкості (ДСТУ ГОСТ 25371); в'язкість динамічна (ГОСТ 1929) та ін.

### Результати

Дослідження підтвердили, що аналіз мастильних матеріалів (ММ) вже протягом тривалого часу вважається ключовою процедурою профілактичного технічного обслуговування. Особливу увагу звертають на визначення оптимального терміну заміни мастил і олів. Впровадження різних портативних пристроїв, зокрема мінілабораторій серії Minilab (виробництва Spectrosci, США) у європейських країнах, дозволило здійснювати моніторинг ММ прямо на місці роботи обладнання. Це дозволяє вчасно виявляти ознаки несправностей і швидко їх усувати. Minilab дозволяє контролювати не один, а кілька параметрів робочих характеристик ММ. Інфрачервоний ІЧ-аналізатор FluidScan 1100 дозволяє ефективно визначати вміст забруднювачів, таких як вода та гліколь, а також відслідковувати деградацію ММ шляхом вимірювання ступеня окислення та

загального кислотного/лужного числа. У лінійці Minilab також є лічильник частинок серії LNF, який визначає код чистоти ММ за ISO 4406 та класифікує їх за типом зносу (різання, втома тощо), а також визначає наявність та кількість магнітних частинок зносу. Елементний аналізатор SpectrOil 120С (виробництва Spectrosci, США) надає інформацію про тип забруднень та елементний склад присутніх у ММ частинок при діагностуванні проби (рис. 1). Аналізатор потребує мінімальної кількості проби та часу, щоб виявити наявність різних частинок зносу та забруднень ММ, що дозволяє запобігти аварійним ситуаціям.



Рис. 1. Елементний аналізатор SpectrOil 120С.

### Висновок

Використання портативних мінілабораторій дозволяє здійснювати комплексний контроль за різноманітними параметрами робочих характеристик мастильних матеріалів (ММ). Наприклад, інфрачервоний аналізатор FluidScan 1100 дозволяє точно визначати вміст води та гліколю, а також відслідковувати ступінь деградації ММ через вимірювання окислення та загального кислотного/лужного числа. Хоча віскозиметр серії 3000 вимірює лише кінематичну в'язкість, він також допомагає в оцінці окислення ММ та виявленні забруднення водою та частинками, оскільки ці фактори впливають на в'язкість олив. Не менш важливим для моніторингу є лічильник частинок серії LNF, який класифікує чистоту ММ за ISO 4406 та визначає наявність та тип частинок зносу. Всі ці методи дозволяють ефективно контролювати та вчасно реагувати на зміни властивостей та стану мастильних матеріалів, забезпечуючи високий рівень надійності і продуктивності техніки, включаючи автотранспортне обладнання та повітряні судна.

### Список використаних джерел:

1. Огляд ринку авіаційних мастильних матеріалів: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.grebenka.com/blog/obzor\\_rynka\\_aviacionnykh\\_smazochnykh\\_materialov/2022-10-19-11662](https://www.grebenka.com/blog/obzor_rynka_aviacionnykh_smazochnykh_materialov/2022-10-19-11662) (дата звернення 01.11.2023)

UDC 621.319:629.7.014-519(043.2)

**THE POTENTIAL OF EMPLOYING DRONES FOR NON-DESTRUCTIVE  
INSPECTIONS DURING AIRCRAFT MAINTENANCE**

**Yana Tsysar**

*National Aviation University, Kyiv*

*Scientific supervisor – Oleksandr Rugain, PhD, Associate Professor*

Keywords: Non-destructive testing, inspection, drone, aircraft maintenance.

To ensure a long life of the aircraft and flight safety, it is necessary to conduct aircraft maintenance, repair and overhaul. The main thing in this work is efficiency and timeliness. First of all, prolonged stay of an aircraft for maintenance increases operator costs. Secondly, it is economical and expedient to check expensive responsible parts before they fail, but at the same time not to replace them before the resource is exhausted. Non-destructive testing (NDT) is the optimal way for conducting inspection to meet these requirements. It includes visual, ultrasonic, magnetic-particle, eddy-current and other testing.

As the article states “Robotics Methods Implementation in Aircraft Maintenance Technologies” [1], the applying of drones for visual inspection can to reduce costs and significantly reduce the time spent on maintenance. Modern aircraft inspection drones can be equipped with auxiliary equipment such as mirrors, endoscopes, lenses and fiber optic devices to provide increased safety and ease of maintenance during aircraft inspections. This can reduce inspection time by 80-90%, as well as provide access to hard-to-reach places, for example, high-placed parts of the aircraft. In addition, drones can collect vast amounts of data that can be analyzed using machine learning algorithms for predictive maintenance, ultimately improving aircraft safety and reliability.

Besides to visual control with the help of drones, which are already used in aviation, other areas of development of drone inspections are known. For instance, Drone for Ultrasonic NDT Inspection, designed by Skygauge Robotics (Fig. 1) [2]. This drone is integrated with an ultrasonic thickness gauge and can make contact with surfaces for testing to measure metal thickness and ignore paint coatings. Such drones are successfully used in many industries, so it is advisable to consider the possibility of their introduction into aviation.

In the paper “Inspection of Aircraft Wing Panels Using Unmanned Aerial Vehicles” [3] used a drone with UV-light for defect detection in metallic wing panels using the visual and liquid penetrant inspection (Fig. 2). There are also various sensors that can be installed on a drone, apart from ultrasonic sensors, they can be infrared sensors, multispectral cameras, etc. Thus, the options for using drones for NK methods in aircraft maintenance are countless and increase with the development of technology.



Fig. 1. Drone for Ultrasonic NDT Inspection, designed by Skygauge Robotics



Fig. 2. Aerial inspection

### Conclusion:

Integrating drone technology into aircraft maintenance processes provides significant benefits, including cost and time savings. Equipped with advanced inspection tools, drones can access hard-to-reach areas of the aircraft, perform precise inspections and collect data for analysis. In addition, the development of specialized drones for ultrasonic non-destructive inspection, detection of defects using UV-light and installation of various sensors demonstrates the expansion of drone technology in aircraft maintenance.

### References:

1. Матеріали XVI міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2023». – К.: НАУ, 2023. Robotics Methods Implementation in Aircraft Maintenance Technologies. – O.V. Rugain, E.K. Ishunin. Available: <https://conference.nau.edu.ua/index.php/AVIA/AVIA2023/paper/view/9789/7565>.
2. Ultrasonic Drone Inspections Take NDT Safety to New Heights. 29 April 2021. Available: [Ultrasonic Drone Inspections Take NDT Safety to New Heights](#) .
3. Inspection of Aircraft Wing Panels Using Unmanned Aerial Vehicles. 17 April 2019. Available: <https://doi.org/10.3390/s19081824>.

UDC 621.226:629.7(043.2)

## APPLICATION FEATURES OF HYDRAULIC CYLINDERS MADE FROM CARBON FIBER REINFORCED POLYMER IN AIRCRAFT HYDRAULIC SYSTEMS

**Kostiantyn Lahoda**

*National Aviation University, Kyiv*

*Scientific supervisor – Oleksandr Rugain, PhD, Associate Professor*

Key words: Hydraulic cylinder, Carbon Fiber Reinforced Polymer, weight reduction

### Introduction

Hydraulic cylinders [1] are widely used in mobile equipment such as aircraft, construction machinery, and heavy-duty robots. The large weight of the hydraulic cylinder seriously restricts the performance of the whole machine in terms of maneuverability, carrying capacity, endurance time, and energy saving. Using CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) [2] instead of metal can improve the weight reduction potential of a hydraulic cylinder.

### Materials and methods

Hydraulic cylinders play a vital role in controlling the motion of various aircraft components such as the rudder, landing gear retraction, front landing gear turning, and hatch actuation. However, the substantial weight of these cylinders severely limits the potential for improving aircraft performance in terms of maneuverability, carrying capacity, range, and fuel efficiency. Studies [3] have demonstrated that even a modest 1% reduction in aircraft weight could lead to a performance boost of 3% to 5%, resulting in benefits such as reduced fuel consumption, extended endurance, enhanced maneuvering capabilities, increased payload capacity, and lowered operating expenses. Particularly, there is a pressing need to reduce the weight of hydraulic cylinders, especially for highly integrated electro-hydrostatic actuators (EHAs) in multi-electric aircraft. Lightweight hydraulic cylinders in long boom pump trucks can reduce tipping torque, thereby enabling higher pumping height and a larger pumping radius. Similarly, in hydraulically driven robots, the utilization of lightweight hydraulic cylinders holds the potential to significantly enhance dynamic performance and endurance.

### Results

To meet the weight requirements of hydraulic cylinders, employing lightweight and high-strength composite materials rather than metals for their manufacture emerges as the optimal solution for enhancing their weight reduction potential. Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) stands out as a lightweight material extensively utilized in the aerospace and automotive industries in recent times. Compared with alloy steel materials, the strength-to-density ratio of CFRP is 785 kN·m/kg, which is 13.5 times of steel. These show the great potential for weight reduction by using CFRP to manufacture hydraulic cylinders.

## Conclusion

In aviation, conventional hydraulic cylinders are typically heavy, prompting an urgent demand for weight reduction in these components. Further research of the CFRP, their active development, improvement, and implementation into aerospace vehicles could greatly reduce overall weight of hydraulic system of aircraft.

## Reference:

- What is a Hydraulic Cylinder? Available: <https://www.yatesind.com/what-is-a-hydraulic-cylinder>
- What is carbon fiber reinforced polymer? Available: <https://www.crptechnology.com/insights/carbon-fiber-reinforced-polymer>
- Carbon fiber reinforced polymer (CFRP). Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/carbon-fibre-reinforced-polymer>

UDC 621.7.029:629.7(043.2)

## THE USE OF NANOCERAMIC COATINGS TO PROVIDE PROTECTION AGAINST CORROSION AND DESTRUCTION OF THE CARGO AIRCRAFT CAISSON TANK

**Kyrylo Yura**

*National Aviation University, Kyiv*

*Scientific supervisor – Oleksandr Rugain, PhD, Associate Professor*

Keywords: nanoceramic, caisson tanks, corrosion protection.

## Introduction

Caisson tanks are an aircraft component that has no less safety requirements than landing gear or fuel pump, as damage to this unit can lead to fatal consequences. This thesis provides information on the use of modern nanoceramic materials to improve the quality characteristics of the aircraft caisson tank [1; 3].

Due to the growing requirements for the reliability and safety of aviation technologies, the use of nanoceramic coatings to protect aircraft caisson tanks is becoming a relevant and promising technology.

## Materials and methods

The study involved the use of a nanoceramic coating consisting of silicon oxide and aluminum oxide ceramic nanoparticles, a solvent to dissolve and distribute the nanoparticles, and a binder to ensure adhesion to the surface of the metal (film) applied to the inner surface of the caisson tank [2].

Special coating methods were used for this purpose: Surface preparation: The surface of the metal samples was cleaned from grease, dirt and other contaminants using metal cleaning solutions. Coating: The nanoceramic coating was applied to the prepared surface by spraying (aerosolization) to ensure uniform coverage. Drying and fixation: After the coating was applied, the samples were dried at a controlled temperature and humidity to fix the coating on the surface. Testing: The samples were subjected to a series of tests, including strength, corrosion and wear resistance tests, as well as evaluation of the coating's adhesion to the metal surface and performance evaluation.

## Results

Experimental studies have shown that the nanoceramic coating provides effective protection against corrosion, a significant reduction in the formation of corrosion spots on the surface of metal samples was observed, which further means better protection against the destruction of the caisson tank. It reduces the impact of aggressive environments that may occur in caisson tanks. And additionally increases the resistance to wear from mechanical damage to the metal surface, thereby increasing the service life of the tank. It does not react with the material of the tank as it is on the insulating film and does not dramatically increase the weight or reduce the useful volume of the tank.

## Conclusion

The use of nanoceramic coatings is an effective and promising way to protect cargo aircraft caisson tanks from corrosion and destruction. This technology can be successfully implemented in the aviation industry to improve the safety and reliability of aircraft.

## References:

• Smith, J., & Johnson, R. (2024). Application of Nanoceramic Coatings for Enhanced Protection of Cargo Aircraft Fuel Tank Sump. *Journal of Aerospace Engineering*, 47(3), 211-225. Available: Douaa Aied Abdullah (2015) Corrosion protection of Steel Using Nano Ceramic Particles Coating. Available:

[https://www.academia.edu/20207815/Corrosion\\_Protection\\_of\\_Steel\\_Using\\_Nano\\_Ceramic\\_Particles\\_Coating](https://www.academia.edu/20207815/Corrosion_Protection_of_Steel_Using_Nano_Ceramic_Particles_Coating)

• Doe, J., & Roe, M. (2024). Advancements in Airplane Fuel Tank Technology: A Comprehensive Review. *International Journal of Aviation Sciences*, 10(2), 115-130. Available:

[https://www.researchgate.net/publication/365589622\\_Scientific\\_Advancements\\_in\\_Composite\\_Materials\\_for\\_Aircraft\\_Applications\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/365589622_Scientific_Advancements_in_Composite_Materials_for_Aircraft_Applications_A_Review)



УДК 629.7.023.222

**КОМБІНОВАНИЙ СПОСІБ РОЗПИЛЕННЯ ЛАКОФАРБОВИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ВІДНОВЛЕННЯ ЛАКОФАРБНОГО ПОКРИТТЯ ПОВІТРЯНОГО СУДНА****Олексій Гайдаш***Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник – Віталій Токарук, к.т.н.,ст. викладач*

Ключові слова: лакофарбові покриття, лакофарбові матеріали, комбінований спосіб нанесення

**Вступ.** У наш час основним засобом захисту металічних виробів та деталей, а також деяких неметалічних матеріалів від атмосферної дії, а в ряді випадків і ерозії служать лакофарбові покриття (ЛФП).

Термін служби ЛФП залежить, в основному, від матеріалів і складу лакофарбового покриття; складу фарбувальної поверхні; правильного вибору технологічного процесу фарбування; якісного виконання операцій та режимів фарбування; обладнання і кваліфікації робітників.

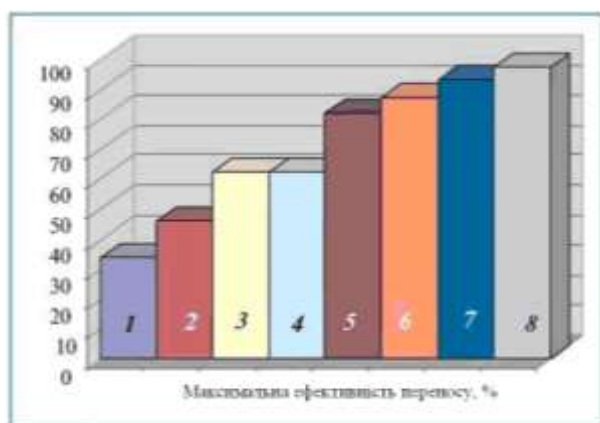


Рис. 1. Ефективність переносу ЛФМ

- 1 - традиційне пневморозпилення;
- 2-безповітряне розпилення; 3-комбіноване розпилення; 4-пневморозпилення HVLP;
- 5-електростатичне розпилення;
- 6-електростатична комбіноване розпилення;
- 7-електростатичне розпилення дисковими високообертливими фарборозпилювачами;
- 8-електростатичне розпилення чашковими низькообертливими фарборозпилювачами

**Матеріали та методи.** Відомі наступні способи нанесення лакофарбних матеріалів такі як: ручний; пневматичного розпилення ЛФМ; безповітряного розпилення; фарбування в електричному полі високої напруги; фарбування зануренням; Фарбування електроосадженням; аерозольне розпилення; комбінований спосіб розпилення. Ефективність способів нанесення представлено на рис. 1.

Але для реалізації технологічного процесу відновлення ЛФП ПС більше відповідають такі способи нанесення як ручний, пневматичного розпилення ЛФМ, безповітряного розпилення та комбінований.

За результатами досліджень найкращим виявився спосіб комбінованого розпилення.

**Результати.** Спосіб комбінованого розпилення є комбінацією двох методів розпилення: безповітряного і пневматического.

Суть його полягає в тому, що лакофарбний матеріал витісняється з відносно великою швидкістю за рахунок порівняно високого гідравлічного тиску 3,0-5,0 МПа з еліптичного отвору сопла, подібного безповітряному. При такому тиску на виході з сопла утворюється різко обкреслений факел заздалегідь роздробленого матеріалу.

Для подальшої розпилення і формування факела в нього із спеціальних каналів розпилювальної головки, встановленої співіснорозпилюючому соплу подається регульована кількість стислого повітря під тиском 0,1 - 0,2 МПа. Під впливом струменя повітря великі краплі лакофарбового матеріалу додатково дробляться і рівномірно розподіляються по ширині факела, ліквідовуючи при цьому різного роду дефекти “кромок”, які можуть виникати при безповітряному розпиленні.

ЛФМ, що подається в невеликих об'ємах у факел, заздалегідь роздроблені, стисле повітря низького тиску не приводить до утворення фарби з туману, а навпаки сприяє більш повному осадженню дрібних частинок матеріалу ЛФМ, які за рахунок гальмування в повітряному середовищі і втрати швидкості не долетіли б до поверхні.

Останніми роками метод комбінованої розпиленості набуває все більш широке поширення.

В порівнянні з способом безповітряного розпилення комбінований підвищує якість одержуваного покриття. Крім того, з'являється можливість змінювати тиск на матеріал і в невеликих межах збільшувати або зменшувати витрату матеріалу, а також змінювати форму факела навіть при одному і тому ж соплі.

### **Висновок**

Застосування у практичній діяльності авіабудівних і авіаремонтних підприємств, комбінованого способу розпилення лакофарбових матеріалів при відновлення лакофарбових покриттів ПС, покращить якість покриттів, знизить витрати лакофарбових матеріалів, зменшить знос обладнання.

### **Список використаних джерел:**

1. Кудрін А.П., Зайвенко Г.М., Волосович Г.А., Хишко В.Д. Ремонт повітряних суден і авіаційних двигунів / Підручник. – К.: НАУ, 2002. – 492 с.
2. Кудрін А.П., Волосович Г.А., Лубяний В.В. та ін. Типові технологічні процеси відновлення авіаційної техніки: Навчальний посібник – К.: НАУ, 2007. – 243 с.
3. [www.graco.be](http://www.graco.be)

УДК 691.175(043.2)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇХ МОЖЛИВЕ ЗАСТОВУВАННЯ: ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ

**Роман Марчук, Турчаненко Михайло**  
*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Рудольф Мнацаканов, д.т.н., проф.*

Ключові слова: полімери, міцність, зношування.

**Вступ.** Полімерні матеріали є невід'ємною частиною сучасного виробництва і мають широке застосування у різних сферах життя, від медицини до будівництва. Важливість оптимального вибору та використання полімерів стає все більш відчутною у зв'язку зі зростанням вимог до якості та ефективності виробів. Фізико-хімічні властивості полімерних матеріалів відіграють ключову роль у їхньому застосуванні, адже вони визначають їхню поведінку та можливості у різних умовах експлуатації [1]. Мета роботи полягає у дослідженні основних фізико-хімічних властивостей полімерних матеріалів виробництва Röchling Industrial Lahnstein SE & Co. KG та їх можливого застосування.

**Матеріали та методи.** Використано дані про властивості полімерів, надані виробником, що дозволило отримати загальний огляд їхніх характеристик та особливостей. З метою додаткового аналізу та перевірки цих даних, були проведені власні експерименти на трибометричній машині [2]. Отримані результати були оцінені з урахуванням виробничих специфікацій та порівняні з наданими даними виробника. Для аналізу отриманих результатів тестування до та після проведених експериментів проведено візуальну оцінку зміни властивостей матеріалу та його стану після впливу різних факторів (тиску, швидкості, температури).

**Результати.** Зразки для аналізу виготовлено із полімерів виробництва Röchling SE & Co. Основні властивості досліджуваних матеріалів представлені у таблиці 1.

Sustamid 66 сірий - висока міцність на розтяг та твердість дозволяють використовувати цей матеріал для виготовлення деталей, які піддаються значним механічним навантаженням. Широкий діапазон робочих температур робить його відмінним вибором для застосування в умовах змінних температурних умов.

Sustapei - висока жорсткість, навіть за високих температур, робить цей матеріал відмінним вибором для застосування в умовах, де важлива стабільність геометричних параметрів деталей. Дуже низький рівень димоутворення гарантує безпеку для використання в сферах, де важливо зменшення викидів та є вірогідність отруєння персоналу.

SusTamid 6G OL - матеріал має властивості самозмащування, що робить його ідеальним

для застосування в умовах де вимагається високий рівень чистоти та відсутність забруднення середовища. Ефективні властивості в умовах ковзання роблять його перспективним для застосування в механічному машинобудуванні, промисловості конвеєрній техніці та автоматизації.

Таблиця 1

## Фізико-механічні властивості полімерних матеріалів

Властивості	Метод	Одиниці	Sustamid 66 сірий	Sustapei	SusTamid 6G OL
Щільність	DIN EN ISO 1183-1	г/см <sup>3</sup>	1.15	1.27	1.14
Абсорбція води	DIN EN ISO 62	%	2.8	0.5	2.0
Межа текучості	DIN EN ISO 527	МПа	85	110	70
Модуль пружності	DIN EN ISO 527	МПа	3300	3100	3300
Твердість за Шором	DIN EN ISO 868	шкала D	83	86	82
Температура плавлення	ISO 11357-3	°C	260	248	213
Теплопровідність	DIN 52612-1	Вт/мК	0.23	0.24	0.25

Зразки виготовлені із даних матеріалів було протестовано на трибометричній машині із наступними результатами середнього вагового зносу  $m_{\Delta}$ : Sustamid 66 сірий – 0.0111 г, Sustapei – 0.0139г, SusTamid 6G OL – 0.0129г (рис. 1).

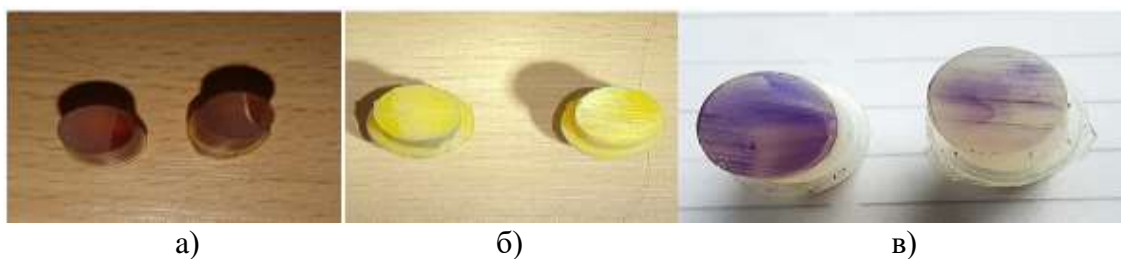


Рис.1 Зразки після триботестування : а – Sustapei, б – Sustamid 6G OL, в – Sustamid 66.

**Висновок**

У ході дослідження були розглянуті основні властивості перспективних полімерних матеріалів та проведено їхнє випробування на трибометричній машині. Sustamid 66 виявився найоптимальнішим матеріалом як за технічною інформацією від виробника, так і за результатами тестування.

**Список використаних джерел:**

1. Martin O., Ales M., Miroslav M., Lenka H. The Effect of Irradiation on Mechanical and Thermal Properties of Selected Types of Polymers. *Polymers*. 2018. 10(2). P 158.
2. Марчук Р.М., Мнацаканов Р.Г. Трибометрична машина для дослідження трибологічних характеристик полімерів. *Проблеми тертя та зношування*, 2023, №2(99), С. 32-38.

**АВІАЦІЙНІ ДВИГУНИ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ**

УДК 629.7.03:001.12/.18(043.2)

**СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВЕНТИЛЯТОРІВ ДВОКОНТУРНИХ ТА ТРИКОНТУРНИХ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ****Марина Пікуль, Володимир Отрощенко, Іван Бабічев***Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник – Ю.М. Терещенко, д.т.н., проф.*

Ключові слова: вентилятор, дворядна лопатка, редуктор, ступінь двоконтурності, зниження шуму, підвищення економічності, управління примежевим шаром.

Конкурентоспроможні двоконтурні та перспективні триконтурні турбореактивні двигуни повинні відповідати певним вимогам: мати високу ефективності, економічність, екологічність, низьку ціну та ін. Вентилятори авіаційних двигунів, як один із вузлів двоконтурних та триконтурних двигунів, потребують подальших вдосконалень з аеродинаміки, аероакустики, міцності, аеропружності та ін. Об'єктом дослідження обрано вентилятор двоконтурного або триконтурного турбореактивного двигуна. Дослідження проводилось методом критичного аналізу сучасних технологій, методів та засобів покращення характеристик вентиляторів газотурбінних двигунів.

Одним із важливих напрямів покращення вентиляторів є вдосконалення їх аеродинамічних характеристик. З цією метою проводяться дослідження щодо оптимізації форми лопаток: зміна хорди, профілів, навалу, товщини, діаметральних розмірів та інше. Перспективним є застосування широкохордних лопаток вентилятора, які мають навал в радіальному або в осьовому напрямі. При виготовленні таких лопаток, частіше за все, використовують спеціальні композитні матеріали, які забезпечують як зменшення ваги, так і покращені акустичні характеристики. Для зменшення маси застосовуються лопатки з хаотичними поздовжніми каналами, набором лонжеронів та листовим наповнювачем. Різні конфігурації порожнистого тіла вентиляторної лопатки дозволяє зменшити вагу конструкції [1-2].

Більш складними в реалізації є застосування методів керування примежевим шаром у вентиляторах авіаційних двигунів. Наприклад, застосування активного методу керування примежевим шаром - вдування додаткової маси повітря у аеродинамічний слід - значно покращує аеродинамічні характеристики вентилятора, але потребує додаткового підведення енергії [3]. Пасивні методи керування примежевим шаром не потребують підведення додаткової енергії, але вони потребують суттєвої зміни конструкції лопаток вентилятора. Таким прикладом є дворядний вентилятор, який має більш аеродинамічну навантаженість,

зменшує втрати повного тиску, ваги та габаритних розмірів двигуна, але потребує подальших розробок з підвищення параметрів міцності та коефіцієнта корисної дії. Пасивні методи керування примежовим широм більш широко застосовуються у порівнянні з активними, тому що не вимагають залучення додаткового джерела енергії. Проте активні методи здатні керувати відривними течіями в більшому діапазоні [4].

Підвищити тягово-економічні характеристики авіаційної силової установки дозволить застосування турбовентиляторної приставки. Головним недоліком такого конструктивного рішення є температурна нерівномірність потоку в турбінному та вентиляторному контурі, оскільки температура газу у турбінному контурі досягає 800-900 К, а зовнішній вентиляторний контур обтікається повітрям з атмосферними параметрами. Дослідження в роботі [5] показали, що температурна нерівномірність потоку впливає на аеродинамічну навантаженість вентиляторного контуру. Одним із можливих рішень цієї проблеми може бути застосування дворядних робочих коліс вентиляторного контуру. Тому існує необхідність проведення детальних аеротермогазодинамічних досліджень і огляду конструктивних рішень лопаткового вінця вентиляторного контуру турбовентиляторної приставки для зменшення негативного впливу температурної нерівномірності потоку.

#### Висновок

Вентилятори двоконтурних та триконтурних турбореактивних двигунів потребують подальшого аеродинамічного вдосконалення, підвищення міцності та зниження рівня акустичного випромінювання. Ці проблеми частково можна вирішити застосовуючи оптимізацію форми лопаток вентиляторів, нові композитні матеріали, керування примежовим шаром.

#### Список використаних джерел:

1. Benini, E., Mistry, C., & Wadia, A. R. (2023, June). Historical Developments in Fan Technologies for Aeroengines. In *Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air* (Vol. 87080, p. V13AT29A013). American Society of Mechanical Engineers.
2. Гараненко, Т. Р. (2021). *Розробка процесу формоутворення порожнистої лопатки з титанових сплавів для газотурбінних двигунів* (Doctoral dissertation, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»).
3. He, Y., Yang, Q., Yang, H., Zhang, S., & Yang, H. (2020, September). Blowing Control in Serpentine Inlet and its Effect on Fan-Stage Performance. In *Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air* (Vol. 84058, p. V001T01A008). American Society of Mechanical Engineers.
4. Балалаєв, А. В. (2021). *Характеристики решітчастого дворядного робочого колеса вентилятора двоконтурного турбореактивного двигуна* (Doctoral dissertation, Національний авіаційний університет).
5. Майборода, Р. В. (2023). Вплив температурного перепаду на ступінь підвищення тиску у вентиляторному контурі турбовентиляторної приставки ГТД. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*, (4, спецвипуск 2), 70-75.

УДК 533.6.011.5

## МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ КВАЗІІЗОЕНТРОПІЙНИХ ПОВЕРХОНЬ ПЛОСКИХ НАДЗВУКОВИХ ВХІДНИХ ПРИСТРОЇВ ЗОВНІШНЬОГО СТИСНЕННЯ

Артем Хорохордін

*Державне підприємство «Івченко - Прогрес», Запоріжжя*

*Науковий керівник – Юрій Терещенко, д.т.н., доц.*

Ключові слова: надзвуковий вхідний пристрій зовнішнього стиснення, стрибок ущільнення, інтенсивність стрибка ущільнення, квазіізоентропійна поверхня гальмування, коефіцієнт збереження повного тиску.

Аналіз наукових джерел [1-3] і результатів патентного пошуку в глобальній базі даних всесвітньої організації інтелектуальної власності (WIPO) за ключовими словами «гіперзвукові і надзвукові вхідні пристрої» [4] показали актуальність даного дослідження, що спрямовано на забезпечення підвищення коефіцієнта збереження повного тиску надзвукового вхідного пристрою зовнішнього стиснення шляхом застосування ізоентропійної поверхні гальмування. На даний час вирішення науково-технічних проблем аеротермогазодинаміки надзвукового потоку є актуальним завданням, над рішенням яких працюють провідні наукові організації в галузі аерокосмічних досліджень.

Метою дослідження є створення методичних основ проектування надзвукового плоского вхідного пристрою зовнішнього стиснення для силової установки літального апарату шляхом застосування квазіізоентропійної поверхні гальмування надзвукового потоку з мінімальними втратами повного тиску.

Методичною основою забезпечення реалізації дослідницької мети та наукового обґрунтування результатів досліджень обрані загальнонаукові та спеціальні наукові методи досліджень: математичного моделювання; планування експерименту; газової динаміки надзвукових течій та теорії ударних хвиль, динаміки рідини та газу та інші.

Об'єктом дослідження є плоский надзвуковий вхідний пристрій зовнішнього стиснення. Предметом дослідження є параметри і характеристики плоского надзвукового вхідного пристрою зовнішнього стиснення.

Математичне моделювання плоского вхідного пристрою зовнішнього стиснення з використанням методики [5] дозволяє отримати, для відповідного розрахункового числа Маха, один з важливих параметрів - коефіцієнт збереження повного тиску, що визначає втрати повного тиску і безпосередньо впливає на тягу силової установки та ряд інших параметрів..

Гальмування надзвукового потоку у вхідному пристрої зовнішнього стиснення здійснюється при проходженні потоку через косі стрибки ущільнення, в яких параметри

поток миттєво змінюються і залежать від швидкості потоку перед косим стрибком ущільнення (числа  $M$ ), кута нахилу поверхні гальмування, кута нахилу стрибка ущільнення та пов'язані рівнянням Ренкіна - Гюгоніо [5]. Втрати повного тиску при гальмуванні потоку в надзвуковому вхідному пристрої зовнішнього стиснення залежать від інтенсивності косих стрибків ущільнення. Для заданого початкового значення числа Маха інтенсивність косого стрибка ущільнення наближається до нуля при наближенні кута нахилу поверхні гальмування також до нуля. Таким чином, зміна інтенсивності косого стрибка до нескінченно малої інтенсивності (слабкий стрибок) створює умови для протікання ізоентропійного процесу стиснення при якому відсутні втрати повного тиску.

Збільшення кількості поверхонь гальмування надзвукового вхідного пристрою зовнішнього стиснення дозволяє наблизитися до ізоентропійної (квазіізоентропійної) поверхні гальмування. Дослідження показали, що при кількості поверхонь гальмування 120...150, коефіцієнт збереження повного тиску у вхідному пристрої сягає 0,99999, а довжина прямого стрибка та довжина поверхні гальмування практично не змінюється.

### **Висновок**

Запропоновані методичні основи проектування квазіізоентропійних поверхонь гальмування плоского надзвукового вхідного пристрою з використанням теорії ударних хвиль створюють умови для визначення раціональних геометричних параметрів і форм надзвукового вхідного пристрою для забезпечення зменшення втрат повного тиску, аеродинамічного проектування надзвукового вхідного пристрою зовнішнього стиснення та оцінки ефективності запропонованих заходів щодо удосконалення надзвукового вхідного пристрою зовнішнього стиснення.

### **Список використаних джерел:**

1. Тимошенко В. І. Комп'ютерне моделювання аеротермогазодинамічних процесів у технічних об'єктах. – Київ: Наукова думка, 2022. –194 с.
2. Seddon J., Goldsmith E. L. Intake Aerodynamics. An account of the mechanics of flow in and around the air intakes of turbine, 1985. – 442 p.
3. Hermann R. Supersonic Inlet Diffusers and Introduction to Internal Aerodynamics. Minneapolis-Honeywell Regulator Company, Aeronautical Division, 1956 – 378 p.
4. Хорохордін А.О., Кравченко І.Ф., Мітрахович М.М., Балалаєва К.В., Балалаєв А.В. Методика раціонального формування поверхонь гальмування плоского надзвукового вхідного пристрою. Авіаційно-космічна техніка і технологія. 2023. № 2 спецвипуск 2. (190) С. 28-24. DOI: 10.32620/aktt.2023.4sup2.03 (категорія Б).



УДК 629.7.036

**ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ПОВІТРЯ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ТУРБИНИ ГТД****Іван Смиківський, Назар Сидоренко**  
*Національний авіаційний університет, Київ**Наукові керівники – Галина Нікітіна, Валерій Ратинський, к.т.н.*

Ключові слова: газотурбінний двигун, турбіна, система охолодження, витрата повітря.

Підвищення параметрів робочого процесу двигуна, вдосконалення конструкцій і матеріалів елементів турбін обумовлює зміни потрібної кількості повітря, яке подається до системи внутрішнього повітропостачання. Повітря відбирається із-за різних ступенів компресора і використовується для охолодження, наддуву ущільнення масляних порожнин та охолодження опор, розвантаження радіально-упорних підшипників від осьової складової сили, герметизація турбіни, управління радіальними зазорами в турбокомпресорі то що. Тому оптимізація витрат по кожному виду відбору повітря є актуальним завданням на етапі проектування двигуна.

Існують різні алгоритми розрахунку охолодження турбін. Поширеним і відносно простим є алгоритм визначення витрати повітря на основі глибини охолодження [1...3].

Для кожного типу охолодження на основі аналізу і узагальнення експериментальних даних використовуються залежності відносної витрати повітря для охолодження окремих елементів конструкції турбіни за заданою температурою газу на вході в турбіну  $T_2^*$  [2].

При виборі оптимальних параметрів робочого процесу на етапі початкового проектування задати вид охолодження не є можливим. В такому разі використовується універсальна залежність відносної витрати повітря на охолодження, яка об'єднує всі види охолодження соплових і робочих лопаток з урахуванням глибини охолодження [2].

Температура газу на вході в турбіну ГТД  $T_2^*=1640\text{K}$ . За заданою температурою газу обрано конвективне-плівковий вид охолодження лопаток турбіни. Глибина охолодження соплових лопаток  $\theta=0,69$ . Глибина охолодження робочих лопаток  $\theta=0,66$ . Відносна витрата повітря на охолодження соплових і робочих лопаток, диску, відносна величина витоків:  $\bar{G}_{\text{охол.сл}} = 6,30\%$ ;  $\bar{G}_{\text{охол.пл}} = 5,54\%$ ;  $\bar{G}_{\text{охол.диск.}} = 1,20\%$ ;  $\bar{G}_{\text{охол.виток}} = 3,40\%$ . Результати наведених розрахунків можуть бути використані в термогазодинамічному розрахунку ГТД.

За універсальною залежністю відносна витрата повітря на охолодження соплових і робочих лопаток, відповідно:  $\bar{G}_{\text{охол.сл}} = 3,97\%$ ;  $\bar{G}_{\text{охол.пл}} = 3,59\%$ . Універсальна залежність

враховує всі види охолодження в широкому діапазоні температур газу перед турбіною, тому може бути використана в програмах оптимізації параметрів робочого процесу ГТД.

Аналогічні параметри розраховано для  $T_c^* = 1270\text{K}$ , конвективного охолодження.

Визначено відносну витрату повітря на охолодження за різними значеннями глибини охолодження в діапазоні значень  $\theta=0,4\dots 0,6$ .

### **Висновок**

Отримані за наведеним алгоритмом розрахунку значення відносної витрати повітря на охолодження соплових і робочих лопаток турбіни знаходяться в межах загально відомих діапазонів цих значень для двигунів з відповідними параметрами робочого процесу.

За використанням універсальної залежності отримано менші значення відносних витрат повітря на охолодження соплових і робочих лопаток порівняно зі значеннями, які розраховано за рівняннями окремого виду охолодження.

Тенденції підвищення параметрів робочого процесу ГТД, удосконалення систем охолодження турбін і надалі потребуватимуть досліджень з уточнення залежностей витрати повітря на охолодження турбін.

### **Список використаних джерел**

1. Халатов А.А., Борисов І.І., Кулішов Б.І. Способи внутрішнього охолодження лопаток газових турбін сучасні та перспективні//Теплофізика та теплоенергетика. 2022. Т.44, №4. С.14-21.

**УДК 629.7.504.62-5.681.5**

## **ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК**

**Андрій Альохін**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Олександр Сергійович Якушенко, д.т.н., доц.*

Ключові слова: польот, режим, двигун, оптимізація,

“Адаптивність до Різних Режимів Польоту”

Особливу увагу слід звертати на аспект адаптивності двигунів до різних режимів польоту. Це необхідно для забезпечення ефективності та безпеки в різноманітних сценаріях польоту.

1. Визначення Адаптивності:

- Адаптивність до різних режимів польоту визначається здатністю авіаційних двигунів ефективно функціонувати та оптимізувати свої параметри для різних фаз польоту, таких як зльот, крейсерський політ, зниження та інші.

## 2. Режим Зльоту:

- У цьому режимі найважливішою характеристикою є висока тяга, яка дозволяє літакові ефективно підніматися в повітря та досягати необхідної висоти.

- Двигуни повинні бути спроможні швидко реагувати на зміни вимоги пілота та надавати необхідний резерв тяги для забезпечення безпеки зльоту.

## 3. Режим Крейсерського Польоту:

- В цьому режимі ефективність використання пального та забезпечення сталої тяги є критичними.

- Адаптивність полягає в можливості оптимізувати параметри двигуна для забезпечення ефективного та економічного польоту на довгій дистанції.

## 2. Зниження та Посадка:

- Під час зниження та посадки, двигуни повинні бути здатні швидко реагувати на зміни вимог пілота та забезпечувати контрольований спуск.

- Треба враховувати аспекти безпеки та можливість гасіння тяги для мінімізації швидкості при посадці.

## 3. Технологічні Рішення:

- Використання передових систем керування та моніторингу дозволяє автоматично регулювати параметри двигуна відповідно до потреб кожного режиму польоту.

- Розвиток електричних систем та компонентів дозволяє вдосконалювати адаптивність, забезпечуючи більш швидке реагування та точність управління.

На дросельній характеристиці ТРД виділяють такі основні характерні режими роботи двигуна: максимальний, максимальний тривалий, крейсерський і режим малого газу. Максимальний – це усталений режим роботи ГТД, який характеризується максимальною тягою або потужністю на землі або у польоті протягом обмеженого часу.

Злітний – це максимальний режим роботи ГТД на землі, коли злітає літак.

Максимальний тривалий – це усталений режим роботи ГТД, який характеризується зниженими порівняно з максимальним режимом значеннями частоти обертання ротора (роторів) та температури газу перед турбіною, коли двигун може працювати з обмеженим часом загального напрацювання. Цей режим використовується для набору крейсерської висоти.

Крейсерський – це усталений режим роботи ГТД, який характеризується зниженими порівняно з максимальним тривалим режимом значеннями частоти обертання ротора

(роторів) та температури газу перед турбіною, коли двигун може працювати протягом необмеженого часу за ресурс. Цей режим використовують у крейсерському польоті. Як правило, передбачається декілька крейсерських режимів. Наземний малий газ – це усталений режим роботи ГТД на землі з мінімальною частотою обертання та тягою (потужністю), коли забезпечуються його стійка робота і задана прийомистість. Польотний малий газ – це усталений режим роботи ГТД з мінімальною частотою обертання, яка допускається та забезпечує потрібну прийомистість і величину тяги з заходом літака на посадку

### **Висновок**

Адаптивність до різних режимів польоту є необхідною для оптимізації продуктивності, збереження пального та забезпечення безпеки в авіаційній індустрії. Інтеграція передових технологій та постійне дослідження у цьому напрямку є важливими для подальшого розвитку експлуатаційних характеристик авіаційних двигунів, і розвитку в цілому.

### **Список використаних джерел:**

1. Документація В.П Герасименко “Теорія авіаційних двигунів”- URL [metod-N78-1.pdf \(khai.edu\)](http://metod-N78-1.pdf(khai.edu))

**UDC 621.45.026:621.452.322 (043.2)**

## **APPLICATION OF AVIATION TFE MODEL OF WORKING PROCESS FOR CONTROLLING THE CHANGES OF ITS TECHNICAL CONDITION**

**Aina Tashchiyeva, Dmytro Mazur**

*National Aviation University, Kyiv*

*Scientific supervisor – Gvozdetkiy I.I, cand. of tech. s., Associate Professor*

Key words: thermodynamic calculation, engine technical condition, aggressive environmental factors.

### **Introduction**

Modern aircraft engines are widely used in different specific atmospheric conditions and especially in aggressive environment. In this case, aircraft engine elements are subjected to the exposure from the following adverse factors as: dusty environment, high humidity level, high concentration of corrosive particles and gases, etc. All the mentioned-above aggressive environmental factors influence not only on the wearing and corrosion process of the engine elements, but also, significantly affects the normal performance of the entire engine working process and its operating parameters change.

As the controlled object was considered a three-spool turbofan engine D-18 (fig.1). For the scientific justification of influence of the aggressive conditions on the engine operation was used

thermodynamic calculation for the further analysis of changes of working fluid parameters such as: compressor efficiency, specific fuel consumption and engine efficiency.

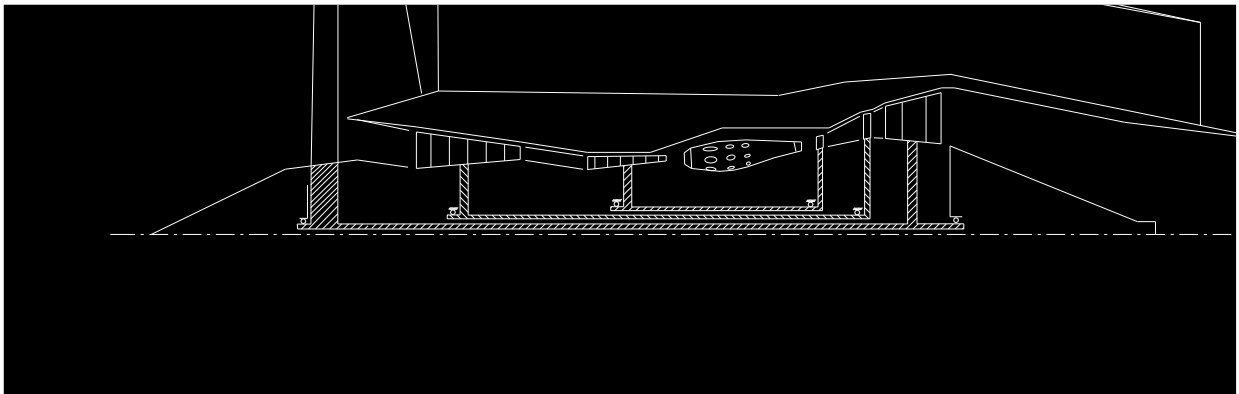


Fig.1 Schematic diagram of the engine D-18

Comparing the obtained results, it can be seen that the decrease of compressor pressure ratio due to the change in its flow part with further degradation, the efficiency of the compressor decreases. Assuming a 1% reduction of compressor efficiency, this would result in a nearly 2% reduction of the entire engine efficiency and a 1% reduction in thrust, resulting in increasing specific fuel consumption. The deterioration of the parameters of the compressor namely is the result of changes of the airfoil geometry of the rotor stages.

### Conclusions

The results of the thermodynamic calculation can be used for the control of the engine technical condition as the changes of some parameters can be observed. This model can be used as a part of the engine health monitoring [3], as the deviation of the operating parameter may be defined as the indicators of the wearing process of the compressor rotor stages, internal surface coating material losses, due to presence of impurities in air which lead to corrosion, wearing, cracking, etc.

### List of reference materials

1. Szczepankowski A., Szymczak J., Przysowa R.: The Effect of a Dusty Environment upon Performance and Operating Parameters of Aircraft Gas Turbine Engines [Public Release]
2. AGARD advisory group for aerospace research & development: Erosion, Corrosion and Foreign Object Damage Effects in Gas Turbines, 1994 – 342 p.
3. Jack Mattingly, Link C. Jaw: Aircraft Engine Controls: Design, System Analysis, and Health Monitoring, 2009 – 363 p.

УДК 629.7.036

## ЕФЕКТИВНІ МЕТОДИ ОХОЛОДЖЕННЯ ЛОПАТОК ТУРБИНИ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

Михайло Артеменко

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Лариса Волянська, д.т.н., доц.*

Ключові слова: теплообмін; масообмін; турбулізація; конвективне, плівкове, пористе охолодження.

Передові технології теплопередачі та охолодження є одним із основних факторів, що підтримують постійну розробку високоефективних газотурбінних двигунів великої потужності. Звичайна технологія управління температурним режимом газової турбіни включає конвективне, плівкове та пористе охолодження поверхні. У цьому огляді розглянуті конкретні технології охолодження, що є передовими інноваційними методами, які, як очікується, дозволять ще більше покращити аеротермомеханічні характеристики газотурбінних двигунів. Методи, що обговорюються, включають примусове конвективне охолодження за допомогою нетрадиційних турбулізаторів і увігнутих поверхонь, вихрових охолоджуючих камер, плівкове охолодження і відбивне охолодження. Розглядається концепція переходу від макроохолодження до мікроохолодження для вдосконалення плівкового охолодження.

Найбільш застосованими зараз є конвективні та конвективно-плівкові системи охолодження. Найбільш ефективний метод конвективного охолодження – струменевий, коли струмені з отворів у проміжній стінці або дефлекторі натікають на поверхню, що протистоїть, і забезпечують високу тепловіддачу в зоні контакту.

В основі плівкового охолодження лежить масообмінний принцип поглинання тепла. Переваги цього способу захисту перед іншими обумовлені збереженням зовнішньої форми поверхні тіла, що захищається, і можливістю підтримки температури поверхні на заданому рівні за допомогою регулювання витрати охолоджуючого повітря.

Однак даний спосіб охолодження викликає сильні збурення потоку на поверхні, що охолоджується, сприяючи турбулізації прикордонного шару, що призводить до підвищення опору тертя на поверхні, і тим самим знижує загальну ефективність [1].

Профіль спинки соплових лопаток сучасних та перспективних газових турбін стає все більш вигнутим, зростає швидкість газу на спинці, збільшується перепад тисків між повітрям, що охолоджує лопатку, та газом, що омиває її. Ці фактори негативно впливають на ефективність плівкового охолодження спинки, що може призвести до її деформації, тріщин

та прогарів (рис.1) [2]. Для виключення даних пошкоджень для лопаток перспективних двигунів розроблена трипорожнинна схема конвективно-плівкового охолодження.



Рис.1. Деформація спинки соплової лопатки

Останнім часом для плівкового охолодження пропонуються фасонні отвори [3]. Більшість отворів нової форми створені на основі концепції віялоподібної форми та двострумнинного плівкового охолодження.

На основі опублікованих робіт були проаналізовані та узагальнені теоретичні та експериментальні дані щодо ефективності різних типів охолодження турбін. Вони представлені на рис.2.

Для охолодження вихідних кромek лопаток газових турбін запропоновано застосування шахового пучка штирково-лункових інтенсифікаторів тепловіддачі, що

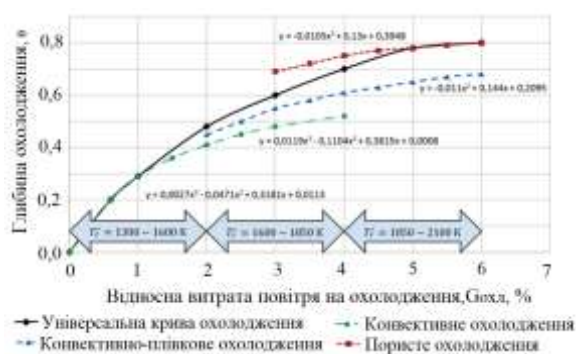


Рис.2. Узагальнення ефективності різних видів охолодження

дозволяють підвищити число Нуссельта порівняно зі штирковими турбулізаторами потоку на 7-13% у діапазоні чисел Re від 20000 до 85000.

В даний час велика увага приділяється відбивному методу охолодження стінок лопаток. Велика перевага цього методу полягає в тому, що коефіцієнт теплопередачі набуває високих значень. За рахунок цього для охолодження потрібна менша кількість повітря, що охолоджує [4].

## Висновок

Виконаний аналіз показав, що концепція комбінування різних способів інтенсифікації теплообміну дозволяє застосувати переваги одних інтенсифікаторів підвищення ефективності роботи від інших, або поєднати позитивні якості способів охолодження з метою досягнення максимального ефекту охолодження.

## Список використаних джерел:

1. Bunker R.S. (2008). Innovative gas turbine cooling techniques/ Transactions on State of the Art in Science and Engineering, Vol 42, pp.199-225.
2. <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-ispolzovaniya-profilirovannyh-otverstiy-perforatsii-dlya-povysheniya-kachestva-plenochno-go-ohlazhdeniya-spinki-soplovyh>

3. Jiangsu Zhang, Shengchang Zhang, Chunhua Wang, Xiaoming Tan. (2020). Recent advances in film cooling enhancement: Chinese Journal of Aeronautics, Vol. 33, Issue 4, pp. 1119-1136. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2019.12.023>.

4. Milovanova V. V., Yaroshenko V. M (2016). New method for cooling gas turbine blades. Scientific Works, Volume 80, Issue 2. Pp. 105-110

УДК 620.97-021.633:621.64(045)

## ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ НА КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЯХ

**Олександр Красношарпа**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Едуард Ясиніцький, к.т.н., доц.*

Ключові слова: компресорна станція, енергетичні ресурси, цикл Ренкіна, робоча рідина.

### Вступ

Сучасна реальність вимагає знаходити нові нетрадиційні рішення щодо максимізації прибутку за рахунок ефективного і повного використання виробничих ресурсів систем трубопровідного транспорту [1]. Проблема оцінювання та підвищення економічної ефективності компресорних станцій в умовах формування ринкових відносин в наш час постала надзвичайно гостро. Для її розв'язання необхідна розробка та науково-методичне обґрунтування нового економічно рентабельного напрямку використання наявних на конкретній компресорній станції енергетичних ресурсів.

### Матеріали та методи

Діючи компресорні станції Газотранспортної системи України перекачують за добу значні об'єми природного газу. Для цієї мети використовуються на більшості компресорних газоперекачувальні агрегати (ГПА) з газотурбінним приводом. В процесі роботи такого агрегату в навколишнє середовище викидаються відпрацьовані гази з температурою 400-450 °С. Крім того в технологічних схемах стиснення природного газу є процеси охолодження різних речовин з виділенням теплоти в навколишнє середовище. Умовно теплоту, яка генерується в різних технологічних процесах, можливо розподілити на високо потенційну і низько потенційну. Джерелом високо потенційного тепла є продукти згоряння палива в газотурбінних установках і в поршневих газомоторних компресорах. Основними джерелами низько потенційного тепла на компресорних станціях є агрегати повітряного охолодження стиснутого газу (АПО газу), агрегати повітряного охолодження масла у системі ГПА (АПО масла), системи кондиціонування приміщень, де розташовані ГПА, та інші.

### Результати

Вторинні ресурси, які генеруються на компресорних станціях, можливо використовувати в двох основних напрямках: - в якості теплової енергії; - в якості



електричної енергії, що найбільш перспективне.

Оптимальним рішенням для генерації електричної енергії є цикл Ренкіна на органічних речовинах (The Organic Rankine Cycle – ORC) [3] (рис 1) [3]. В ORC робочою рідиною є органічний матеріал, який характеризується ніжчою температурою, ніж вода. У низькотемпературних циклах Ренкіна різного призначення використовуються різні робочі речовини (пропан, бутан та їх суміші (ізобутан).

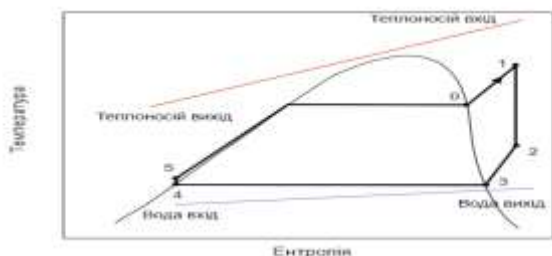


Рис. 1. T-s діаграма ORC циклу

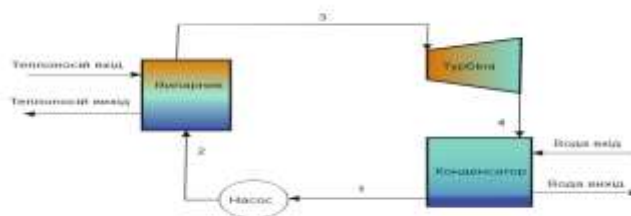


Рис. 2. Основні компоненти ORC- блоку.

Ключовий аспект при розробці систем ORC для даної установки полягає в правильному виборі робочого середовища . Вибір оптимальної органічної рідини підвищує ефективність системи та максимізує отриману енергію з відпрацьованого тепла. Теплофізичні властивості обраного середовища суттєво впливають на рентабельність проекту, розміри використовуваних пристроїв, ефективність розширювача, стабільність всієї системи та її вплив на навколишнє середовище. Однією з найважливіших характеристик органічних рідин є їх низька температура кипіння і низький тиск кипіння при високій молярній масі. Для різних ділянок компресорної стації, де є джерело вторинної теплової енергії, будується індивідуальний ORC – блок (рис. 2). Призначення елементів блоків однакове, але параметри елементів і температура кипіння робочої рідини визначаються локальними умовами джерела.

Блок ORC працює наступним чином. Робоча рідина поглинає енергію від теплоносія у випарнику (точки 2, 3 рис. 1), після чого розширюється в турбіні ( точки 3, 4 рис.1), виконуючи роботу. Потім вона охолоджується та конденсується в конденсаторі (точки 4, 1 рис.1), перш ніж повернутися (1. 2 рис.1) назад у випарник. Червона лінія вказує на джерело відпрацьованого тепла, а синя лінія вказує на теплоносіє.

### Висновки

Математична модель системи та використання програмних комплексів для розрахунків показало суттєві результати по кількості генерації електричної енергії загальною кількістю за сезон від 22 700 МВт год. на двох основних джерелах вторинних ресурсів.

### Список використаних джерел

1.Руднік А.А. Методи підвищення ефективності транспортування газу.- К.: «Кий» ТОВ «Студія-Блюз» . 2005. 96 с.

2. Розгонюк В.В. Довідник працівника газотранспортного підприємства / В.В. Розгонюк, А.А. Руднік, В.М. Коломеев, М.А. Григіль. К.: - ТОВ «Росток». 2001. 1092 с.
3. Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка.-К.: Техніка. 2001.-320 с.

**УДК 621.43.057.3**

## **ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТУРБОРЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ**

**Ілля Юдін**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Терещенко Ю. М., д.т.н., проф..*

Ключові слова: відкритий роторний двигун, розподілена силова установка, електричні двигуни, гібридні двигуни.

Створення двигунів нових схем обумовлено перспективами розвитку літальних апаратів. Воно передбачає вирішення таких завдань: покращення характеристик двигунів за рахунок використання термодинамічних циклів з високими параметрами; використання змінюваних термодинамічних циклів в залежності від умов польоту; використання двигунів безпосередньо для створення підйомної сили крила.

Перспективними напрямками у розвитку двигунів є:

- Схема open rotor або propfan engine.

Відкритий роторний двигун (Open Rotor Engine) є типом турбореактивного двигуна, який має два контроптри (пропелери), розташовані без обшивки або з мінімальною обшивкою. Це відрізняється від традиційних турбореактивних двигунів, таких як турбовентилятори, де контроптри покриті кожухом. Можливі переваги Open Rotor Engine включають більший ККД завдяки більшому конкретному тяговому зусиллю і меншому споживанню палива порівняно з турбовентиляторами. Такі двигуни можуть забезпечити значні економічні та екологічні переваги завдяки своїй ефективності. CFM International запустила RISE engine – нову демонстраційну програму двигуна з відкритою роторною архітектурою [1].

- Концепція розподілення силових установок на літаку.

Розподілена силова установка на літаку (Distributed Propulsion System) - це концепція, в якій тягові двигуни розміщені на кількох точках або поверхнях літака, замість традиційного центрального розташування. Ця концепція може включати в себе використання різних видів двигунів, таких як електричні пропелери, турбореактивні або турбовентиляторні двигуни, розташованих на крилах, хвості, фюзеляжі або навіть на кришці кабіни [2].

- Схема літака з електричним двигуном з вентилятором.

Електричний двигун з вентилятором представляє собою систему, де електричний двигун використовується для приведення в рух вентилятора, який генерує тягу для приводу

повітряного транспорту, такого як літаки або дрони. Але Вартість батарейних технологій залишається високою, що робить електричні літаки дорожчими в експлуатації та придбанні порівняно з традиційними літаками з паливними двигунами [3].

- Літаки з гібридними двигунами

Гібридні двигуни літаків поєднують у собі два або більше джерела енергії, зазвичай внутрішнього згоряння та електричну енергію, для приведення в рух літака. Гібридні системи можуть бути більш ефективними, оскільки комбінують переваги двох різних джерел енергії. Внутрішнє згоряння може бути використане для довгих перельотів, а електричні двигуни - для коротких польотів або для енергозбереження під час злету та посадки. Використання електричних двигунів у гібридних системах може зменшити викиди шкідливих речовин, таких як вуглекислий газ та оксиди азоту, сприяючи зменшенню впливу на довкілля. Електричні двигуни зазвичай мають менший рівень шуму порівняно з традиційними авіаційними двигунами, що може покращити комфорт для пасажирів та зменшити вплив на довкілля. Гібридні системи дозволяють літакам користуватися різними джерелами енергії, що може зробити їх більш гнучкими та менш залежними від конкретного виду палива [4].

### Висновок

Отже, одним з перспективних напрямків є впровадження схеми open rotor або propfan engine, що має потенціал для покращення економічності та екологічних показників літаків. Також розглядаються концепції розподілення силових установок на літаку та використання електричних двигунів, що може призвести до зменшення шуму, покращення ефективності та зменшення впливу на довкілля. Гібридні системи також є перспективним напрямком, оскільки вони поєднують у собі переваги різних джерел енергії та можуть забезпечити більшу гнучкість та ефективність експлуатації.

### Список використаних джерел:

1. Документація по FlightGlobal. URL: <https://www.flightglobal.com/engines/cfm-launches-open-rotor-demonstrator-promising-20-better-fuel-burn-for-mid-2030s-applications/144141.article> (Last accessed: 09.03.2024).
2. Zhang, T., Qiao, G., Barakos, G. N. "Numerical simulation of distributed propulsion systems using CFD" [Text] / T. Zhang, G. Qiao, G. N. Barakos. – Aerospace Science and Technology. – January 2024. – P. 174.
3. McComb, G. "Electric Aircraft Technology" / G. McComb. – CRC Press, 2020 p., 350 c.
4. Costa, R., Pereira, P., Falcão, A. "Electric Flight Technology: The Future of Aviation" / R. Costa, P. Pereira, A. Falcão. – SAE International, 2018 p., 124 c.

УДК. 621. 791. 92

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛОПАТОК ТУРБИНИ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА МЕТОДАМИ ГАЗОТЕРМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ

**Михайло Василик, Володимир Титаренко**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Володимир Мельник, к.т.н., доц.*

Ключові слова: покриття, міцність деталей, лопатка, експлуатація, поверхня виробу.

Перспективним шляхом вирішення проблем вибору та використання матеріалів деталей машин, здатних працювати в екстремальних умовах, при спільній дії високої температури, механічних навантажень й агресивних середовищ, є застосування композиційних матеріалів типу «поверхня деталі-покриття», що дозволяє поєднати захисні, зміцнюючі властивості покриттів з механічною міцністю деталей. Покриття - перспективний спосіб підвищення міцності деталей та їх захисту від впливу теплових потоків та агресивних середовищ. Застосування покриттів суттєво інтенсифікує зростання робочих параметрів конструкцій, машин та обладнання.

Застосування захисних зміцнювальних покриттів – єдине вирішення проблеми забезпечення механічних властивостей деталей, зокрема міцності та твердості. Із застосуванням покриттів відпадає необхідність витрачання легуючих елементів для виготовлення всієї деталі. Використання порошкових матеріалів для покриттів дозволяє варіювати їх хімічним складом і забезпечувати задані механічні властивості покриття та розширювати сферу їх використання.

Особливі складнощі виникають при наявності температурних перепадів під час експлуатації виробів із покриттями. Врахування цього фактора, як правило, значно ускладнює технологічний процес нанесення покриття. У такому випадку доцільним може бути використання методів модифікації поверхневих шарів, які не мають чітко вираженої межі між матеріалом основи і поверхневим шаром виробу. Саме в таких умовах працюють лопатки турбіни авіаційного двигуна.

Розміри лопатки та її маса порівняно невеликі: висота (100 – 200) мм; ширина пера (20 – 50) мм; маса (100 – 200) г. Робоча температура експлуатації становить (900 – 1200) °С. Матеріал взаємодіє із агресивним середовищем, що містить продукти згоряння керосину: O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> та інше.

Зазвичай лопатка виготовляється із жароміцного сплаву на нікелевій основі. Вимоги до властивостей покриття:

- жароміцність за умови температур (900 – 1200) °С;
- мінімальна кількість несучільностей;

- висока міцність зчеплення покриття з основою і міцність матеріалу покриття;
- термостійкість при теплозмінах.

Зазначені вимоги можуть бути виконані як нанесенням покриття, так і модифікацією поверхні. Враховуючи, що лопатка виготовлена із хромонікелевого сплаву, можливо, наприклад, проводити насичення поверхні виробу алюмінієм. Висока температура процесу і активовані атоми алюмінію створюють у поверхневому шарі алюмінідну фазу, що підвищує жаростійкість лопатки. Таким чином, практично повністю задовольняються вимоги до поверхневого шару виробу, хоча температурний режим експлуатації виробу обмежується (900 – 1000) °С. До переваг розглянутого методу модифікації поверхні слід віднести високий коефіцієнт використання матеріалу, спрощену підготовку поверхні виробу, відсутність необхідності наступної обробки покриття. До недоліків – високу енергомісткість процесу, несприятливі умови праці і негативний вплив на навколишнє середовище.

Альтернативним варіантом розглянутому може бути нанесення покриття. Можливість застосування більш складного за хімічним складом матеріалу дає змогу підвищити температурні умови експлуатації виробу до 1200 °С і вище. Принципово для нанесення покриття можуть бути застосовані газотермічні методи, вакуумно-конденсаційні та наплавлення. Найбільш поширеним варіантом є застосування атомарних покриттів, нанесених вакуумно-конденсаційними методами. Експлуатаційним вимогам задовольняють сплави системи Ni-Cr-Al-Y, Ni-Co-Cr-Al-Y.

Практикою встановлена і раціональна товщина покриття, яка лежить у межах (100 – 200) мкм. Покриття зазначеним методом формуються із парової фази, отриманої із компактного матеріалу. Легкість пари елементів матеріалу покриття приблизно однакова, тому вдається максимально зберегти хімічний склад вихідного матеріалу у матеріалі покриття. Необхідні експлуатаційні властивості досягаються шляхом застосування наступної зміцнювальної обробки (дифузійний відпал та дробоструминний наклеп). До недоліків методу слід віднести високу енергомісткість, низький коефіцієнт використання матеріалу, високі вимоги до вихідного стану поверхні лопатки, необхідність складних систем контролю та ін. Перевагою методу є сприятливі умови ведення процесу (у вакуумній камері) і відносно незначний вплив на екологію навколишнього середовища. Високі економічні витрати компенсуються значним покращанням експлуатаційних характеристик авіаційних двигунів. Впровадження технологій нанесення газотермічних покриттів і наплавлення знаходиться у стадії дослідного застосування через труднощі отримання необхідних експлуатаційних характеристик, хоча методи привабливі своєю простотою, економічністю та продуктивністю.

УДК 629.7.036

**ПІДВИЩЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ГТД****Ярослав Бушин, Денис Петрина**  
*Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник – Галина Нікітіна*

Ключові слова: турбіна, температура газу, повітряна система охолодження, конвективно-плівкове охолодження.

Термогазодинамічна досконалість ГТД визначається термодинамічними параметрами циклу ГТД та параметрами ефективності роботи вузлів ГТД. Підвищення параметрів робочого процесу (сумарної степені підвищення тиску робочого тіла, температури газу на вході в турбіну, степені двоконтурності) дає можливість підвищити ефективність ГТД.

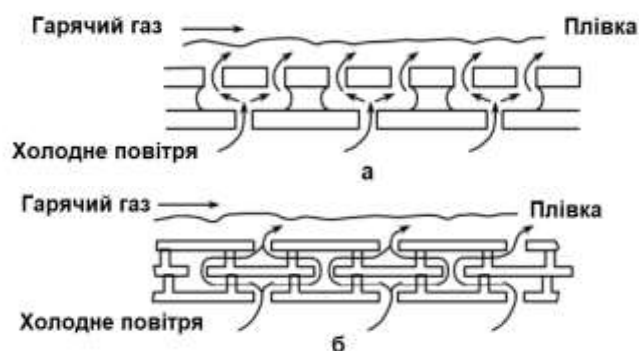
Забезпечення високої степені підвищення тиску робочого тіла досягається конструктивними методами. Підвищення температури робочого тіла на вході в турбіну забезпечується використанням жароміцних і жаростійких матеріалів, спеціальних покриттів деталей турбіни, ефективних систем їх охолодження. Існують обмеження щодо можливості підвищення температури газу, що обумовлено максимальною температурою горіння вуглеводневих палив (для реактивного палива – 2400К). Досягнення такої температури робочого процесу не може бути реалізовано сучасним рівнем технологій виробництва матеріалів та систем охолодження, крім того, потребує суттєво високих значень степені підвищення тиску.

Максимальна температура газу в сучасних і перспективних двигунах досягає 1600-2000К, при цьому температура лопаток турбіни – 1250К [1]. За такими умовами прийнятний ресурс роботи двигуна можливий тільки з використанням високоефективних систем охолодження лопаток, або виготовленням лопаток з матеріалів, що не потребують охолодження.

Використання повітряних систем охолодження за наведених температурних умов можливе зі вдосконаленням конвективно-плівкового принципу охолодження лопаток, при цьому максимальна температура газу робочого процесу двигуна досягає 1800-1850К. Використання принципово нових схем охолодження, наприклад, транспіраційного і близького до нього двостінного охолодження лопаток можливе за температурою газу більше 2000К. Транспіраційне (пористе) охолодження забезпечується проходженням повітря через пористу стінку. Транспіраційне охолодження є високоефективним, але має суттєвий недолік - забруднення пор, яке знижує інтенсивність охолодження. В двостінному охолодженні використовується комбінований принцип охолодження: конвективно-плівковий

і інжекційний. В стінках лопатки утворюється додатковий контур охолодження – інжекційний, що дає можливість отримати більші коефіцієнти тепловіддачі [2] зі внутрішньої сторони лопатки і підвищити інтенсивність теплопередачі в цілому. Двостінне охолодження за ефективністю займає проміжне положення між конвективно-плівковим і транспіраційним.

Існує безліч схем організації двостінного охолодження, наприклад, Transply cooling (рис. 1а), Lamilloy, яка розроблена фірмою Rolls-Royce [3] (рис.1б). Практичне використання двостінного охолодження залежить від технологічних можливостей виробництва таких конструкцій.



а – трансплай; б – ламіллой

Рис.1 Схеми охолодження двостінних лопаток турбіни

### Висновок

Повітряні системи охолодження з двостінною схемою охолодження лопаток турбіни дозволяють забезпечити підвищення температури газу на вході в турбіну до 2000К і вище.

Двостінне охолодження знижує витрату повітря на охолодження турбіни.

Двостінна лопатка, порівняно з аналогічною за габаритами лопаткою з конвективно-плівковим охолодженням, має меншу вагу і більший ресурс роботи.

Використання двостінного охолодження дозволяє уникнути недоліків транспіраційного охолодження.

### Список використаних джерел

1. Таврін В.А., Колесник Є.В. Аналіз шляхів підвищення температури газів перед турбіною сучасних газотурбінних двигунів//Системи озброєння і військова техніка. 2020. №1(61). С. 67-73.
2. Халатов А.А., Борисов І.І., Кулішов Б.І. Способи внутрішнього охолодження лопаток газових турбін сучасні та перспективні//Теплофізика та теплоенергетика. 2022. Т.44, №4. С.14-21.
3. Evaluation technique for bonded duel wall static and roitating Airfoil Materials: pat. 8215181 B1 USA №12/553,209, publ. 10.07.12. Rolls-Royce North American Technologies.

УДК 629.7.036

## ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОБМІНУ В СИСТЕМАХ ОХОЛОДЖЕННЯ ГТД

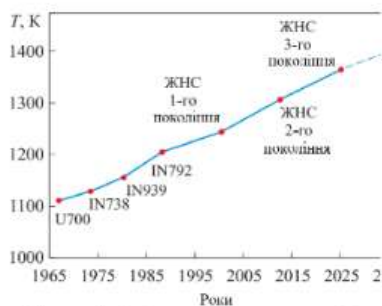
Денис Донець

Національний авіаційний університет, Київ

Науковий керівник – Лариса Волянська, д.т.н., доц.

Ключові слова: система охолодження, газова турбіна, температура

Одним із найважливіших параметрів термодинамічного циклу авіаційних ГТД є температура газу перед турбіною ( $T_T$ ). Її підвищення є головною тенденцією у вдосконаленні робочого процесу авіаційних ГТД. Темп її зростання пов'язаний з розвитком матеріалознавства та технології, дослідженням у галузі газової динаміки та теорії теплообміну з розробкою системи повітряного охолодження лопаток [1]. Для надійної роботи середня температура металевих лопаток має перевищувати 900...1000°C, а

Рис. 1. Динаміка росту  $T_T$  жароміцних нікелевих сплавів

максимальний рівень - 1100°C. Незважаючи на досягнення у створенні жароміцних матеріалів охолодження турбін є найбільш дієвим засобом у освоєнні високих температур газу (рис.1)



Рис.2. Прогари соплової лопатки

[2]. Відповідно до [3] у двох із кожних трьох випадків відправки в ремонт двигунів сімейства PW4000 причиною є прогари та тріщини лопаток турбіни (рис.2).

Незважаючи на свою популярність,

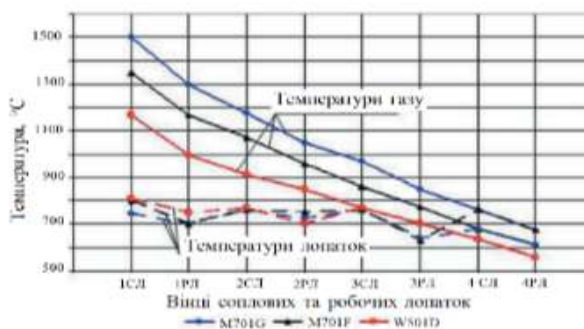


Рис.4. Температури газу та металу лопаток турбіни для різних ГТД

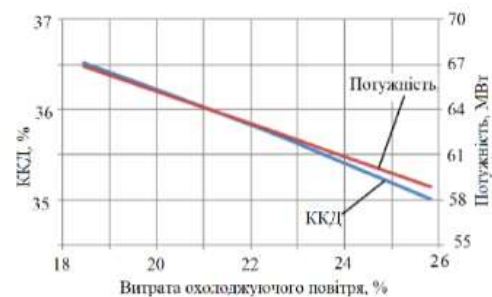


Рис.3. Вплив витрати охолоджуючого повітря на всі ступені турбіни на економічність ГТЕ-65

повітряне охолодження має недоліки. Повітря, що використовується для



охолодження турбін, має обмежений холодоресурс, величина якого визначається температурою повітря за компресором і питомою теплоємністю повітря. Крім того, при повітряному охолодженні відбір повітря на охолодження збільшує потужність турбіни за рахунок підвищення температури газу, а з іншого боку - зменшує, тому що частина повітря виключається з процесу розширення газу в турбіні. Так, при відборі повітря більше 10 ... 15% застосування охолодження призводить до зниження ККД ГТД в цілому через зниження ККД турбіни і втрат на стискування і прокачування повітря, що охолоджує (рис.3). Вважається, що кожен відсоток витрати охолоджуючого повітря на 1,0-1,5% знижує ККД.

Для оцінки ефективності повітряного охолодження лопаток застосовується коефіцієнт глибини охолодження:

$$\theta = \frac{T_2^* - T_1}{T_2^* - T_{\text{охл.пов.}}}$$

де  $T_2^*$ ,  $T_1$ ,  $T_{\text{охл.пов.}}$  - температури газу перед ступенем, поверхні лопатки та охолоджуючого повітря. В даний час у охолоджуванних робочих лопаток високотемпературних турбін при  $T_2^*$  1550 ... 1700 К з конвективно-плівковим охолодженням  $\theta$  досягає значення 0,4, при температурах 1400 ... 1450 К з конвективним охолодженням  $\theta$  становить 0,3.

Як показує вітчизняний та зарубіжний досвід, підвищення  $T_2$  в останні 30 років відбувалося переважно за рахунок підвищення глибини охолодження. На рис.4 представлені дані щодо температур газу та середніх температур лопаток газотурбінних двигунів, розроблених фірмами «Міцубісі» та «Вестингауз» [4]. При підвищенні з 1160 до 1500 ° С температура металу лопаток залишилися на колишньому рівні.

**Висновок.** Оскільки лопатки турбін високого тиску ГТД працюють при все більш високих температурах газу, вдосконалення системи їх охолодження та підвищення її ефективності актуальне і має важливе наукове та практичне значення.

#### Список використаних джерел:

1. <https://naukatehnika.com/pd-14-temperatura-gaza-pered-turbinoj.html>
2. Pismennyi V.L. Methods and techniques used in increasing gas temperature in front of the gas turbine engine turbine/Journal of Mechanical Engineering. 2023. №6 (759). Pp. 108-118.
3. <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-sistemy-ohlazhdeniya-soplovyh-lopatok-vysokonagruzhennyh-gazovyh-turbin>
4. Kortikov N. Optimization of the cooling system of the nozzle blade of an energy gas turbine/ Materials Science. Power Engineering, Vol. 27, No. 4, 2021. Pp. 85–95.

УДК 629.02

## ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНОБУДУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ, ПОВ'ЯЗАНІ З АВІАЦІЙНИМИ ДВИГУНАМИ ТА АВІАЦІЄЮ

Андрій Данильченко

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Олександр Якушенко, к.т.н., доц.*

Ключові слова: двигунобудування, розвиток, авіація, екологія, перспективи.

Сучасний світ ставки на швидкість та мобільність, зростаючу зацікавленість у розвитку авіації. Проте, цей розвиток несе за собою виклики, пов'язані з впливом авіаційного транспорту на навколишнє середовище. У даному дослідженні ми розглянемо перспективи в авіаційному двигунобудуванні та його вплив на екологію, зосереджуючись на нових технологіях, що спрямовані на підвищення ефективності та зменшення викидів. Наша робота визначає завдання, які ми плануємо вирішити, та має на меті висвітлити можливості розвитку, які стоять перед галуззю.

Перспективи в авіаційному двигунобудуванні включають розвиток нових технологій та інновацій, спрямованих на підвищення ефективності, зменшення викидів та поліпшення екологічних характеристик авіаційних двигунів.

Основні напрямки розвитку включають: Підвищення ефективності та тяги: нові конструкції та матеріали, техноогії виробництва, управління термодинамікою, споживання пального. Електрифікація: гібридні системи, літаки з електричними двигунами, технології акумуляторів. Використання нових палив: водень, біопалива, синтетичні палива. Зменшення шуму: динамічне керування швидкістю вихідних газів, зменшення обертальних швидкостей, інтеграція тихих технологій. Екологія та сталий розвиток: екологічні стандарти, системи видалення викидів, стимулювання використання екологічно чистих технологій, ефективне використання та утилізація ресурсів[4].

Також одними з основних напрямів вдосконалення організації функціонування вітчизняної авіаційної науки і технологій є створення ефективної системи взаємодії між науковими установами та промисловістю й удосконалення механізму управління науковими дослідженнями[2]. Головними напрямами вдосконалення механізму управління науковими дослідженнями робіт із пріоритетних напрямів розвитку авіаційної науки і авіаційних технологій у сучасних умовах є використання моделі комплексного науково-технологічного проекту та відкриття досліджень у сфері системної інтеграції технологій[1]. Комплексні науково-технологічні проекти являють собою науково-дослідні роботи, що включають у себе різні види наукових досліджень (фундаментальні та пошукові дослідження, прикладні

дослідження, експериментальні дослідження), а також (за необхідності) супутні роботи (дослідно-конструкторські роботи, технологічні роботи), спрямовані на досягнення загальних цілей і вирішення загальних завдань[3].

### **Висновок**

Дослідження перспектив в авіаційному двигунобудуванні та екології, пов'язаної з авіаційними двигунами та авіацією, свідчить про перехід до екологічно чистих технологій в галузі. Результати дослідження стимулюють пошук інновацій та технологічних рішень, спрямованих на забезпечення сталого розвитку авіації, зменшення впливу на навколишнє середовище та підвищення загальної ефективності літаків. Також забезпечити значний внесок вітчизняного авіабудування у національну безпеку України, підтримати стабільну прибутковість підприємств літакобудівної галузі.

### **Список використаних джерел**

1. Ромусік Я. Перспективи розвитку машинобудування України на тлі світових тенденцій. Економіст. 2018.
2. Баришников І. Замкнуте коло (проблеми українського авіаційного двигунобудування). Авиация и время. 2014.
3. Борисенко П.А. Проблеми реформування та розвитку авіаційної промисловості України. Економіка та держава. 2018
4. Перспективи розвитку газотурбінної техніки на основі досягнень в авіаційному двигунобудуванні <https://journal-me.com/archive-ukr/vol20-2017-iss4-paper2/>

УДК 629.735

## **ПРИЧИНИ ЗНИЖЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК**

**Денис Довгалюк**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Олександр Якушенко, к.т.н., доц.*

Ключові слова: газ, ГТУ, компресор, ефективність, втрати, потужність, паливо, обладнання

Зниження потужності газотурбінних установок (ГТУ) може бути викликане різноманітними причинами, і часто потрібно провести детальний аналіз для визначення конкретного фактора. Тут наведені деякі загальні причини зниження потужності ГТУ:

### **1. Знос та старіння обладнання:**

Старіння та знос турбін, компресорів та інших елементів може призводити до зниження ефективності та потужності.

### **2. Аеродинамічні втрати:**

Втрати ефективності компресора або турбіни через аеродинамічні аномалії, забруднення або деформації лопаток.

### **3. Відновлення тиску газу:**

Відновлення тиску газу на вході у турбіну може бути викликане забрудненням або змінами у газовому потоці.

#### **4. Забруднення повітряного фільтра:**

Забруднення воздушного фільтра може знизити подачу повітря до ГТУ, що призводить до втрат потужності.

#### **5. Проблеми з паливом:**

Проблеми з якістю або подачею палива можуть впливати на згоряння та ефективність.

#### **6. Контроль і регулювання:**

Несправності у системах контролю та регулювання можуть призводити до нестабільності та втрат потужності.

#### **7. Температурні обмеження:**

Перевищення допустимих температур може вимагати зниження навантаження на ГТУ для запобігання пошкодженню.

#### **8. Збільшення опору обладнання:**

Збільшення опору у трубопроводах чи обладнанні також може впливати на ефективність.

Це лише загальні причини, і конкретна ситуація може вимагати більш детального аналізу.

### **Висновок**

Модернізація газотурбінної установки включає заміну ключових компонентів, оптимізацію згоряння, підвищення тиску компресора та використання передових технологій для підвищення потужності та ефективності.

#### **Список використаних джерел:**

1. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. USE;
2. Gas Turbine World. [Електронний ресурс]. –Режим доступу: <https://www.runh.com/>;
3. International Journal of Gas Turbine, Propulsion and Power Systems. [Електронний ресурс]. –Режим доступу: <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jgpp/-char/en>
4. Energy Conversion and Management. [Електронний ресурс]. –Режим доступу: [https://www.cargoalue.com/industries-we-serve/power-and-energy?utm\\_source=googleads&utm\\_medium=paid\\_search&utm\\_campaign=generic&utm\\_content=industries-power&gclid=CjwKCAiAp5qsBhAPEiwAP0qeJhQmFIAqnzsHzh2lYkXv4RVZOYfLBI0AIXwBgIPhl\\_kp0DoBcALz4BoC2bAQA\\_vD\\_BwE](https://www.cargoalue.com/industries-we-serve/power-and-energy?utm_source=googleads&utm_medium=paid_search&utm_campaign=generic&utm_content=industries-power&gclid=CjwKCAiAp5qsBhAPEiwAP0qeJhQmFIAqnzsHzh2lYkXv4RVZOYfLBI0AIXwBgIPhl_kp0DoBcALz4BoC2bAQA_vD_BwE)

**КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ, СУЧАСНІ МАТЕРІАЛИ ТА ТРИБОТЕХНОЛОГІЇ В  
МАШИНОБУДУВАННІ**

УДК 678.791:620.178

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛОПАТОК ТУРБИНИ  
АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА МЕТОДАМИ ГАЗОТЕРМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ****Михайло Василик, Володимир Титаренко**  
*Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник – Володимир Мельник, к.т.н., доц.*

Ключові слова: лопатки турбіни, газотермічне напилення, механічні властивості.

Одним зі шляхів поліпшення експлуатаційної довговічності теплонавантажених виробів гарячого тракту турбін і більш ефективної роботи газотурбінних установок (ГТУ) є застосування теплозахисних покриттів -ТЗП (Thermal Barrier Coating). У поєднанні з внутрішнім охолодженням ТЗП забезпечують зниження температури на поверхні базового сплаву, а отже, дозволяють підвищити температуру газу на вході в турбіну, збільшивши при цьому її коефіцієнт корисної дії (ККД), а також сприяють захисту від зовнішнього ерозійного впливу і запобігають деградації металу під впливом зовнішнього газового середовища, термічних і залишкових напружень.

Міжнародний досвід останніх десятиліть, особливо в галузі авіації, підтвердив доцільність застосування електронно-променевого осадження у вакуумі (electron beam-physical vapor deposition - EB-PVD) для отримання теплозахисних керамічних покриттів зі стовпчастою досить щільною структурою сформованих кристалітів. Саме така особливість структури забезпечує запас довговічності керамічних покриттів при змінних термоциклічних навантаженнях в процесі експлуатації. Процес формування електронно-променевих теплозахисних покриттів на жаростійкому зв'язуючому прошарку опанували в ІЕЗ ім. Є.О. Патона. Подальший успішний розвиток технології позначився на формуванні регулярного термічно вирощеного оксидного шару (TGO) на межі з металевим прошарком у процесі осадження кераміки - це було розроблено, впроваджено та сертифіковано завдяки зусиллям українських та американських фахівців «Pratt & Whitney-Paton». Спільне українсько-американське підприємство «Pratt & Whitney-Paton» на початку своєї діяльності увійшло у виробничу та інтелектуальну кооперацію з компанією «Pratt & Whitney», яка разом з британською компанією «Rolls-Royce» і американською «General Electric» належить до «великої трійки» виробників авіадвигунів. Вже через рік після заснування компанії в Києві почалося виробництво високотехнологічного електронно-променевого устаткування для американських партнерів, яке поетапно розміщувалося і модернізувалося в США та Сінгапурі. У 1998 р. на лопатки першого ступеня авіаційного двигуна PW 4000, окремі серії яких призначені для Airbus A300-600, Airbus A310-300, Boeing 747-400, вперше нанесли керамічне електронно-променеве покриття в ДЦ «Pratt & Whitney- Paton» у Києві. Зараз в активі підприємства -

формування покриттів на компоненти авіаційних двигунів CF-6 виробництва «GE Aviation» для Airbus A300 / 310/330, Boeing 747, Boeing 767; CFM-56 виробництва CFM International (спільне підприємство компанії Safran і американської «General Electric») для Airbus A319 / 320/321 і Boeing 737. За останні тринадцять років покриття було успішно нанесено на більш ніж 280 тис. лопаток і 18 тис. кілець допоміжних силових установок APU 131-9 Honeywell [1].

Високий рівень підприємства підтверджено сертифікатами ISO 9001, AS 9100, ISO 14001, FAA (Federal Aviation Administration), NADCAP (National Aerospace and Defence Contractors Accreditation Program), повторне підтвердження яких здійснюється на регулярній основі. У компанії цілеспрямовано зберігається високий рівень організації виробництва, який був закладений американськими партнерами. У 2009 р. «Pratt & Whitney-Paton» досяг Срібного рівня в системі ACE (Achievement Competitive Excellence) — Досягнення конкурентних переваг в межах United Technologies Corporation, а «Paton Turbine Technologies» продовжує підтримувати роботу усіх ключових елементів системи донині.

### **Висновок**

Нині в «Paton Turbine Technologies» методом електронно-променевого осадження у вакуумі отримують теплозахисні керамічні покриття на різних типах базових сплавів і металевих прошарках. Сьогодні ТЗП наносять на велику номенклатуру робочих і соплових лопаток, виготовлених із жароміцних нікелевих сплавів рівновісної, спрямованої кристалізації і монокристалічних сплавів різних генерацій, наприклад, MAR M-247, CMSX-4, PWA-1484, Rene-5, CM-186LC, IN- 939, ЖС-32 ЖС-36 та ін. Як сполучні застосовуються металеві шари систем MeCrAlY (+ Hf, Si), сформовані методами EB-PVD, високошвидкісним газополуменим напиленням в кисневмісному середовищі (HVOF), плазмового напилення в низькому вакуумі (LPPS), алюмінідні NiAl і платиноалюмінідні (Pt, Ni) Al покриття. Крім того, більшість з них отримують зараз у Києві.

У стратегії розвитку «Paton Turbine Technologies» відображена цілеспрямована диверсифікація для створення виробничого комплексу, який допомагає отримувати покриття різного виду або їхніх систем - вони використовуються для компонентів гарячого тракту турбін газотурбінних двигунів. Склад та спосіб отримання металевих покриттів обираються залежно від їхніх функціональних особливостей і типу базового сплаву компоненту, на який воно наноситься. Важливо відзначити, що випробування на термоциклічну довговічність зразків з покриттями показали, що деякі системи теплозахисних покриттів забезпечують довговічність понад 3700 термоциклів при максимальній температурі 1100 °С.

### **Список використаних джерел**

1. Сучасна електрометалургія. 2020. Міжнародний науково-теоретичний та виробничий журнал Вип.1.с.59-64

УДК 623.74.746-519

**КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ У КОНСТРУКЦІЯХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ****Ярослав Задорожний, Артур Ткачук**  
*Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник - Олег Шевченко, к.т.н., доц.*

Ключові слова: волокно, вуглепластик, склопластик, органопластик, безпілотні літальні апарати (БПЛА).

Широкий спектр властивостей композитних матеріалів визначає їх перспективність у розробках авіаційної техніки. Складно уявити собі виробництво БПЛА без використання вуглеволокна, епоксидної смоли чи їм подібних матеріалів. У цій роботі розглянуто використання найпоширеніших композитних матеріалів в елементах конструкцій БПЛА.

Вуглецеві волокна надають конструкціям високу жорсткість при малій вазі, тим самим відкриваючи більше можливостей у виготовленні БПЛА. Залежно від вихідної сировини та режимів виготовлення випускаються кілька класів вуглецевих волокон, що відрізняються міцністю (від 3 ГПа до 4.5 ГПа) та модулем пружності (від 100 ГПа до 450 ГПа). Перевагами є високі механічні і термічні характеристики, а також низька питома вага. До недоліків можна віднести складність виготовлення та низьку стійкість до ударних навантажень[1].

Використання скловолокна в композитах значно підвищує міцність при розтязі і згині, твердість, корозійну, тепло- і ударостійкість. З недоліків можна виділити крихкість, що під час технологічних операції зумовлює значне подрібнення волокна. Поглинута поверхнею скловолокна волога має негативний вплив на їх міцність. Також недоліком скловолокна є відносно низький модуль пружності, що може обмежувати можливості їх застосування[1,2].

Арамідні волокна мають високі характеристики міцності, високу теплостійкість, низьку горючість. Важливими перевагами цього матеріалу є також стійкість до зносу, ударостійкість та хороші демпфуючі властивості. Саме тому, органопластики, тобто композити на основі арамідних волокон, можна використовувати для покриття вразливих елементів БПЛА. Арамідні волокна мають добрі діелектричні властивості і низький коефіцієнт термічного розширення. Недоліком даних волокон є низька міцність в поперечному напрямку, що знижує показники міцності при стисненні і зсуві композитних матеріалів. Крім того, вони чутливі до дії вологи. Кевлар - це торгова назва арамідного волокна, що має міцність у п'ять разів більшу від сталі[1,3].

Самі склопластики в свою чергу виділяються низькою собівартістю, високою питомою міцністю при розтязі, стисненні і згині, високою термо- і ударостійкістю, діелектричними характеристиками. Склопластики в міру високої радіопрозорості використовують для виготовлення обтічників, що захищають антени від механічних і атмосферних впливів[1,2].

В свою чергу вуглепластики отримали більш універсальне застосування у виготовленні БПЛА. Завдяки великій жорсткості, міцності, вони використовуються для виготовлення таких високонавантажених деталей, як лопатки вентилятора, оперення, елерони, обтічники, а також каркас БПЛА. Вуглепластики мають низький коефіцієнт лінійного теплового розширення, і, окрім того, вони теплопровідні, що сприяє більш рівномірному розподілу залишкових напружень у матеріалі. До недоліків вуглепластиків можна віднести високу вартість[1].

Для температур 200-300°C дешевше використовувати склопластик і навіть вуглепластик, попри його дороговизну. Також варто зазначити, що на противагу склопластикам вуглепластики, мають вищу міцність і жорсткість[1,3].

Вітчизняні БПЛА “Грім” та “Лелека-100” виконані з скло- та вуглеволокна[4,5]. При виготовленні українського БПЛА А1-СМ “Фурія” використовуються кевлар, скло- та вуглецеве волокно[6]. На турецькому Bayraktar TB2 корпус виготовлений з вуглецевого волокна, а американський RQ-4 має крило повністю виготовлене з вуглепластика та хвостове оперення також зроблене з композитних матеріалів[7,8].

### Висновок

В роботі представлені сучасні композитні матеріали, а саме вуглепластики, склопластики та органопластики, які використовуються у конструкціях БПЛА. Наведені характеристики волокон даних композитних матеріалів, особливості їх застосування, а також представлені їх переваги та недоліки. Також надані приклади використання композитних матеріалів у конструкціях різних відомих сучасних БПЛА.

### Список використаних джерел:

1. Савчук П.П., Кашицький В.П., Мельничук М.Д., Садова О.Л. КОМПОЗИТНІ ТА ПОРОШКОВІ МАТЕРІАЛИ : рукопис. Луцьк : ФОП Теліцин, 2017. 368с.
2. Композити зі скловолокна. URL: <http://m.ua.injectmould.com/news/glass-fiber-composites-although-development-i-32378505.html>
3. Які тканини використовуються у композитному виробництві. URL: <https://composites.com.ua/blog/yaki%20tkanyny%20vykorystovuvaty%20dlya%20kompozytiv/>
4. Грім (БПЛА). URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Грім\\_\(БПЛА\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Грім_(БПЛА))
5. Лелека-100. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Лелека-100>
6. А1-СМ Фурія. URL: <https://athlonavia.com/uk-furia/>
7. Bayraktar TB2. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Bayraktar\\_TB2](https://uk.wikipedia.org/wiki/Bayraktar_TB2)
8. RQ-4 Global Hawk. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/RQ-4\\_Global\\_Hawk](https://uk.wikipedia.org/wiki/RQ-4_Global_Hawk)



УДК 621.8:629.02

**ГЕНЕРАЦІЯ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ З ЧЕРВ'ЯКОМ  
ОПУКЛО-УВІГНУТОГО ПРОФІЛЮ****Антон Ладик***Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник – Олександр Башта, к.т.н., доц.*

Ключові слова: черв'ячна пара, параметри витку черв'яка, кругогвинтова поверхня, твірне коло, черв'як опукло-увігнутого профілю

**Вступ.** Робота черв'ячної пари відбувається в умовах рідинного тертя. Основним фактором, який впливає на гідродинамічний тиск плівки масла є кут між швидкістю  $\bar{V}$  відносного руху ланок і дотичної до лінії контакту. Несуча здатність масляного клина максимальна, коли цей кут дорівнює  $\pi/2$ . Завданням було вибрати такі параметри зачеплення, щоб кут був близький або дорівнював цій величині.

**Результати.** Досліджено вплив двох параметрів витків черв'яка на форму контактних ліній. Вважаємо, що витки черв'яка є кругогвинтовою поверхнею.

По мірі збільшення кута між торцевою площиною черв'яка і площиною твірного кола змінюється розташування контактних ліній. Необхідно зазначити, що в реальній черв'ячній передачі будуть використовуватися лише частини контактних ліній, оскільки профіль черв'яка окреслено дугою кола обмеженою за довжиною.

Частина кругогвинтової поверхні, розташованої поза початковим циліндром  $R_o$ , виконується опуклою, а та частина, яка розташована всередині початкового циліндра - увігнутою. Характер розташування контактних ліній на обох частинах поверхні витка різний. Так, наприклад, на голівці профілю  $R_1 \leq R \leq R_e$  контактну лінію можна використовувати цілком, оскільки вона має тут напрямок, близький до перпендикулярного з вектором швидкості  $\bar{V}$ . На ніжці витка  $R_i \leq R \leq R_1$  оптимальний характер розташування контактних ліній зосереджується поблизу початкового діаметра  $R_1$ , але наближаючись до кола западин  $R_i$  розташування контактних ліній значно погіршується. Під час профілювання черв'яка профіль витка слід обмежити так, щоб за будь-якого кута повороту  $\varphi_1$  контактні лінії розташовувалися оптимально. Причому використовувати доцільно і опуклу частину поверхні, і увігнуту.

Зі збільшенням значень  $r$  від 7 мм до 24 мм форма контактних ліній значно покращується, а при подальшому зростанні  $r$  – починає погіршуватися. Аналіз усіх отриманих контактних ліній показує, що діапазони оптимальних значень  $r$ , виражені в частках модуля, лежать у межах:

для головки витка  $r=(2,5,3) m$ ; для ніжки витка  $r=(3,3,5) m$ .

Таким чином, для отримання оптимального розташування контактних ліній на черв'яку твірне коло має лежати в торцевій площині черв'яка та мати радіус  $r$  у межах  $r=(2,5,3,5) m$ . При цьому профіль витка потрібно виконувати опукло-увігнутим. З технологічної точки зору профілювання черв'яка із заданим торцевим профілем є досить складною операцією. Набагато зручніше виготовляти черв'як, коли відомий його профіль в осьовому або нормальному перерізах. З огляду на те, що розміри робочої ділянки профілю завжди обмежені та мають порівняно малу величину, прийнемо таке припущення: профіль витка черв'яка, що складається з дуг кіл радіусом  $r=(2,5,3,5) m$ , задається в осьовому перерізі черв'яка. На підставі цього будуюмо вихідні контури черв'яка.

На рис. 1 представлено один із можливих варіантів вихідного контуру черв'яка з опукло-увігнутим профілем витків. Цей контур відповідає осьовому перерізу черв'яка. Робочий профіль витка складається з двох ділянок: опуклої головки  $r_1=2,5 m$ , ніжка не має прямолінійної ділянки, а вся окреслена дугою кола  $r_2=3 m$ , центр якої зміщений щодо початкового циліндра черв'яка. Це дещо спрощує технологію його виготовлення і контролю.

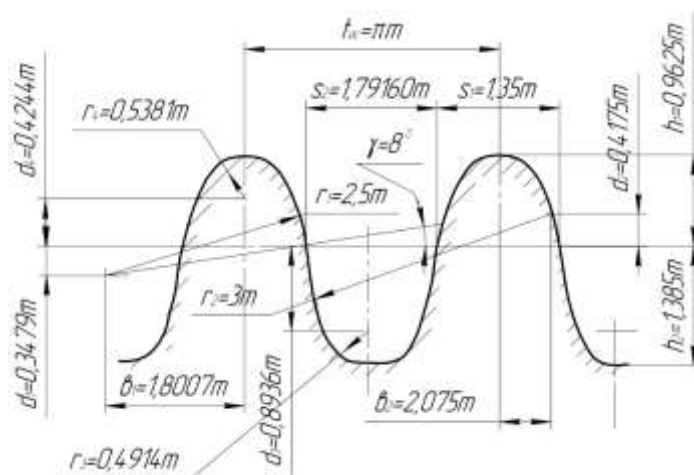


Рис. 1. Осьовий профіль черв'яка

### Висновки

Досліджено вплив параметрів кругогвинтової поверхні витків черв'яка на характер контактної лінії. Доведено доцільність застосування черв'ячної передачі з черв'яком опукло-увігнутого профілю.

### Список використаних джерел:

1. Р.Тkach, Р.Нosko, G.Boyko, O.Bashta, A.Bashta / Design of worm gears with optimal geometric parameters based on minimization of looses in gearing // Проблеми тертя та зношування, 1 (78).- 2018. – pp.75-84.

## СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ АНТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ СТАЛІ В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ

**Олег Лелюшок**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Керівник – Володимир Повгородній, к.т.н., доц.*

Ключові слова: кузов автомобіля, корозія, катафорезне покриття, гаряче цинкування.

**Вступ.** На сучасному етапі розвитку, автомобілі стали невід'ємною частиною нашого побуту – вони забезпечують комфорт пересування людей, та вантажів, виступають одним з рушіїв розвитку економіки.

Сучасні реалії розвитку промисловості, та потреби споживачів продукції автомобілебудування вимагають від виробників постійного вдосконалення продукції в плані довговічності сучасного автомобіля. Одним з факторів, які суттєво впливають на строк користування автомобілем є ресурс його основного елемента – кузова, який представляє собою частину автомобіля, призначену для розміщення пасажирів та вантажу, та на який активно впливає навколишнє середовище [1].

**Матеріали та методи.** Виробництво автомобільних кузовів відбувається, як правило зі сталевих листів низьковуглецевої сталі, методом штамповки, і подальшого точкового зварювання елементів в єдину конструкцію, якій необхідно надати відповідний антикорозійний захист [2]. Роботи по дослідженню різного роду матеріалів, та доцільності їх застосуванні при виробництві кузовів проводились вітчизняними спеціалістами [3]. Часто виробники використовують алюмінієві, магнієві сплави, композитні матеріали, але це в свою чергу впливає на вартість. На корозійну стійкість впливає ступінь легування сталі, але більш доцільно використовувати захисні покриття для запобігання корозії, основні з них розглянемо нижче.

**Фосфатування** - хімічний процес утворення плівки фосфатів на поверхні деталей, шляхом занурення в ванну, що містить розчини фосфорнокислих солей марганцю, цинку, заліза і вільної фосфорної кислоти з добавками [4]. Товщина шару може бути 2-50 мкм, та залежить від структури покриття.

Метод **гарячого цинкування**, з товщиною покриття 20-100мкм, що забезпечує більш тривалий захист від корозії, такий використано при виробництві моделі J7 виробника JAC. В процесі кузов занурюється в ємність із розплавленим цинком з температурою близько 450 °С, очищений метал вступає в реакцію та утворює 20мкм. покриття. [5]. Основний метал повинен бути очищений від можливих окалин, забруднень, протравлений (зазвичай хлоридною кислотою) та профлюсований [6].

Деякі виробники застосовують метод катафорезного ґрунтування кузовних деталей, та деталей підвіски [7]. Під впливом електричного поля частинки ґрунту притягуються до всієї поверхні деталі рівномірним шаром, заповнюючи будь-які нерівності. Підготовлений елемент поміщають в катафорезну ванну, при цьому емульсію, пасту та демінералізовану воду завантажують заздалегідь і стежать за її однорідністю. При подачі напруги здійснюється заряд катафорезного ґрунту з подальшим формуванням захисного шару завтовшки до 20-40 мкм. Сила струму на 1м<sup>2</sup> - 10 А. У середньому на кузов надходить сила струму від 350 до 700 А. Напруга 160 - 400 В. Операція триває 2-3 хв. Робоча температура ванни 30-32°C. Кислотність розчину 6 рН. Далі йде процес промивки та сушка в термічній камері, при 200°C, де відбувається запікання та полімеризація покриття.

**Результати.** Після нанесення основного захисного покриття, на шви та стики кузовних елементів наносять поліуретановий герметик, на днище кузова наносять покриття на основі полівінілхлориду. Наступним етапом являється, як правило нанесення вирівнюючого (або вторинного) ґрунту, задачею якого є вирівнювання поверхні для лакофарбового покриття. Фінішне покриття в свою чергу може складатися з одного шару емалі, або ж комбінації базового кольору, та шару лаку для його захисту.

### Висновок

Антикорозійний захист кузова автомобіля являється важливим показником якості продукту на кінцевому етапі, його ступінь є одним з показників строку служби автомобіля. Спектр використання захисних покриттів на виробництвах продукції автомобілебудування досить досить широкий, і в роботі було наведенні основні з них, що наразі активно розвиваються.

### Список використаних джерел:

1. Вікіпедія. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Кузов>
2. Автоцентр. <http://avtocentr.sumy.ua/z-chogo-roblyat-kuzova-avtomobiliv>
3. Бердус А.Ю., Кравцов О.В., Татарінов В.Р. (Наук. кер. Колесніков В.О.) Сучасні матеріали для виробництва кузовів автомобілів // Збірник студентських наукових робіт «Науковий пошук молодих дослідників». Серія «Технічні науки». ДЗ «ЛНУ ім. Тараса Шевченка», 2014 № 10. м. Луганськ. с. 261 - 265.
4. Art Metall майстерня коваля. <http://artmetall.info/fosfat.html>
5. ТОВ Інтер-Авто Україна. <https://jacmotors.com.ua/news/painting-technology.html>
6. ТОВ «Компанія «Метал Інвест». <https://metalinvest.ua/ua/pro-metod-gts>
7. Teknorot. <https://www.teknorot.com/ru/катафорез>

УДК 621.892.84

## ВПЛИВ ПРОТИЗНОШУВАЛЬНОЇ ПРИСАДКИ НА ТРИБОТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОНТАКТУ

**Ігор Малярчук**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Оксана Мікосянчик, д.т.н., проф.*

Ключові слова: зношування, трет-бутилфеніл-фенілфосфат, фосфатні ефіри, коефіцієнт тертя.

**Вступ.** Одним з ключових викликів, пов'язаних з тертям у роботі машин, є знос деталей, що викликає потребу у розробці засобів та технологій для формування поверхонь з оптимальними триботехнічними та міцністними характеристиками рухомих з'єднань. Оскільки процес тертя неможливо повністю усунути через його властивості, що пов'язані з рухом тіла та перетворенням механічної енергії, перспективним напрямком для збільшення ресурсу технічних систем є підвищення стійкості матеріалу поверхні до зношування[1]. Однак, зазвичай підвищення стійкості до зношування супроводжується значними витратами на виробництво та може бути проблематичним у процесі експлуатації машин. Введення спеціальних матеріалів у зону збільшеного зношування може перетворити енергію руйнування в енергію формування нових структур з цим матеріалом, що сприятиме відновленню слідів зношування в процесі роботи трибосистеми та забезпечить подовження терміну служби механізму машини [2].

**Матеріали та методи.** Проаналізовані фізико-хімічні характеристики фосфатних ефірів та визначено вплив концентрації фосфатних ефірів на триботехнічні показники трансмісійної оливи. В якості мастильного матеріалу використовувалась мінеральна трансмісійна олива для механічних коробок передач та головних передач легкових та вантажних автомобілів Okko GL-4 80w/90. Експерименти проводились в умовах кочення з 15% проковзуванням в нестационарному режимі.

**Результати.** Проведено дослідження щодо вибору оптимальної концентрації присадки фосфатних ефірів[3,4]. Основними триботехнічними показниками оцінки ефективної роботи трибосполучення (ролики зі сталі 40X) були антифрикційні та протизношувальні властивості. Встановлено, що фосфорні ефіри реагують з оксидами та гідроксидами металів (особливо з сполуками заліза), які знаходяться на поверхні металів, утворюючи багат шарові мастильні покриття [4]. В результаті зменшується тертя окремих компонентів і знос пристрою.

Відмінні протизносні властивості фосфатних ефірів підтверджені результатами випробувань чотирма кульками. Додавання 2% до мінерального масла забезпечує зменшення діаметра дефекту до 50%.

Додавання фосфатних ефірів також позитивно впливає на антифрикційні властивості оливи. Ефективно працює з іншими протизношувальними присадками (фосфором, сіркою, хлором), забезпечуючи захист поверхні в місцях тертя, особливо при ковзному контакті матеріалів. Завдяки добрій сумісності з іншими присадками для оливи, його можна використовувати як компонент пакету присадок.

Найкращими протизношувальними властивостями характеризується олива з додаванням 2% фосфатних ефірів. При меншій концентрації добавки фосфатних ефірів основну функцію зменшення зносу контактних поверхонь виконують граничні шари мастильного матеріалу. Оскільки тертя відбувається в нестационарних умовах, при домінуванні граничного або напівсухого режимів мащення, відбувається часта зміна граничних шарів, що свідчить про їх руйнування.

При збільшенні концентрації добавки фосфатних ефірів з 2 до 6% загальний сумарний знос поверхонь підвищується в 1,1...2,2 рази. Насамперед, це обумовлено великим вмістом твердих частинок у мастильному матеріалі, підвищуючи зношення контактних поверхонь. Аналогічні якісні зміни встановлені для коефіцієнта тертя. Даний показник збільшується, наприклад, в 2,8 і 7,7 разів відповідно при концентрації добавки фосфатних ефірів 0,5% і 4%, порівняно з сумішшю оливи з 2% фосфатних ефірів.

### **Висновок**

Визначено оптимальну концентрацію фосфатних ефірів при додаванні в трансмісійну оливу для підвищення її антифрикційних та протизношувальних характеристик.

### **Список використаних джерел:**

1. S N Sharifullin, A V Dunayev On the mechanism of formation of wear-resistant coatings on the friction surfaces of technical products in the presence of these drugs Tribo / Materials Science and Engineering. – 2016. - 134. – P. 012025
2. Golchin A. Tribological behaviour of polymeric materials in water-lubricated contacts / A. Golchin, G.F. Simmons, S. Glavatskih, B. Prakash // Proc Inst Mech Eng Part J J Eng Tribol. – 2013. - 227 (8). - P. 811-825.
3. А. В. Сиволоб / Молекулярна біологія.// Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет". с. 65-68.
4. Антикорозійні властивості. URL:<https://metalinvest.ua/ua/antikoroziyni-vlastivosti> (дата звернення: 02.03.2024).

УДК 629.735:629.03

## ПРОБЛЕМИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГВИНТІВ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

**Андрій Мельченко**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Антон Балалаєв, к.т.н.*

Ключові слова: БПЛА, повітряний гвинт, лопать, капот.

У сучасному світі безпілотні літальні апарати (БПЛА) відіграють важливу роль у різних аспектах життя суспільства. Вони стали невід'ємною складовою сучасних технологій, що змінюють наше розуміння та підходи до різних сфер діяльності. Розглядаючи їх вплив, можна відзначити кілька ключових аспектів, включаючи застосування в військових операціях, дослідницькі місії, а також в галузі цивільної безпеки та транспорту. БПЛА відкривають нові можливості та виклики для суспільства, підвищуючи ефективність, зменшуючи ризики та розвиваючи нові напрямки у сучасних технологіях. Зважаючи на те, що їх роль значно зростає в багатьох сферах діяльності, існує необхідність щодо вирішення проблеми удосконалення параметрів та характеристик гвинтів БПЛА.

Об'єктом дослідження виступає повітряний гвинт БПЛА типу квадрокоптер.

Для наукового обґрунтування результатів досліджень удосконалення параметрів та характеристик гвинтів БПЛА використаний статистичний метод аналізу та синтезу, а саме виявлено можливі шляхи удосконалення параметрів та характеристик гвинтів БПЛА.

З метою більш ефективного використання БПЛА існує необхідність у підвищенні тяги гвинтів, підвищення коефіцієнту корисної дії гвинтів та зменшення акустичного випромінювання гвинтів.

Всі ці проблеми можуть бути вирішені повністю або частково шляхом оптимізації лопатей гвинта, зміни кількості лопатей, застосування капоту та ін.

Оптимізації лопатей гвинта, в першу чергу, може бути здійснена за рахунок оптимізації форми лопаті. Форма лопаті визначається багатьма параметрами, такими як хорда, профіль, товщина профілю, діаметр гвинта, кут установки профілей, навал, зміна форми закінцівок лопатей і т.д [1-3].

Збільшення кількості лопатей до п'яти призведе до суттєвого збільшення тяги, але при цьому значно зросте вага гвинта та знадобиться більша потужність для приводу гвинтів. Однак, при одночасному збільшенні кількості лопатей та оптимізації форми лопатей можна досягти підвищення ККД. З метою зменшення ваги можуть бути використані більш легкі композиційні матеріали [1-3].

Застосування капоту сприяє зменшенню акустичного випромінювання і одночасного збільшення тяги на зльоті. Однак, при цьому вага БПЛА зростає [1-4].

### Висновок

З метою удосконалення параметрів та характеристик повітряних гвинтів квадрокоптерів необхідно використовувати комплексні заходи щодо оптимізації форми лопатей, вибору оптимальної кількості лопатей, застосування капоту.

### Список використаних джерел:

1. Hitchens, F. (2015). *Propeller aerodynamics: the history, aerodynamics & operation of aircraft propellers*. Andrews UK Limited.
2. Tracy, I. P. (2011). *Propeller design and analysis for a small, autonomous UAV* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
3. Büchi, R. (2021). *Quadcopter Motor and Propeller Calculation: With calculation examples of motor and propeller combinations*. BoD–Books on Demand.
4. Lei, X., & Koryanov, V. V. (Eds.). (2022). *Proceedings of 5th International Conference on Mechanical, System and Control Engineering: ICMSC 2021*. Springer Nature.

УДК 621.6.762

## ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ПАЛИВНОГО НАСОСУ ДЕТОНАЦІЙНИМИ ПОКРИТТЯМИ (Ti,Cr)C-Ni

Ілля Морщ

Національний авіаційний університет, Київ

Науковий керівник – Марина Стороженко, д.т.н., доц.

Ключові слова: захисні покриття, зносостійкість, структура, паливний насос.

**Вступ.** В умовах сьогодення важливою технічною задачею є підвищення надійності деталей машин і механізмів, які зазнають інтенсивного пошкодження в умовах високих контактних навантажень, підвищених температур, дії агресивних середовищ та абразиву [1]. Тому велика увага приділяється розробці нових зносостійких матеріалів, а також розвитку та впровадженню нових методів зміцнення робочих поверхонь. Застосування захисних покриттів дозволяє суттєво підвищити експлуатаційні властивості поверхневого шару деталей [2]. Зокрема, газотермічне напилення покриттів є перспективним способом зміцнення або відновлення зношених поверхонь деталей паливного насоса [3].

Мета даної роботи: дослідити можливість підвищення зносостійкості сталевих поверхонь шляхом нанесення детонаційних покриттів (Ti,Cr)C-Ni.

**Матеріали та методи.** В роботі для нанесення покриттів методом детонаційного напилення застосовували плаковані композиційні порошкові матеріали на основі (Ti, Cr)C з



вмістом 17, 25, та 33% Ni, фракції (-63...+40) мкм (ТОВ "Композиційні системи", м. Запоріжжя, Україна). Детонаційні покриття наносили на поверхню сталевих зразків (Ст.45) з допомогою установки "Дніпро - 5М". Структуру покриттів, а також поверхню доріжок тертя досліджували на електронних мікроскопах РЕМ-106И і JEOL JAMP-950; дюрOMETричний аналіз проводили на мікротвердомірі ПМТ-3. Триботехнічні випробування проводили на триботестері М-22М в умовах тертя ковзання без мастила при кімнатній температурі за схемою «вал – втулка» при терті по дотичній в широкому діапазоні швидкостей ( $v=1, 2, 4$  м/с) і навантажень ( $P=1, 2, 3$  МПа), шлях тертя становив 3 км. За допомогою вбудованих в триботестер датчиків в процесі проведення триботехнічних випробувань здійснювали моніторинг параметрів тертя (швидкість, навантаження, температура) та автоматичне вимірювання коефіцієнту тертя та лінійного зносу пар тертя з їх одночасною реєстрацією на комп'ютері. В процесі експерименту на кожне значення випробовували 3–5 зразків. Похибка вимірювань становила 2–4%.

**Результати досліджень.** Детонаційні покриття на основі Ti,CrC з вмістом нікелю 17, 25 та 33% мають гетерофазну структуру, яка складається частинок темно-сірого кольору та світло сірої фази (рис.1) Мікротвердість темно-сірих частинок становить 18-22 ГПа. За даними МРСА до їх складу входить титан (42 ат.%), хром (14 ат.%) та вуглець (44 ат%), що дозволяє ідентифікувати їх як подвійний карбід титану хрому. Світло-сіра фаза є нікелем, в якому розчинено до 5 ат.% титану, 1 ат.% хрому та 5 ат.% вуглецю. Мікротвердість фази на основі нікелю сягає 6–8 ГПа. Слід відмітити, що розмір частинок (Ti, Cr)C в структурі детонаційних покриттів (Ti, Cr)C-Ni становить 6–7 мкм, тоді як розмір вихідних порошків становив 40–63 мкм, що свідчить про подрібнення карбідних частинок в процесі детонаційного напилення. Збільшення вмісту нікелю в композиційних порошках (Ti, Cr)C-Ni від 17 до 33% сприяє утворенню більш рівномірної та щільної структури як детонаційних покриттів.

При швидкостях випробувань 1–2 м/с збільшення навантаження (до 3 МПа) не впливає суттєво на інтенсивність зношування пар тертя з детонаційними покриттями (Ti,Cr)C-25%Ni та (Ti,Cr)C-33%Ni. Характерним є підвищення зносостійкості пар тертя зі збільшенням вмісту нікелю в покриттях від 17 до 33%; найменшу інтенсивність зношування ( $I=4,2\text{--}5,7$  мкм/км) має пара тертя з покриттям (Ti,Cr)C-33%Ni. При підвищенні швидкості випробувань до 4 м/с найменшу інтенсивність зношування ( $I=3,2\text{--}4,3$  м/с) та одночасно найнижчий коефіцієнт тертя ( $f=0,18\text{--}0,22$ ) характерний для пари тертя з детонаційним покриттям (Ti,Cr)C-25%Ni.

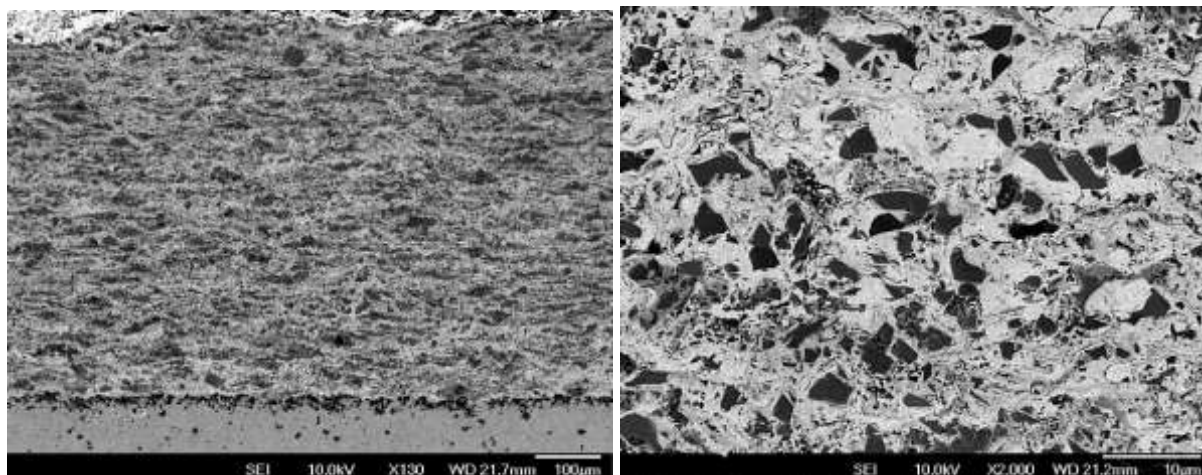


Рис. 1. Структура детонаційних покриттів (Ti, Cr)C-25%Ni

### Висновки

1. В роботі методом детонаційного напылення отримано покриття (Ti,Cr)C-Ni, які характеризуються рівномірною гетерофазною структурою.

2. Встановлено, що для досліджуваних покриттів (Ti,Cr)C-Ni характерним є збільшення інтенсивності зношування при збільшенні навантажень. Введення нікелю до подвійного карбиду титану хрому призводить до зменшення інтенсивності зношування детонаційних покриттів в парі зі сталлю у всьому діапазоні досліджуваних триботехнічних параметрів.

### Список використаних джерел

1. Kenneth Holmberg, Ali Erdemir. Influence of tribology on global energy consumption, costs and emissions // Friction. 2017. Volume 5. Pages 263–284.
2. V.P. Brazhevskiy & O.O. Chernyshov, O.P. Umanskyi, O. Ye. Terentiev, M.S. Storozhenko, O.Yu.Koval & Yu.V.Gubin. Effect of Plasma Spraying Parameters on the Properties of (Ti, Cr)C–Ni Composite Coatings. Powder Metallurgy and Metal Ceramics. 2022. Volume 61. Pages 597–604.
3. Zhang Ruizhu, Li Jingrui, Yan Dakao, Zhao Yuanyuan. Mechanical Properties of WC-8Co Wear-Resistant Coating on Pump Impellers Surface by Electro-Spark. Rare Metal Materials and Engineering, Rare Metal Materials and Engineering. 2015. Volume 44. Pages 1587-1590.

УДК 629.735:629.03

## ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Олександр Паламар

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Антон Балалаєв, к.т.н.*

Ключові слова: БПЛА, композиційні матеріали, вуглепластик

Важливою задачею авіаційного будування є створення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з покращеними характеристиками по висоті та швидкості для різних сфер людської діяльності. До сфери використання БПЛА можна віднести військові місії, сільське господарство, доставка харчових продуктів, гасіння пожеж, лісове господарство, археологія, геодезія, картографія, медицина, будівництво, екологія та багато іншого.

Однією із основних тенденцій вдосконалення БПЛА є зменшення масогабаритних розмірів, це потребує використання і розробки нових матеріалів, в першу чергу, композиційних. Застосування композиційних матеріалів (КМ) дозволить створювати БПЛА, які будуть мати елементи високої міцності та малої маси, що значно покращить льотно-технічні характеристики БПЛА.

Об'єкт дослідження - БПЛА.

Для наукового обґрунтування результатів досліджень застосування композиційних матеріалів для виготовлення безпілотних літальних апаратів використаний метод аналізу, а саме проаналізовано види КМ, які можуть бути використані при виготовленні БПЛА.

Майже 80% елементів БПЛА виготовлені із КМ. Частіше всього це або вуглепластики або склопластики. При виготовленні деталей із вуглепластику БПЛА буде мати меншу вагу, однак ціна виготовлення такого БПЛА буде вище, ніж при використанні склопластику [1-4].

Альтернативним і перспективним вирішенням проблеми зменшення ваги є використання КМ із сотовим наповнювачем (сендвіч конструкція) [5]. Важливу роль в розробці і дослідження таких матеріалів відіграє числовий експеримент. Наприклад, програмне середовище Ansys Workbench має у своєму складі відповідні модулі, які дозволяють моделювати різні КМ, досліджувати їх конструкцію і оптимізувати кількісний та якісний КМ для заданих конкретних умов та об'єктів.

Для прикладу у Ansys Workbench проведено розрахунок деформації консольної балки у двох виконаннях: 27-ми шаровий двонаправлений вуглепластик та вуглепластика із сотовим заповненням. Товщина балки 4 мм. Консольна балка навантажувалась зосередженим крайовим зусиллям 100 грам сили. На рис.1 представлено модель сотового наповнювача. На рис.2, 3 представлено результати розрахунків.

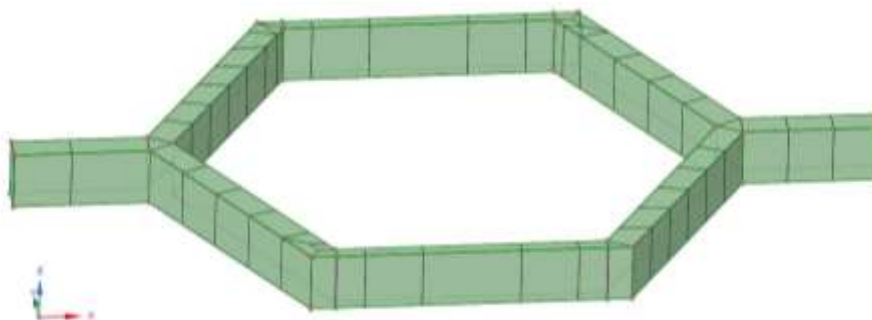


Рис.1. Модель сотового заповнювача

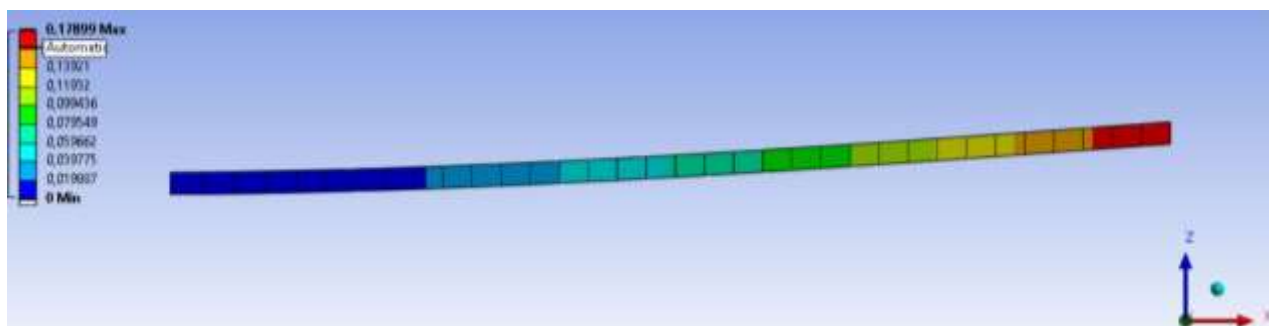


Рис.2. Візуалізація повної деформації консольної балки із 27 шарів вуглепластика

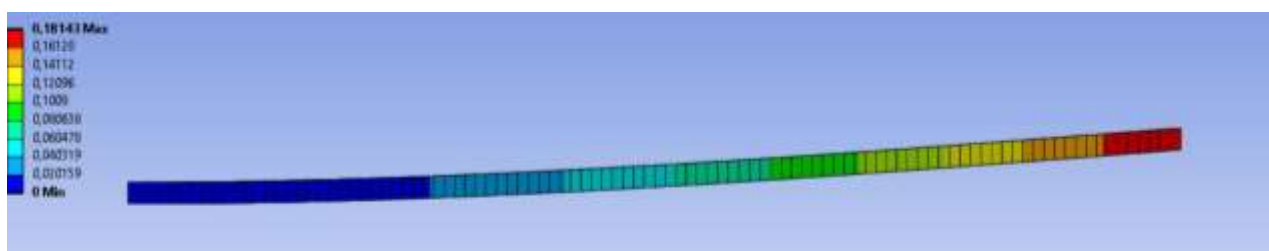


Рис.3. Візуалізація повної деформації консольної балки із вуглепластика із сотовим заповнювачем

Консольна балка із вуглепластика у кількості 27 шарів товщиною 4мм під дією зовнішньої сили 100 грамів сили набула повної деформації 0,179 мм. Альтернативна консольна балка, що складалась з трьох послідовних шарів вуглепластик-соти-вуглепластик із загальною товщиною 4мм набула деформації за подібних умов навантаження 0,18 мм, тобто повна деформація майже однакова. При цьому кількість вуглецевої тканини було зведено до одного шару на кожен шару сотової конструкції та вага консольної балки знижена на 18%.

### Висновок

Розробка та дослідження КМ відіграє важливу роль при створенні надлегких БПЛА. При створенні БПЛА використовують вуглепластики, склопластики, композиційні матеріали із сотовим заповненням. Дослідження параметрів та характеристик нових КМ на перших етапах розробки доцільно проводити методом числового експерименту.

### Список використаних джерел:

1. Garvit Pandya (2021). *Basics of Unmanned Aerial Vehicles. Time to start working on Drone Technology*. Notion Press
2. Chung, D. (2012). *Carbon fiber composites*. Elsevier.
3. Babu, J., & Davim, J. P. (Eds.). (2020). *Glass Fibre-Reinforced Polymer Composites: Materials, Manufacturing and Engineering* (Vol. 12). Walter de Gruyter GmbH & Co KG.
4. Christina Scheffler, Edith Maeder (2018). *Glass Fibers*. Mdpi AG
5. Ma, W., & Elkin, R. (2022). *Sandwich structural composites: theory and practice*. CRC Press.

УДК 620.22

**ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ ПОСУДИН ПІД ТИСКОМ З КОМПОЗИТНИМИ ОБОЛОНКАМИ ДЛЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ****Андрій Панасюк***Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник - Олег Шевченко, к.т.н., доц.*

Ключові слова: літальний апарат (ЛА), посудина, композитна оболонка, вкладиш.

Посудини що працюють під тиском знайшли широке застосування в паливних, пневмогідролічних та системах життєзабезпечення ЛА. В залежності від конструктивного призначення, посудини виготовляють сферичної або циліндричної форми. Згідно з класифікацією Американського товариства інженерів-механіків (ASME) та Міжнародної організації стандартизації (ISO) посудини під тиском поділяють на п'ять типів, які наведені на Рис. 1 [1].

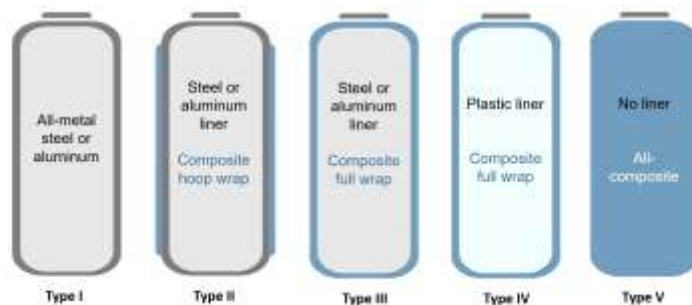


Рис. 1. Класифікація типів посудин, що працюють під тиском

У цій роботі наведений стислий огляд історії комерційного застосування, вимог до виготовлення, випробувань посудин під тиском з композитними оболонками (див. Тип III рис. 1), які відомі в англійських джерелах як COPV (composite overwrapped pressure vessels).

Широка комерціалізація COPV почалась в результаті успіху концепції дихальної системи NASA Firefighter's Breathing System, прийнятої пожежними службами США, яка поміж інших вдосконалень включала нові запропоновані промисловістю посудини з композитними оболонками із скловолокна, що мали вдвічі меншу вагу в порівнянні з суцільнометалевою посудиною, зберігаючи при цьому необхідну кількість повітря для дихання пожежників. Після сертифікації цих COPV Міністерством оборони США (DoD) в 1975 році розпочалось їх комерційне виробництво [2].

COPV потребують специфічних вимог до проектування, виготовлення, випробувань, експлуатації, які регламентовані стандартом ANSI/AIAA S-081B-2018 Space systems-Composite Overwrapped Pressure Vessels. Проектування COPV вимагає аналізу вкладиша (англійською – liner), волокнистого покриття і взаємодії між ними. Металевий вкладиш в COPV виконує декілька функцій: герметичне ущільнення рідин та газів, форма або оправка,

на яку намотують композитну оболонку, і, в деяких випадках несучий елемент конструкції. Металевий вкладиш виготовляють з алюмінію, високоміцної сталі, сплаву Inconel®, титану або криогенної нержавіючої сталі типу AISI [2].

Композитну оболонку отримують намотуванням просочених в'язучим волокон, які виконують функцію сприйняття основної частини навантаження. Правильне розміщення волокон полегшує розподіл навантаження та забезпечує захист. Зазвичай в'язучим є полімерна матрична смола, а волокна використовують вуглецеві, скляні та арамідні (Kevlar® і Zylon®) [3]. Якщо посудина не сферична, а циліндрична, то зазвичай застосовують як поздовжнє (спіральне), так і окружне (обручеве) намотування волокон. Після намотування просочених волокон, полімеризації смоли при підвищеній температурі, і наступної перевірки полімеризації, посудина може бути змінена за розміром або піддана автофреттажу для поліпшення структурних характеристик. Автофреттаж – це процес, за допомогою якого тиск COPV перевищує межу текучості металевого вкладиша, що призводить до пластичної деформації або розширення вкладиша. Залишкова деформація стиснення у вкладиші призводить до покращеного його терміну служби [2].

Кількість випробувань, які проводять на різних етапах створення COPV призначених для ЛА, є значною. До них відносять перевірку властивостей матеріалів, неруйнівний контроль, перевірку герметичності, і такі притаманні для COPV, як візуальне випробування порогу механічного пошкодження, випробування на пошкодження оболонки, стійкість до пошкоджень у найгіршому випадку, витік перед вибухом (LBB) (англійською – Leak before burst). LBB – режим відмови COPV, при якому посудина протікає під тиском, перш ніж лопне [3]. LBB зазвичай стосується лише металевого вкладиша, але з усіма вище переліченими випробуваннями входить до переліку стандартних випробувань COPV.

### **Висновок**

В роботі представлені короткі відомості щодо виготовлення та випробувань посудин, що працюють під тиском з композитними оболонками (COPV) призначених для застосування у ЛА, а також наведені матеріали для виготовлення COPV і нормативні документи з вимогами, що регламентують вимоги щодо створення COPV.

### **Список використаних джерел:**

1. Composites end markets: Pressure vessels (2022) URL: <https://etcwinders.com/news/compositesworld-the-markets-pressure-vessels-2022/>
2. Composite Overwrapped Pressure Vessels, A Primer, NASA/SP–2011–573, Pat B. McLaughlan, P.E. Scott C. Forth, Ph.D. Johnson Space Center, Houston, Texas Lorie R. Grimes-Ledesma, Ph.D. Technical Review Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Calif.
3. Inspection for Damage to Carbon/ Epoxy Composite Overwrapped Pressure Vessels. NASA White Sands Test Facility. August 2010.

УДК 620.18:678.067

## ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ВУГЛЕПЛАСТИКІВ

Максим Поліщук

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Інна Семак, ст. викладач*

Ключові слова: конструкційні авіаційні вуглепластики, особливості експлуатації, контроль їх несучої спроможності.

**Вступ.** Ефективність та безпека експлуатації авіаційних конструкцій визначається властивостями матеріалів, що застосовуються. Умови експлуатації авіаційних матеріалів стають все більш складними; від них вимагаються високі показники міцності, жорсткості, корозійної стійкості, зносостійкості, ваги, довговічності, термостійкості, теплопровідності.

**Матеріали та методи.** Найбільшого застосування полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) досягнуто в конструкції вітчизняних літаків АН-124, АН-148 із застосуванням високомодульних і високоміцних матеріалів на основі епоксидної та поліамідної матриць, армованих волокнами вуглецю. Так, наприклад, застосування вуглепластиків в конструкції літака АН-124 складає близько 4500 кг, що дало змогу зменшити масу цих конструкцій на 15%. [1,2]. Вуглепластики типу КМУ-3Л широко застосовуються в середньо навантажених конструкціях: стулки люків, кермо напрямку, інтерцептори, закрилки, конструкції повітрозабирачів та стулки шасі. Ці конструкції складають близько 3...6% маси планера літака, але займають 10...15% його поверхні. [2].

За оцінками вітчизняних та зарубіжних спеціалістів вартість виробництва основних вузлів конструкцій із вуглепластиків може бути нижче вартості аналогічних металевих. При цьому економія маси цивільних літаків може досягати близько 10%.

Дослідження авіаційних фірм США та Великої Британії показали перспективність використання ПКМ, а саме в силових конструкціях, в яких є сенс застосування переваг композитів, в тому числі: ресурсу, надійності, довговічності, живучості та економічності.

Серед недоліків, застосування вуглепластиків в авіаційних конструкціях є досить коштовним. Вартість таких виробів в 1,2...1,3 рази більша ніж із алюмінієвих матеріалів.

В процесі експлуатації елементи конструкцій із ПКМ зазнають впливу циклічних навантажень, механічних ударних дій, температури, вологи, сонячної радіації, що в комплексі спричиняє зміну їх характеристик.

**Результати.** Аналіз результатів експериментальних досліджень вуглепластиків типу КМУ-3Л показав, що для всіх видів навантажень характеристики міцності мають значно більші розсіювання в порівнянні із металічними матеріалами. Крім того, вплив таких зовнішніх

умов, як температури і вологи оточуючого середовища приводить до помітного зниження характеристик міцності. Ці обставини показують на своєрідність властивостей ПКМ і необхідність розробки для них спеціальних розрахункових умов за допомогою ймовірних методів та теорії надійності.

При цьому, врахувавши зміну показників властивостей матеріалу у виробі, можливо визначити залишкову міцність елементів конструкції. Такими показниками можуть бути питома електропровідність вуглецевих волокон та діелектрична проникливість для отримання розподіленої інформації відносно стану волокон та матриці. Крім того можливо застосування інших методів неруйнівного контролю для оцінки стану конструкцій із КМ в комплексі із руйнівними методами досліджень по визначенню залишкової міцності, що дозволить вирішити проблему встановлення ресурсу конструкцій із вуглепластиків [1,2].

Експлуатаційні пошкодження композитів можуть бути внесені у процесі технічного обслуговування і льотної експлуатації авіатехніки. Пошкодження в процесі експлуатації зв'язані також із дією навколишнього середовища. Найбільш розповсюдженими типовими пошкодженнями, які виникають у процесі експлуатації конструкцій із КМ є пробоїни, тріщини, розшарування та вм'ятини. Досвід експлуатації конструкцій із вуглепластиків виробів АНТК «Антонов» (носки і закінцівки крила, обшивка пілонів, конструкції повітряборників, ступки шасі, рулі напрямку, інтерцептори і перегородки фюзеляжа) показав, що із всіх пошкоджень найбільш розповсюдженими є: пробоїни – 26,5%, тріщини – 29,6%, вм'ятини – 17%, розшарування – 12,4%. Біля 65% всіх дефектів обумовлені ударними пошкодженнями, а близько 80% пошкоджень виникають у процесі технічного обслуговування.

### **Висновок**

Таким чином одним із основних методів супроводу експлуатації конструкцій із вуглепластиків є впровадження сучасних методів неруйнівного контролю, що дозволить здійснювати надійну експлуатацію авіаційних конструкцій із ПКМ.

### **Список використаних джерел:**

1. Борозенець Г. М., Павлов В. М., Семак І. В. Застосування композиційних матеріалів в авіаційних конструкціях та проблеми оцінки їх стану // Науково-популярний журнал "Колега" НАН України, № 1. 2012. – С.38–39.
2. Борозенець Г. М., Семак І. В. Вплив конструктивно-технологічних факторів на міцність вуглепластиків // Проблеми тертя та зношування. – 2017. № 2 (75). – С. 108-112.



УДК 621.01: 62-883

## РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ ТА ВІБРАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ПРИВОДУ

**Максим Радько, Олексій Брешев**  
*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Павло Носко, д.т.н., проф.*

**Ключові слова:** динаміка ротора, безконтактний пневмошпindelь, конічні аеростатичні опори, метод кінцевих елементів, газодинамічні сили, динамічний дисбаланс

**Вступ.** Дослідження динамічної поведінки ротора безконтактного пневмошпindelя є важливим аспектом для забезпечення його ефективної та стабільної роботи. В рамках цього дослідження ми аналізуємо декілька ключових факторів, що впливають на динамічну стійкість системи, зокрема резонансні коливальні явища, критичні частоти обертання ротора, відгук на динамічні навантаження від дисбалансу та вплив газодинамічних сил, що виникають в мастильному шарі аеростатичних опор.

**Матеріали та методи.** В основі дослідження лежить модель коливаний ротора, яка розглядається з урахуванням кінцевого числа ступенів свободи. Модель ротора розроблена на основі твердотільної концепції, де ефективність повітряного мастила замінено на пружинні елементи з аналогічними пружними та демпфуючими характеристиками.

Для вивчення динамічних характеристик та відповідей ротора на зовнішні збурення застосовується метод кінцевих елементів. Використання цього методу забезпечує можливість проведення детальних розрахунків жорсткості сил, інерційних траєкторій, амплітуд та частот власних коливаний. Виконання моделювання здійснюється за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, що дозволяє досягти високої точності результатів.

Для підтвердження теоретичних результатів і комп'ютерного моделювання проводяться експериментальні дослідження на реальних зразках пневмошпindelів. Експерименти включають в себе вимірювання вібраційних характеристик ротора, аналіз його відповідей на контрольовані дисбаланси та вивчення впливу різних режимів обертання на стабільність приводу.

Отримані експериментальні та комп'ютерні дані аналізуються для ідентифікації критичних частот, визначення зон резонансу та оцінки ефективності запропонованих методів модернізації аеростатичних опор. Особлива увага приділяється аналізу газодинамічних сил у мастильному шарі аеростатичних опор і їх впливу на динамічні характеристики ротора.

**Результати.** У процесі дослідження було отримано значні результати, що вказують на важливість аналізу динамічних характеристик ротора безконтактного пневмошпindelя для підвищення його стабільності та ефективності. Розрахунки, виконані за допомогою методу

кінцевих елементів, дозволили точно визначити жорсткість сил, інерційні траєкторії, амплітуди та частоти власних коливань ротора. Аналіз показав, що налаштування параметрів аеростатичних опор має значний вплив на динамічні властивості ротора.

Експериментальні дослідження підтвердили теоретичні результати, продемонструвавши, що контрольований дисбаланс та різні режими обертання ротора впливають на його вібраційні характеристики. Особливо значним виявився ефект газодинамічних сил у мастильному шарі аеростатичних опор на стійкість ротора, що підкреслює необхідність точного регулювання цих параметрів для оптимізації роботи приводу.

Один з ключових результатів дослідження - ідентифікація критичних частот, на яких резонансні явища можуть призвести до значного збільшення амплітуди коливань ротора. Виявлено, що заходи з модернізації аеростатичних опор, такі як підвищення їхньої жорсткості та оптимізація геометрії, можуть ефективно знижувати ризики, пов'язані з резонансом, та підвищувати загальну стабільність системи.

Таким чином, результати дослідження демонструють, що інтегрований підхід до аналізу та оптимізації динамічних характеристик ротора та його аеростатичних опор відкриває нові можливості для підвищення точності та надійності безконтактних пневмошпинделів.

### **Висновок**

Дослідження внесло вагомий вклад у розуміння динамічних процесів в роторах безконтактних пневмошпинделів, відкриваючи шляхи для підвищення їх ефективності через оптимізацію аеростатичних опор. Результати мають практичне значення для проектування високоточного обладнання в машинобудуванні та інших галузях промисловості.

### **Список використаних джерел:**

1. Genta, G. *Vibration Dynamics and Control* [Text] / G. Genta. – Springer Science and Media Business Media, LLC, 2009. – 855 p.
2. Wang, Z., et al. (2023). Development of a high-speed air-bearing spindle using one-directional porous bearing. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 37(9), 1707-1716.
3. Yang, J., et al. (2019). Modeling and analysis of a high-speed spindle with hybrid bearings considering the influence of bearing parameters. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 130, 262-279.

УДК 621.9.048.4

**ЗНОСОСТІЙКІ НОВІТНІ МАТЕРІАЛИ ЕЛЕКТРОДІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОІСКРОВИХ ПОКРИТТІВ****Олександр Скворцов***Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник – Оксана Мікосянчик, д.т.н., проф.*

Ключові слова: електроіскрове легування, зносостійкість, навантаження, температура.

**Вступ.** Сучасні технологічні методи нанесення захисних покриттів відкривають необмежені можливості формування зносостійких структур, що забезпечують надійну роботу вузлів тертя в найрізноманітніших умовах контактної взаємодії, а саме: при великих навантаженнях; терті; кавітації; радіації; корозійних і агресивних середовищ і т.п. Потужним методом модифікування поверхневих шарів деталей вузлів тертя, їх хімічного складу і структури є електроіскрове легування (ЕІЛ), що базується на використанні дії електричного імпульсного розряду, який протікає між електродами. Метод дозволяє наносити на поверхню деталей матеріали з покращеними властивостями, такими як висока твердість, міцність, антикорозійність та інші. Це особливо важливо в умовах, де деталі піддаються інтенсивному зносу, наприклад, в авіаційній та автомобільній промисловості. Мета досліджень полягала в аналізі складу та властивостей матеріалів, що використовуються в ЕІЛ для створення зносостійких покриттів.

**Матеріали та методи.** Метод ЕІЛ дозволяє наносити на поверхню деталей матеріали з покращеними властивостями, такими як висока твердість, міцність, антикорозійність та ін. Спосіб формування легованої поверхні визначається структурою, складом, властивостями матеріалів анодів і технічними характеристиками процесу електроіскрового легування.

**Результати.** Ефективність та адгезійна міцність покриття при ЕІЛ залежить від доцільного вибору анода з урахуванням його фізико-хімічних властивостей, ерозійної стійкості та параметрів обробки, які мають суттєвий вплив на характеристики сформованого модифікованого шару. Матеріали, які використовуються для електродів при ЕІЛ, повинні мати високу теплопровідність і міцність, а також здатність до довготривалої роботи в умовах впливу високих температур і навантаження. Основні зносостійкі матеріали, які використовуються для електродів в ЕІЛ, наведено в таблиці 1.

Мідно-сурмові сплави (наприклад, Cu-Be) відзначаються високою міцністю і теплопровідністю. Вони можуть використовуватися для виготовлення електродів, які піддаються великим навантаженням і високим температурам. Вольфрам має дуже високу точку плавлення і теплопровідність, що робить його відмінним вибором для електродів в умовах високих температур і інтенсивних іскрових розрядів. Він використовується, зокрема,

для електродів, призначених для важких умов. Молібден має подібні властивості до вольфраму, включаючи високу теплопровідність і міцність. Алмазні покриття можуть бути застосовані на поверхні електродів для покращення їхньої зносостійкості та стійкості до іскрових розрядів. Алмазні покриття відзначаються високою твердістю і антикорозійністю.

Таблиця 1

Матеріали для електродів, що застосовуються для нанесення зносостійких електроіскрових покриттів

Матеріал електроду	Матеріал для катоду	Очікувані результати для покриття
Мідь (Cu)	ВК8, Сталь Ст. 3, ХВГ, Al	Збільшення тепловіддачі, корозійної стійкості
TiAl, Al, Ni <sub>3</sub> Al	ВК8, Сталь Ст. 3, ХВГ, Al, Титанові сплави	Збільшення окислостійкості, зносостійкості, жаростійкості, корозійної стійкості
Хром (Cr)	ВК8, Сталь 40X, 45, ХВГ тощо	Збільшення зносостійкості, жаростійкості, окислостійкості
Графітні електроди	ХВГ, Т15К6, сталь Р18, 25 та інші	Збільшення зносостійкості, стійкості різального інструменту
Mo	Сталі 30, 45, ХВГ тощо	Збільшення стійкості різального інструменту та корозійної стійкості.
Ni, NiCr	Сталі 45, 40X, ХВГ тощо	Збільшення зносостійкості, жаростійкості, окислостійкості

Вибір матеріалу для електродів залежить від конкретних вимог, включаючи температурні умови, навантаження, властивості легувального матеріалу та інші фактори. Перспективними зносостійкими матеріалами для ЕІЛ є матеріали, до складу яких входять тверді карбіди (карбіди W, Ti, Cr, Ta, Mo, Hf, Zr, Nb, V та ін.), сплави для наплавлення (стеліт, сплав з високим вмістом нікелю, хрому), Ti, Zr, Ta та інші бориди, інтерметалічні сполуки та металокераміки [3].

### Висновок

Розглянуто електродні матеріали для зносостійких електроіскрових покриттів, вибір яких повинен базуватися на конкретних умовах експлуатації зміцненої або відновленої поверхні деталі з метою збільшення її терміну служби.

### Список використаних джерел:

1. Завойко О.С. Теоретичні основи електротехнології зміцнення металів. Чернівці: Рута, 2003. С. 8-24.
2. Konoval V.P., Umanskii O.P., Kostenko O.D., Martsenyuk I.S. Effect of the chemical composition of electrode materials and deposition parameters on the properties of electrospark-deposited coatings. II. Coating hardness and wear resistance. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 2014. Vol.53. No.3-4. P.210-218.
3. Zhengchuan Z., Guanjun L., Konoplianchenko I. et al. A review of the electro-spark deposition technology. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2021. 2 (44). С. 45-53

УДК 621.8:629.02

**КОЕФІЦІЄНТ ПЕРЕКРИТТЯ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ****Дмитро Соколовський***Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник – Олександр Башта, к.т.н., доц.*

Ключові слова: черв'ячна пара, черв'як опукло-увігнутого профілю, коефіцієнт перекриття, питоме ковзання, умови зачеплення

**Вступ.** До якісних показників роботи передачі можна віднести коефіцієнт перекриття та питоме ковзання. Об'єктом дослідження буде черв'ячна передача, у якої черв'як має опукло-увігнутий осьовий профіль. Попередньо розглянемо умови зачеплення в головній площині черв'ячної передачі опукло-увігнутого профілю.

**Результати.** Розсічемо черв'ячну передачу зазначеного профілю площиною, що проходить через лінію найкоротшої міжосьової відстані та вісь черв'яка. У результаті отримаємо зачеплення рейкового типу. Отримано рівняння робочої частини зуба рейки та рівняння лінії зачеплення.

Отримані криві мають назву конхоїд Нікомеда. Вони мають дві точки розриву й одну точку самоперетину. У цьому випадку, коли конхоїда Нікомеда є лінією зачеплення рейки з колесом, точка самоперетину буде знаходитися в полюсі зачеплення (точка Р).

Загальний коефіцієнт перекриття черв'ячної передачі дорівнює

$$\varepsilon = \varepsilon_b + \varepsilon_s$$

де  $\varepsilon_b$  – коефіцієнт перекриття, зумовлений гвинтовим розташуванням зубів;

$\varepsilon_s$  – коефіцієнт перекриття в головній площині передачі (торцевий коефіцієнт перекриття).

Величина  $\varepsilon_b$  не залежить від геометрії робочих профілів і визначається однаково для всіх видів черв'ячних передач. Тому завдання визначення  $\varepsilon$  зводиться до знаходження торцевого коефіцієнта перекриття  $\varepsilon_s$ .

Величина  $\varepsilon_s$  може бути підвищена за рахунок збільшення радіусів профілю  $r_1$  і  $r_2$ , подовження робочих ділянок профілю. Останнє досягається потоншенням витка і зменшенням внаслідок цього радіусів заокруглень  $r_3$  і  $r_4$ . При цьому западина витка має бути виконана так, щоб сполучення дуги  $r_3$  з нішкою витка  $r_2$  відбувалося в точці, віддаленій від западини не більше ніж на величину радіального зазору  $c = 0,2m_s$ . Профіль головки доцільно зробити без заокруглення  $r_4$ , що дасть змогу збільшити його активну довжину. У цьому разі радіус заокруглення  $r_4$  носитиме суто технологічний характер і

призначатиметься лише для згладжування гострої кромки на вершині витка. Величину  $r_4$  можна брати порядку  $(0,5 \div 1)$  мм.

Для обчислення другого компонента ( $\varepsilon_b$ ) загального коефіцієнта перекриття можна скористатися формулою

$$\varepsilon_b = \frac{B \operatorname{tg} \gamma}{\pi m_o} = \frac{B}{\pi} \cdot \frac{Z_2}{u q m_o},$$

де  $B$  – ширина вінця черв'ячного колеса;  $u$  – передавальне число передачі;  $q$  – число модулів у ділильному діаметрі черв'яка.

З цієї формули випливає, що величина  $\varepsilon_b$  може бути збільшена за рахунок збільшення кута підйому  $\gamma$  гвинтової лінії на черв'яку і (або) зменшення модуля  $m_o$  (що при  $A = \text{const}$  рівносильно збільшенню числа зубів колеса  $Z_2$ ). Оскільки торцевий коефіцієнт перекриття  $\varepsilon_s$  дуже мало змінюється зі зміною  $Z_2$ , а від інших параметрів зачеплення взагалі не залежить, то загальний коефіцієнт перекриття  $\varepsilon$  можна вважати пропорційним коефіцієнту  $\varepsilon_b$ .

### Висновки

Враховуючи, що абсолютні значення залишаються для будь-яких параметрів передач майже незмінними, отримати необхідне значення  $\varepsilon$  можна за рахунок величини коефіцієнту перекриття, зумовленого гвинтовим розташуванням зубів  $\varepsilon_b$ .

### Список використаних джерел:

1. Nosko P. L, Malkov V. N, Muhovatiy A.A. 2003. Geometry of a worm processed by disk grinding circle//Technology and processings by pressure of materials in mechanical engineering. The collection of scientific works in 2 p 1. – Lugansk: publishing house VNU, 126-131.
2. Шишов В.П. Високонавантажені глобоїдні та спироїдні черв'ячні передачі / Шишов В.П., Муховатий А.А., Носко П.Л., Башта О.В., Філь П.В., Бойко Г.А. // Монографія – К.: НАУ, 2017. -240с.

УДК 621.891

### КОМБІНОВАНІ МЕТОДИ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ

Володимир Харченко, Ігор Гуменюк, Михайло Гловин, Іван Костецький  
Національний авіаційний університет, Київ

Науковий керівник – Мирослав Кіндрачук, д.т.н., проф.

Ключові слова: комбіновані методи інженерії, граничне тертя, зношування, лазерна обробка, зносостійкість.

**Вступ.** Розробка комбінованих методів інженерії охоплює досить широке коло питань, пов'язаних з різними напрямками науки і знань, включає в себе застосування методів зміни характеристик контактної поверхні за рахунок нанесення покриттів і плівок, модифікуванням та деформацією поверхні, комбінуванням різноманітних захисних шарів, створених різними методами.

**Методи.** Розробка та застосування комбінованих інженерних методів дозволяє значно покращити експлуатаційні властивості поверхонь тертя машин і механізмів. Ці методи засновані на послідовному або одночасному застосуванні двох і більше технологічних прийомів для створення зносостійких поверхневих шарів з різними фізико-механічними властивостями, що дозволяє багаторазово підвищити контактну міцність і зносостійкість деталей.

**Результати.** Для сталевих деталей найбільше зміцнення, твердість і зносостійкість досягається азотуванням їх поверхневого шару. Огляд досліджень комплексного підходу зміцнення поверхневого шару різними методами [1] підтверджує високу ефективність використання технологій лазерної обробки з наступним азотуванням. Це дозволяє уникнути недоліків «класичного» азотування, зміцнити матеріал під азотованим шаром і збільшити товщину дифузійного шару.

Комбіновані методи утворення захисних дискретних поверхонь використовуються досить широко. За рахунок азотування і попередньої лазерної обробки, зносостійкість сталі значно підвищується. Розглянуто зносостійкість сталі 40X після азотування з обробленням поверхні дискретно лазером [2] та просто азотованої. Дискретна обробка лазером сталі 40X дає підвищення зносостійкості в 7 – 9 разів, аніж просто азотування без ЛО.

Підвищення зносостійкості у 6 разів було отримано шляхом лазерного оплавлення дискретно смугами постійної ширини 2,5 мм близько 15 % поверхні. За рахунок зниження напружено-деформованого стану та більшій рівномірності перерозподілу навантажень, що виникають на поверхні тертя під час зношування, завдяки характеру локальних мікроруйнувань структурних складових, які є крихкими і невисокого когезійного зв'язку між ними у ділянках, де немає оплавлення [3].

При створенні дискретного азотованого покриття рівної зносостійкості, поверхню тертя сталевих виробів оплавляли лазером за схемою стільникового типу та за острівною схемою. Відстань між ділянками, де виконувалось зміцнення становила 3 – 5 мм. Далі проводили азотування при температурі 800 – 860K у середовищі аміаку та витримували 15-20 год. Доведено, що зміцнення за даною схемою обробки контактної поверхні дає значне підвищення зносостійкості та контактної втомної міцності шляхом зменшення напружено – деформованого стану [4].

## Висновки

Фундаментальні дослідження використання комбінованих методів інженерії контактних поверхонь відкривають нові можливості для розширення діапазону роботи пар тертя, підвищення їх надійності та довговічності в екстремальних умовах експлуатації. Незважаючи на кількість публікацій, механізм явищ, що відбуваються з регулярним мікрорельєфом, зміцнених додатково іншими методами, сьогодні вивчений недостатньо. Відсутнє напрацювання даних про дизайн текстури таких поверхонь потребує удосконалення існуючих та розробки нових методів прогнозування тривалої поведінки поверхонь у процесі експлуатації за результатами короткострокових лабораторних досліджень.

### Список використаних джерел:

1. N. Maharjan, W. Zhou, N. W. (2020). Direct laser hardening of AISI 1020 steel under controlled gas atmosphere. *Surf. Coat. Tech.*, 3856 125399.
2. Поверхневе зміцнення сталей нанесенням дискретних азотованих шарів / М. В. Кіндрачук, М. С. Яхья, О. В. Герасимова, Н. В. Ішук // *Технологічні системи*. – 2007. – №2. – С. 55–58.
3. Kindrachuk M. V. Trybotekhnichni vlastyvoli plazmovykh pokryttiv z dyskretnoiu strukturoiu / M. V Kindrachuk., N. V. Ishuk, V. V. Pasternak // *Problemy trybolohii*. – 2003. – №1. – S. 75–81.
4. Kindrachuk M. V. Formuvannya dyskretnoi struktury azotovanykh pokryttiv rivnoi znosostiikosti / M. V. Kindrachuk, V. V. Kharchenko, O. I. Dukhota, I. A. Humeniuk // *Problemy tertia ta znoshuvannya*, 2022. 4 (97). S. 4-9.

УДК 656.7.01:061.25ІСАО(043.2)

## СТАНДАРТИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ В АВІАЦІЙНІЙ ГАЛУЗІ

**Катерина Чава**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Оксана Мікосянчик, д.т.н., проф.*

Ключові слова: якість, стандартизація, стандарти ISO, безпека, авіакомпанія.

**Вступ.** Впровадження стандартів ISO авіакомпаніями є актуальним напрямом в авіаційній галузі. В сучасних наукових джерелах [1, 2] домінує теоретичний погляд на методи та результати впровадження стандартів ISO та їх сприяння покращенню різних аспектів роботи компаній, таких як управління, забезпечення якості та управління ризиками. Основна увага дослідження приділяється оцінці практичного використання стандартів ISO європейськими авіакомпаніями окремо або в рамках інтегрованих систем управління (IMS), багатокomпонентності систем управління, їх ефективності, цілям та способам досягнення



підвищення продуктивності, зменшення ризиків та покращення загальної діяльності авіакомпаній.

**Матеріали та методи.** Проаналізовано впровадження стандартів ISO (ISO 9001 - система управління якістю в організаціях, ISO 14001 - система управління навколишнім середовищем, ISO 27001 - система управління інформаційною безпекою, ISO 45001 - система управління охороною здоров'я та охороною праці) європейськими авіакомпаніями (Czech Airlines, The Lufthansa Group, British Airways, Air France, LOT Polish Airlines). Проведена оцінка застосування стандартів ISO як окремих авіакомпаній в Європі, так і їх дочірніх авіакомпаній на основі аналізу річних звітів, сертифікатів, організаційних структур та веб-сайтів.

**Результати.** Оцінка розвитку культури безпеки в провідних європейських авіакомпаніях [3-7] направлена на розробку та впровадження структурованої системи управління для контролю ризиків, застосування стратегій і практик безпеки, спрямованих на випередження з метою недопущення потенційних причинних факторів, які можуть призвести до аварій у майбутньому.

Європейські авіакомпанії переважно впроваджують ISO 14000, що ставить на перше місце екологічний аспект. Це обґрунтовано тим, що діяльність авіакомпаній значно впливає на забруднення навколишнього середовища і головна їхня мета - зменшити шум та викиди завдяки впровадженню стандарту.

У дочірніх компаніях авіакомпаній, які займаються обслуговуванням, ремонтом або модифікацією літаків, активно впроваджується стандарт ISO 45001 (або його варіант OHSAS 18000), оскільки це сприяє створенню безпечних умов праці.

Сертифікацію відповідно до ISO 9000 впроваджують компанії, які підвищують рівень управління якістю. Проте, компанії, що не використовують цей стандарт, використовують інші системи або політики у сфері якості, щоб забезпечити надійне надання послуг.

Результати впровадження стандарту ISO 27001 європейськими авіакомпаніями показують, що цей стандарт знаходиться на початковому етапі впровадження, що може бути пов'язано з відносно новими аспектами управління в сфері захисту баз даних та інформаційної безпеки авіакомпаній. Однак, враховуючи розвиток цифрових технологій та зростання загроз кібербезпеки, можна очікувати, що в майбутньому більше авіакомпаній будуть активно впроваджувати стандарт ISO 27001 для захисту своїх даних та забезпечення інформаційної безпеки. З ISO 27001 авіакомпанії можуть ідентифікувати ризики, управляти або зменшувати ризик конфіденційної інформації, впроваджувати необхідні заходи безпеки, захищати ділову репутацію.

## Висновок

Проаналізована необхідність та ефективність впровадження стандартів ISO з питань якості, навколишнього середовища, охорони здоров'я і охорони праці та інформаційної безпеки на основі комплексної оцінки за допомогою інтегрованих систем управління в авіаційній галузі.

Визначені відмінності та взаємозв'язки систем управління європейських авіакомпаній, впровадження стандартів ISO направлено на покращення управлінських практик авіаперевізниками, що розкриває важливі аспекти взаємодії різних систем управління всередині організацій та сприяє підвищенню ефективності та конкурентоспроможності авіаційних підприємств.

### Список використаних джерел:

1. Marion, J. W., Richardson, T. M., & Anantatmula, V. (2021). Managing Quality in Aviation Projects. *Engineering Management Journal*, 5-9.
2. Tírpáková, M.; Blišťanová, M.; Hanák, P.; Brůnová, L. (2021). Safety Management System in Aviation: Comparative Analysis of Safety Management System approaches in V4 Countries. *Management System in Production Engineering*, 29, 208-214.
3. Air France. URL: <https://corporate.airfrance.com/en/company>
4. British Airways. URL: <https://www.britishairways.com/en-gb/information/about-ba/csr/corporate-responsibility>
5. Czech Airlines. URL: <https://www.csa.cz/cz-en/about-us/>

### УДК 539.4

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПАЛИВНИХ СИСТЕМАХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТАХ

Сергій Шатило

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Носко П.Л., д.т.н., професор.*

Ключові слова: композитні матеріали, паливо, паливна система, трибопара

**Вступ.** Впровадження у конструкцію літальних апаратів композитних матеріалів поступово почалося із 70-х років минулого століття і набуло широкого поширення на сьогоднішній день. Планер найсучасніших зразків цивільної авіації майже, або повністю зроблений із композитних матеріалів, тож можливості їх впровадження різко зменшуються без спроб впровадження них у інші системи літака, такі як паливна.

**Основна частина.** Вже традиційно, із композитних матеріалів виробляють широку номенклатуру для літальних апаратів, таких як елементи інтер'єру, обшивки, лопаті гелікоптерів, а також силові елементи, такі як кесони крила, лонжерони. Як приклад, у

Boeing 787 Dreamliner та Airbus A350XWB, вміст композитів сягає 50 та 53 процентів від загальної ваги їх конструкції, що включає в себе фюзеляж, крило та оперення.

Основним композитним матеріалом, що зустрічається у конструкції літальних апаратів є вуглепластик та його варіації. Висока питома жорсткість, питома міцність, завдяки своїм характеристикам широкого застосування цей матеріал набув не тільки в авіаційній, а й у космічній галузі. Крім вуглепластиків на реактопластичній основі, також знаходять застосування й вуглепластикам на термопластичній основі, такі як РЕЕК, ПСУ, ПЕІ, ПЕС, з яких виготовляються елементи конструкцій, залізів. Також вуглепластики широко використовуються у сендвічних панелях, у поєднанні з іншими композитами, такими як склопластик. Жорсткість та міцність склопластика значно поступається вуглепластику, до того ж в останнього майже нульовий коефіцієнт лінійного розширення, на відміну від склопластика. У зв'язку з цим, зі склопластика виготовляють елементи конструкції, що не несуть великих навантажень, або ж використовують їх у комбінації з іншими композитами.

Варто зазначити, описане використання композитів не стосується навантажених тиском елементів, за винятком фюзеляжу. Використання композитних матеріалів у різного роду баках та балонах у авіакосмічній галузі річ не нова, але так й не набула широкого застосування. Наприклад, для проекту космічного корабля NASA X-33 було розроблено паливний бак з металевим, або феноло-арамідним лайнером, медіатором зі стільникового шару та епоксидним вуглепластиком зовні. Найбільш унікальними у цьому випадку є паливні баки гелікоптерів, в яких особлива увага приділяється ударній міцності баків при падінні, ушкодженні. Одним з рішень є м'яка, багат шарова конструкція, що складається із шарів поліуретану, армованого шаром арамідної тканини.

Загалом, можна підсумувати, що композитні матеріали у авіакосмічній галузі отримали дуже широке коло застосувань. Доцільно сказати, що простежується закономірність. Так, у високо навантажених вузлах, несучих конструкціях, використовуються вуглепластики, у середньо та низько навантажених склопластики, а в ударноміцних органопластики, тобто кевларові, чи арамідні.

Втім, є конструкції та системи літальних апаратів, у яких впровадження композитних матеріалів проводиться доволі повільно. Такими є, наприклад, рідинно-газові системи, ступінь впровадження композитів у які є доволі низьким. Це пояснюється рядом таких факторів, як агресивне середовище у вигляді хімікатів, рідин та нагрітих газів. Крім того, також до наведених систем висуваються дуже жорсткі умови щодо їх надійності, адже від них залежить безпека польоту. Слід зазначити, що у різних випадках, повністю композитні деталі працюють як під тиском, так і з агресивним середовищем. Так, як згадувалося вище, композитний фюзеляж сучасних літаків працює під внутрішнім тиском і є при цьому

критичним елементом з точки зору безпеки, втім не знаходиться у контакті в агресивним середовищем. Баки і балони, виготовлені з композитних матеріалів, завжди мають проміжний шар, що контактує з рідиною або газом. В основному цей шар виготовлений з титану, алюмінію чи сталі, у деяких випадках термопласт.

Тенденція на впровадження все більшої кількості композитних матеріалів на даний час стикається з проблемою того, що можливості з полегшення конструкції за рахунок планера вичерпуються. Таким чином, однією з можливостей і викликом у даному випадку є впровадження композитів у РГС літальних апаратів. Наразі відомі дослідження міцності авіаційних оболонок із композитів з урахуванням робочого середовища та експлуатаційного пошкодження, способи визначення величини деградації механічних характеристик оболонкових конструкцій з композитів із пошкодженням при впливі робочого середовища, встановлено закономірності деформування та руйнування композиційних оболонок з лейнером під внутрішнім тиском з урахуванням робочого середовища та пошкодження. Дослідження проводилися за стандартами ISO, із робочим середовищем у якості АМг10. Результати дослідження впроваджені на ДП "Антонов" та ТОВ "Прогрестех-Україна".

### **Висновок**

Відкритими у даному випадках залишаються питання взаємодії композитних оболонок із паливами, такими як бензин чи авіаційний керосин, їх робота під дією одночасно високих тисків та широкого температурного діапазону. До необхідних заходів також належить пошук, або розробка методів, стандартів із визначення триботехнічних характеристик процесів, що мають місце у парі композит-паливо.

### **Список використаних джерел:**

1. Дисертація "Міцність авіаційних оболонок із композитів з урахуванням робочого середовища та експлуатаційного пошкодження", Н. В. Бондар URL: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/40518>

**УДК 621.78.019.8(043.2)**

## **АНТИКОРОЗІЙНИЙ ЗАХИСТ ВЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ МЕТОДОМ ГАРЯЧОГО ЦИНКУВАННЯ**

**Максим Штейник**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Оксана Мікосянчик, д.т.н., проф.*

Ключові слова: антикорозійний захист, металоконструкції, покриття, стандарти ISO.

**Вступ.** Вежі стільникового зв'язку – висотні конструкції, призначені для установки техніки розпізнавання, прийому і передачі частот наземних радіостанцій, антен, мобільного 4G і звичайного мобільного зв'язку. Вежі та щогли мобільного зв'язку експлуатуються у складних умовах під постійним впливом атмосферних факторів (води, льоду, вітру, перепадів температур, ультрафіолету), тому першочерговим напрямом підвищення ресурсу таких металоконструкцій є їх антикорозійний захист. У виборі антикорозійного захисту основна увага приділяється швидкості руйнування основного покриття та необхідності його відновлення. Гаряче цинкування є одним із найважливіших і надійних методів захисту від корозії для широкого діапазону сталевих компонентів у багатьох сферах застосування. У Європі 1,3 мільйона тонн цинку використовується для гарячого цинкування приблизно 33 мільйонів тонн сталі щороку за допомогою двох виробничих технологій: безперервного гарячого цинкування для тонких листів і серійного гарячого цинкування для готових виробів або напівфабрикатів із сталі [1]. Сталь гарячого цинкування може слугувати до 50 років без значних корозійних пошкоджень та необхідності відновлення цинкового покриття [2]. В Україні надійними постачальниками послуг гарячого цинкування металоконструкцій є ТОВ «Компанія «Метал Інвест», ТОВ "ДП-УКРАЇНА", Єврофорвард та ін. Мета досліджень полягала в визначенні особливостей технологічного процесу гарячого цинкування металевих виробів на підприємствах України відповідно до міжнародних стандартів ISO та вимог ДСТУ.

**Матеріали та методи.** Антикорозійний захист металевих виробів методом гарячого цинкування контролюється відповідно до міжнародного стандарту ISO 1461 (формування покриття цинком та/або залізоцинковими сплавами на виробах з чавуну та сталі шляхом занурення готових виробів із сталі або чавуну в цинковий розплав), який визначає мінімальну товщину покриття, його загальні властивості та методи випробувань покриттів. Товщина антикорозійного покриття гарячим цинком становить від 70 до 120 мкм, що забезпечує антикорозійний захист виробу та відсутність експлуатаційних витрат не менше ніж 25 років.

**Результати.** Надійність технологічного процесу антикорозійного захисту металу методом гарячого цинкування залежить від якості підготовки поверхні, виріб має бути ретельно очищений від забруднень, окалини, жирів. Процес цинкування відбувається у ванні з розплавом, який містить не менш 98,5% цинку та інші добавки відповідно до технічних умов, при температурі близько 450°C. Надалі металоконструкцію покривають флюсом для активації поверхні, що покращує її взаємодію з цинком при зануренні. При взаємодії розплавленого цинку зі сталлю на границі з'являються Fe-Zn – інтерметалідні фази, які відрізняються кількістю цинку, що міститься у фазі, і кристалографічною структурою (рис. 1).

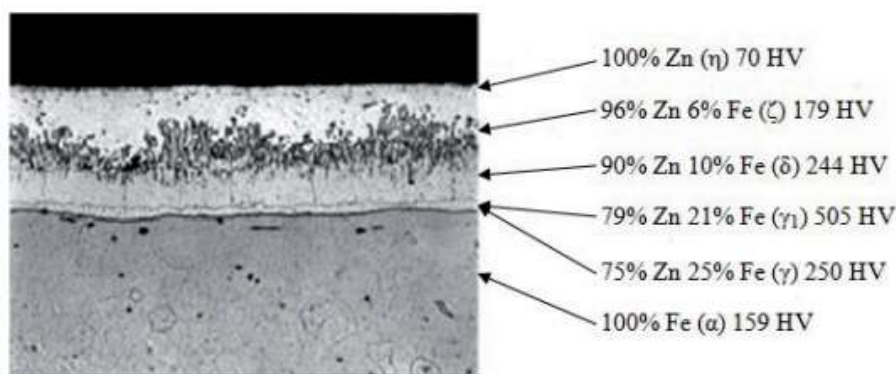


Рис. 1. Упорядкування інтерметалідної фази в антикорозійному цинковому покритті [3]

Розподіл інтерметалідних фаз має фундаментальний вплив на кінцеві характеристики покриття. Розплавлений цинк рівномірно вкриває поверхні складної конфігурації та проникає у важкодоступні місця, утворюється міцний захисний шар, який служить механічним та хімічним бар'єром від зовнішніх впливів – атмосферних факторів та механічних ушкоджень.

### Висновок

Проаналізовано ефективність антикорозійного захисту веж мобільного зв'язку методом гарячого цинкування відповідно до міжнародного стандарту ISO 1461 для підвищення ресурсу таких металоконструкцій.

### Список використаних джерел:

1. EGGA - European General Galvanizers Association (2021) Galvanized steel and sustainable construction - solutions for a circular economy (<https://www.galvanizingeurope.org/wp-content/uploads/2021/04/EGGA-Sustainability-Construction-Online-lock.pdf>). Accessed 27 Jan 2023.
2. Антикорозійні властивості. [URL:https://metalinvest.ua/ua/antikoroziyni-vlastivosti](https://metalinvest.ua/ua/antikoroziyni-vlastivosti) (дата звернення: 16.05.2023).
3. Černý M., Dostál P. Adhesion of zinc hot-dip coatings. *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2014. 1 (Vol. 62). P.53-64 <http://dx.doi.org/10.11118/actaun201462010053>

УДК 656.7.01:061.25ІСАО(043.2)

### АКРЕДИТАЦІЯ ВИПРОБУВАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЙ

Тетяна Кисельова, Олена Шолудько  
Національний авіаційний університет, Київ

Науковий керівник – Володимир Мельник, к.т.н., доцент

Ключові слова: акредитація, калібрування, метрологічне забезпечення.

**Вступ.** Сучасні стандарти якості накладають вимоги на випробувальні та калібрувальні лабораторії, які визначені в стандарті ДСТУ ISO/IEC 17025. Цей стандарт, відомий в Україні

вже протягом багатьох років, отримав нову версію наприкінці 2017 року, оприлюднену міжнародними організаціями стандартизації – ISO та IEC. У Європейському союзі ця версія відома як EN ISO/IEC 17025:2017, а в Україні – як ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019.

Важливо відзначити, що ISO/IEC 17025 застосовується не лише для акредитації випробувальних лабораторій національними агентствами, але й для організації роботи в самій лабораторії. Тому багато міжнародних випробувальних лабораторій декларують свою відповідність цим вимогам та на практиці регулярно їх виконують, щоб забезпечити якість вимірювань і випробувань. Це сприяє не лише довірі замовників до результатів, а й створенню конкурентоспроможної бази акредитованих лабораторій у Європейській спільноті, сприяє прозорій співпраці з оцінкою ризиків та перспектив.

### **Матеріали та методи.**

Було проведено аналіз впровадження стандарту ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019, які визначають загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій. Оцінка була здійснена для процедур вимірювання в європейських випробувальних центрах, включаючи Польщу, Австрію, Болгарію та інші країни. Проаналізовано також протоколи випробувань з метою оцінки їх відповідності стандарту. Основний акцент був зроблений на ретельному аналізі структури лабораторії, дотриманні вимог поточного стандарту і визначенні важливості підходу, спрямованого на управління ризиками.

**Результати.** У провідних країнах Європи випробувальні центри приділяють особливу увагу стратегіям та практикам безпеки, спрямованим на попередження можливих ризиків і небезпек у майбутньому. Ризикоорієнтований підхід у стандарті ISO/IEC 17025 передбачає зосередження уваги на ідентифікації, оцінці та управлінні ризиками, пов'язаними з процесами випробувань та калібрування. Замість традиційного підходу, що спрямований на виявлення помилок та усунення їх на пізніших етапах, ризикоорієнтований підхід передбачає заздалегідь передбачення можливих ризиків та прийняття заходів для їх запобігання чи зменшення впливу на результати випробувань або калібрування[1]. Такий підхід допомагає підвищити надійність, точність та достовірність результатів вимірювань і випробувань, що є ключовими аспектами забезпечення якості в лабораторних умовах. Особливу увагу приділяють точності вимірювань, яка визначається не лише за допомогою оцінювання невизначеності, але і відповідності вимогам та потребам клієнтів. Це означає, що точність вимірювань визначається також з урахуванням сумісності з визначеними вимогами та потребами [2]. Такий підхід сприяє вдосконаленню якості процесів вимірювань та забезпечує відповідність вимогам замовників. У європейських нормативних документах, зокрема в стандартах, точність зазвичай визначається через поняття "толерантності". Точність може

бути виражена у відсотках, десяткових частках або в межах відхилення від зазначеного значення. Таким чином, точність результатів вимірювань[3] може бути оцінена через: похибку, а саме фактори, які впливають на неточність результатів вимірювань, невизначеність через вплив міри недостатньої інформації про об'єкт вимірювання та правильність і прецензійність результатів вимірювання.

### **Висновок**

Після аналізу вимог ISO/IEC 17025:2017 стає очевидним, що нова редакція цього стандарту є кроком уперед у застосуванні метрологічних вимог до процесів вимірювання. Ці вимоги відповідають нормам, що визначені іншими міжнародними документами у сфері метрології.

- У новій версії ISO/IEC 17025, невизначеність вимірювань не представляє собою єдину кількісну характеристику точності, як це було визначено у попередніх версіях стандарту. Нормування цільової невизначеності вимірювань під час випробувань наразі не врегульоване;

- З урахуванням значної кількості стандартизованих методів вимірювань, наочно видається необхідність критичного підходу до вибору адекватного методу та попередній аналіз до початку впровадження стандартів.

Впровадження стандарту ISO/IEC 17025:2019 у випробувальних та калібрувальних лабораторіях України повинно бути таким масштабним, щоб це було достатнім для вирішення відповідних потреб у конкретній галузі або області, і безумовно, воно є важливим стратегічним кроком для досягнення значних результатів. Відповідно до звіту НААУ, в даному напрямку вже не лише проводяться суттєві роботи, але й успішно завершено частину.

### **Список використаних джерел:**

1. ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій)

**УДК 621.01: 62-883**

## **ШЛЯХИ ТЕХНІЧНОГО УДОСКОНАЛЕННЯ МАШИН З БЕЗКОНТАКТНИМИ ПРЯМИМИ ПРИВОДАМИ НА АЕРОСТАТИЧНИХ ОПОРАХ ТА ОЦІНКА ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ**

**Андрій Харченко, Олексій Брешев**  
*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Павло Носко, д.т.н., проф.*

Ключові слова: безконтактні опори, змащення, модернізація.



Безконтактні опори, в яких рухомі й нерухомі опорні поверхні деталей розділені газовим, рідинним або газо-рідинним змащенням, а реакції опор передаються без твердотільного механічного контакту - за допомогою гідро- або газодинамічних сил, - дають змогу реалізувати цілу низку техніко-технологічних переваг і підвищити ефективність машин різного призначення.

У найзагальнішому випадку можна визначити такі основні напрямки вдосконалення (модернізації) безконтактних приводів:

1. Модернізація конструкції його вузлів або структурних компонентів, наприклад, кожної з аеростатичних опор, вала, турбіни, робочого або виконавчого органу.

2. Модернізація конструкції всього приводу - визначення розмірів і взаємного розташування та впливу вузлів або структурних компонентів у складі єдиної механічної системи приводу.

3. Розроблення способів і розширення діапазонів регулювання вихідних параметрів і характеристик, а також параметрів, що визначають статичну і динамічну стійкість.

4. Дослідження і налагодження приводу як єдиної механічної системи. Воно ґрунтується на регулюванні параметрів опор, зміні конструкцій вала й опорної системи (за розмірами, типом і розташуванням опор тощо), робочих органів та інструменту, зміні режимів технологічних процесів, що реалізуються.

Оцінка ефективності запропонованих рішень базується на забезпеченні динамічної стійкості приводу за досягнутого підвищення навантажувальної здатності та жорсткості, зниженні витрат технологічного повітря, зменшенні масогабаритних параметрів.

### **Висновок**

На основі аналізу характеристик аеростатичних опор запропоновано напрями та реалізовано модернізацію одноопорної аеростатичної системи приводу. Її суть полягає в переході від симетричної здвоєної конічної конструкції до несиметричної конічно-кільцевої конструкції.

### **Список використаних джерел:**

1.Павлище, В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин [Текст] / В. Т. Павлище. – Львів: Афіша, 2003. – 560 с.

2.Nosko, P. The concept of creating non-contact drive for working bodies in machines of various purpose [Text] / P. Nosko, V. Breshev, P. Fil // Polish Academy of sciences in Lublin TEKA Commission of motorization in agriculture. Vol. VIIIA. – Lublin, 2008. – P. 126–133.

3.Nosko, P. Developments in technology of non-contact drives for working machines [Text] / P. Nosko, A. Breshev, P. Fil, V. Breshev // Polish Academy of sciences in Lublin TEKA Commission of motorization in agriculture. Vol. XC. – Lublin, 2010. – P. 209 – 216.

УДК 621.891

**ОГЛЯД УМОВ ІСНУВАННЯ КОНТАКНОЇ ЗОНИ ТЕРТЯ****Марія Трофименко***Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник Михайло Свирид, к.т.н., доц.*

Ключові слова: Сила тертя, контактна зона, потужність магнітного поля, навколишнє середовище

**Анотація:** Стаття досліджує вплив термопружності на рухомі з'єднання, такі як підшипники ковзання і болтові з'єднання, та вказує на важливість урахування температурного чинника у цих процесах. Результати чисельного аналізу показують, що врахування теплоутворення значно підвищує значення контактного тиску в центрі контактної області та збільшує прогнозований знос шару. Результати вказують на необхідність урахування температурного впливу при проектуванні та експлуатації рухомих з'єднань.

Термопружність істотно впливає на рухомі з'єднання, такі як підшипники ковзання або болтові з'єднання. Необхідно відмітити, що підшипники працюють в умовах тертя кочення з змащенням в рідких оливах густих мастилах. Болтові і клеपालні з'єднання не змащуються, але мікропереміщення між матеріалом «болот-гайка», «заклепка- листи дюралюмінію» також існують. Такий вид тертя називається «фретингом». Тертя без доступу повітря згідно ГОСТ називається «тертя без змащування».

Проте, крім загального впливу від навколишнього середовища (повітря яке в своєму складі має кисень і азот) вмістом в атмосфері є магнітне поле (МП) на нашій паралелі потужність МП становить  $B=0,0005$  Т (тесла). Таким чином тертя без зовнішнього впливу не існує.

При сумісному переміщенні двох поверхонь завжди утворюється підвищення температури і врахувати заздалегідь його направлення а тим більше величину дуже складно. Основна складність, що виникає при вирішенні поставленої математичної задачі, полягає у тому, що неможливо наперед визначити як саме тепловий потік розподілиться між тілами. У монографії [1] одним з шляхів вирішення вищезазначеної проблеми є спрощення, що полягає у припущенні коефіцієнту розподілу теплового потоку сталим, в межах контактної області. Для окремого випадку радіального підшипника ковзання запропоновано використовувати чисельний метод.

Особливістю робіт де одночасно розглядаються зношування та температура, є залежність спрацювання тіла від контактного тиску. Вплив же температури реалізується включенням теплового впливу на переміщення в умовах контакту. У статті [2] теплота представлена градієнтом температури на поверхні контакту, що дозволяє більш точно відтворити теплові деформації та їх вплив на процес тертя та зношування. А також вказана

залежність інтенсивності спрацювання елемента пари тертя від градієнта. У роботі [3] для шару прийнято двохфакторний закон спрацювання у вигляді залежності інтенсивності спрацювання від контактного тиску та температури, зумовленої теплоутворенням під час фрикційного контакту.

Для постановки контактної задачі з'єднання «циліндр-кільцевий шар» у статті [3] використано модель зчеплення жорсткого циліндра з еластичним кільцевим шаром, де враховується обертання циліндра та навантаження, що діє на нього. Оскільки взаємодія між тілами включає контактну зону з можливим теплоутворенням, сили тертя та зношування враховуються як додаткові фактори у розв'язанні контактної задачі. Математична ж задача містила в собі умову контакту, умову рівноваги циліндра та крайові умови. В результаті розв'язування контактної задачі було визначено розподіл контактного тиску, пружні переміщення, знос шару та змінюваний кут контакту як функцію шляху тертя.

Для моделювання впливу температурного чинника на зносоконтактні параметри потрібно мати числовий аналіз, який дає наступні параметри зношування:

1. Вплив теплоутворення уа контактний тиск є значним, оскільки врахування першого призводить до підвищення значень другого в центрі контактної області.
2. Прогнозований знос шару суттєво збільшується при врахуванні температурного впливу.
3. Внутрішній температур істотно змінюється лише в області контакту, поза якою він практично однаковий.

### **Висновок**

В огляді розглянуто вплив термопружності на рухомі з'єднання, зокрема підшипники ковзання та болтові з'єднання, наголошено на важливості урахування температурного чинника. Зауважено, що підшипники працюють умовах тертя кочення з змащенням, у той час як болтові з'єднання піддаються "фретингу". Також зазначається, що вплив температури на зношування та тертя враховується через тепловий вплив на переміщення в умовах контакту. Результати чисельного аналізу підтверджують, що врахування теплоутворення призводить до підвищення контактного тиску та збільшення зносу шару.

### **Список використаних джерел:**

1. Богатин О.Б., Моров В.А., Черский И.Н. Основы расчета полимерных узлов трения. – Новосибирск: Наука, 1983. – 216 с.
2. Щучев К.Г., Филипчук А.И., Рыжкин А.А., Климов М.М. Взаимосвязь характеристик температурного поля пары трения с интенсивностью изнашивания // Трение и износ. – 1985. – Т. 6. – № 1. – С. 153-157.
3. Сулим Г., Любін.О., Вплив теплоутворення на контактну взаємодію у з'єднанні «циліндр-зношувальний кільцевий шар» - XIII Internation Colloquium "MECHANICAL 510 FATIGUE OF METALS". 2006. С. 510 – 517.

УДК 531.1

**МЕХАНІКА СЕЙСМІЧНИХ КОЛИВАНЬ****Максим Остапчук, Ксенія Шека, Анна Ремська***Національний Авіаційний Університет, Київ**Науковий керівник – Григорій Голембієвський, ст. викл.*

Ключові слова: коливання, динаміка, сейсмічні хвилі, землетрус, тектонічні процеси

**Вступ.** Загальною формою існування матерії є рух. Вивчення механічного руху (зміни положення тіл у просторі залежно від часу) ґрунтується на застосуванні законів та рівнянь динаміки. Коливання – один з найпоширеніших видів руху в природі й техніці. Коливання може мати різне походження, але незалежно від природи виникнення коливального руху, вони мають спільні загальні властивості, та описуються математичними рівняннями. Особливе місце займають дослідження землетрусів. Землетрус – це підземні удари та коливання поверхні Землі, спричинені переважно природними явищами, які створюють сейсмічні хвилі, що поширюються з високою швидкістю у ґрунті.

**Механіка сейсмічних коливань.** Визначення природи землетрусів і їх зв'язок з тектонічними процесами, реєстрація та розпізнавання осередків землетрусів і закони поширення сейсмічних хвиль дають можливість прогнозувати їх виникнення з метою розроблення технологій будівництва стійких до підземних ударів конструкцій та споруд.

Зрушенню земної кори перешкоджають сили тертя, але коли напруга досягає критичного рівня, відбувається різке зміщення з розривом порід, енергія сил тертя знаходить вихід в рухах, коливання від яких поширюються на увсебіч.

Від осередку землетрусу до поверхні Землі навсібіч поширюються сейсмічні хвилі у вигляді пружних згасаючих коливань, характер і швидкість руху яких залежать від пружних властивостей і щільності земних порід. Частотний діапазон цих хвиль від 0,001 до 100 Гц.

Існують два головних типи сейсмічних хвиль: об'ємні хвилі і поверхневі хвилі.

Об'ємні хвилі поширюються від гіпоцентру землетрусу, а поверхневі хвилі – від епіцентру. Коли виникає землетрус, прилади поблизу епіцентру першими записують *об'ємні хвилі* (поздовжні і поперечні). Найшвидші з об'ємних хвиль, які першими реєструються на сейсмограмах, це *поздовжні сейсмічні хвилі*. Їх позначають як Р-хвилі, або *первинні хвилі* (лат. *prima* – перша), які викликають коливання частинок порід, деформуючи середовище крізь які вони проходять, уздовж напрямку поширення хвилі, обумовлюючи чергування ділянок стискання і розтягання в породах. Більш повільні об'ємні хвилі, що проходять через гірські породи, це *поперечні сейсмічні хвилі*, які називають також *вторинними*, або S-хвилями (*secundo* – друга). При розповсюдженні вони зрушують частки речовини під прямим

кутом до напрямку свого шляху. Швидкість S-хвиль становить приблизно  $7/12$  від швидкості поширення P-хвиль.

Другий тип сейсмічних хвиль – *поверхневі хвилі* скорочено позначаються як L-хвилі (від лат. *longa* – довгі) і по суті є суперпозиціями P- і S-хвиль. L-хвилі поширюються уздовж земної поверхні або паралельно до неї і глибоко у товщу землі не проникають. У цій групі виділяють *хвилі Лява* та *хвилі Релея*. Швидкість поширення цих хвиль становить 2 – 4 км/с.

Реєстрація коливань земної поверхні під час землетрусів проводиться за допомогою спеціальних пристроїв – *сейсмографів*. Запис рухів земної поверхні, зроблений за допомогою сейсмографа, називають *сейсмограмою*. Сейсмограма відображає амплітуду коливань ґрунту і їх частоту з плином часу.

Для характеристики землетрусу застосовують такі поняття, як інтенсивність ( $I$ ) землетрусу, магнітуда ( $M$ ) та повна енергія ( $E$ ).

Швидкість сейсмічних хвиль залежить від фізичних характеристик ґрунтів. Щоб визначити швидкості поздовжніх  $V_p$ , поперечних  $V_s$  і поверхневих  $V_L$  хвиль використовують співвідношення:

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}}; \quad V_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\mu)}}; \quad V_L = 0,9V_s, \quad (1.1)$$

де  $E$ ,  $\rho$  і  $\mu$  – модуль пружності, щільність і коефіцієнт Пуассона матеріалу однорідного середовища відповідно.

### **Висновок**

Дослідження сейсмічних коливань є важливою частиною науки, яка допомагає нам краще розуміти світ. Сейсмологія використовує різні методи для вивчення цих явищ, включаючи використання сейсмографів та розробку стратегій зменшення ризику та забезпечити своєчасне попередження.

### **Список використаних джерел:**

1. Продайвода Г.Т. Сейсмометрія: підручник / Г.Т. Продайвода, П.М. Кузьменко, А.П. Тищенко, О.А. Трипільський – К.: ВПЦ “Київський університет”, 2018 – 527 с
2. Закревський В.О. Теоретична механіка. Динаміка: навч. посібник /В. О. Закревський.– К.: Вид-во Нац. Авіа. ун-ту «НАУ-друк», 2009 – 136 с.
3. Engineering mechanics. Dynamics. / R.C. Hibbeler – Pearson Prentice Hall, Pearson Education, Inc., New Jersey, USA, 2010. – 752p.

**AUTOMATION AND ENERGY EFFICIENCY ON AVIATION TRANSPORT****UDC 519.7:519.85****OPTIMIZATION MODELS OF ENERGY SYSTEMS****Dmitro Gila***National Aviation University, Kyiv**Scientific head – Oleksandra Churina, Ph.D., Associate Professor.*

Keywords: energy system, mathematical programming

Modeling of energy systems represents simulation, optimization, equilibrium modeling. Simulation modeling involves the representation of the energy system as a set of equations and characteristics. When building simulation models, it is advisable to provide a technological description of the energy system [1,2].

Optimization models of energy systems use mathematical programming methods, most often - linear programming with an objective function that is studied for a minimum or a maximum under the condition of meeting resource constraints.

Linear programming with mixed integer programming is also used in the modeling of energy systems. Optimization models of the studied energy systems can be non-linear in case of extremism of non-linear objective functions or consideration of non-linear constraints of the optimization energy problem [1,2]. Heuristic programming models are used when modeling ergical energy systems in their current state, which can be used to approximate the optimal solution of the energy optimization problem. Equilibrium modeling reproduces the balance of the electricity market. Energy modeling systems are software tools that can be used to simulate the energy system.

Therefore, energy systems research tools are used to create mathematical models of energy systems. At the current stage of development of energy systems, energy modeling systems are being developed, the main purpose of which is to solve optimization problems of energy system management processes.

Methodological foundations of creating mathematical models of energy systems, as well as methods of solving energy system modeling problems are the main features of the classification of energy modeling systems.

**Conclusions**

The optimization problems of energy system modeling represent the problems of mathematical programming - namely, linear, nonlinear, integer, stochastic, heuristic programming. Most often, these are large-scale mathematical problems.

**References**

1. Saukh, S. E. Mathematical modeling of electric power systems in market conditions:

monograph / S. E. Saukh, A. V. Borysenko. — K.: "Three K", 2020. — 340 p.

2. Optimization of modes of electric networks with renewable sources of electricity: monograph / P. D. Lezhniuk, O. E. Rubanenko,– Vinnytsia: VNTU, 2018. – 174 p.

**UDC 522.7:519.17**

## **AIRCRAFT ELECTRICAL POWER SUPPLY SYSTEMS**

**Fu Wenqing**

*National Aviation University, Kyiv*

*Scientific supervisor–Sergij Tovkach., Ph.D., Associate Professor*

Keywords: aircraft, electrical power system, aircraft power systems

The energy needed for civil aircraft operating nowadays is broken down into the following categories: The most fundamental energy source is the aviation engine, which changes kerosene energy into mechanical energy and kinetic energy. Then the engine powers onboard hydraulic pumps, generators and other accessories for the various aircraft systems, providing the necessary electrical and hydraulic energy. Science and technology advancements have resulted in a significant rise in the amount of electrical equipment on board, increasing the demands placed on the airplane's power supply system.

The power supply system and the on-board power distribution system make up the aircraft power supply system. The primary function of the aircraft power system, it is primarily made up of generators, controllers, protectors, storage batteries and other important equipment, is to supply power energy of different qualities in accordance with the needs of the use of power equipment on board: The primary function of the distribution system, that is mostly made up of cables, circuit breakers, convergent strips, and other protection devices, is to supply power to the various units of power-consuming equipment while also protecting the power supply's normal function.

High-quality power supplies meeting precise technical requirements for voltage regulation precision, frequency regulation accuracy, sinusoidality of the AC voltage waveform, and voltage surges and spikes are necessary for aviation electrical equipment.

Multi-engine aircraft use many generators as an engine typically has one to two generators. In a DC power system, each generator operates in parallel. Some AC generators operate in parallel (such as the Boeing 707 aircraft 4 generators), while others do not (such as the "Trident" aircraft 3 generators). Avoid working alongside the AC in parallel. The power system is comparatively simple and the parallel system is more complex. But the power supply has a high quality and is difficult to interrupt due to its capacity, load fluctuations, and frequency of impact.

The aircraft power system has experienced the development process of low-voltage DC, AC, high-voltage DC, of which the AC power supply has experienced constant speed and constant frequency, variable speed and constant frequency, variable speed and variable frequency.

## Conclusions

Every type of aircraft has an essential system called the aircraft power supply system, whose mode of operation and security directly impact the aircraft's flight safety. Its design is reasonable or reasonable enough to directly reflect the advanced type of aircraft, so all on-board ad hoc systems and equipment function according to the aircraft when the aircraft power supply system is considered to be reliable.

## References:

1. Liu Jianying, Ren Renliang. Aircraft power systems, Civil Aviation Administration of China (CAAC) Press, 2013. ISBN 978-7-5128-0096-0
2. Aviationhunt-<https://www.aviationhunt.com/aircraft-electrical-system/>

UDC 522.7: 17

## MODERN AVIATION TECHNOLOGIES

**Zhao Kehan**

*National Aviation University, Kyiv*

*Scientific supervisor—Sergij Tovkach, Ph.D., Associate Professor*

Keywords: aircraft, modern aviation technologies, aircraft power systems

Modern aviation technology refers to the technical means used in the design, manufacture, improvement and use of aircraft. These technical means include flight principles, aerodynamics, structural mechanics, control systems etc [1].

In the modern aviation industry, in addition to mastering traditional aviation technical means, it is also necessary to master newer materials and process technologies, as well as advanced electronic technology, computer technology, etc. Therefore, modern aviation technology is constantly developing and improving [2].

The importance of modern aviation technology in human society cannot be ignored. It has made important contributions to the development of aviation, aerospace, national defense and other fields.

1. Develop civil aviation transportation
2. Achieve national defense goals
3. Explore space voyages and planetary exploration
4. Contribute to environmental protection and resource conservation

In modern aviation technology, many important principles are involved, which are important guarantees to ensure that the aircraft can fly safely and complete the predetermined mission objectives.



1. The flow principle of airflow
2. The aerodynamic principle required by solids
3. Theoretical principle of rudder control
4. Theoretical principle of aerodynamic optimization
5. The dynamic principle of combustion engine

Modern aviation technology and computer technology can be said to complement each other. The rise of computer technology has provided strong technical support for the development of modern aviation technology, and the development of modern aviation technology has also provided strong support for the research of computer technology [3].

The integration of modern aviation technology and computer technology is mainly manifested in the following aspects:

1. Design, manufacture and testing of aircraft
2. Flight control of aircraft
3. Performance analysis and optimization of aircraft
4. Maintenance and repair of aircraft

### **Conclusions**

Modern aviation technology is one of the most active and rapidly developing fields of science and technology in the 20th century in the process of human beings understanding and transforming nature, and has the greatest impact on human social life. It is also an important symbol of the advancement of a country's science and technology. Modern aviation technology is a highly comprehensive modern science and technology that comprehensively utilizes the latest achievements of basic science and applied science and the latest achievements of engineering technology. The progress of science and technology such as mechanics, thermodynamics, materials science, electronic technology, automatic control theory and technology, computer technology, jet propulsion technology, and manufacturing technology has greatly promoted the progress and development of modern aviation technology.

### **References:**

1. Lukas Schuchard, Maximilian Bien. A Study on Quantities Driving Maintenance, Repair and Overhaul for Hybrid-Electric Aeroengines. Conference, ASME Turbo Expo 2023, 100915. [https:// doi: 10.1115/GT2023-100915](https://doi.org/10.1115/GT2023-100915).
2. EUROCAE standarts for future aviation. <https://www.eurocae.net> (Accessed: 05.04.2024).
3. Shivam Patel, David Wu. Development of an Experimental Combustion for Hybrid Electric Gas Turbines. Conference, GPPS Chania 2022, 98. [https:// doi: 10.33737/gpps22-tc-98](https://doi.org/10.33737/gpps22-tc-98).

UDC 522.7: 17

## AVIATION TECHNOLOGIES TRENDS

**Andrii Karchevskiy**

*National Aviation University, Kyiv*

*Scientific supervisor – Sergij Tovkach, Ph.D., Associate Professor*

Keywords: Sustainable Aviation Fuels, Unmanned Aerial Vehicles, Composite Materials.

Recent years have seen tremendous technology developments in the aviation sector, leading to increases in sustainability, efficiency, and safety. By examining the cutting-edge technologies influencing contemporary aviation, this thesis seeks to offer insight on the possible uses and effects of these technologies. The growing demand for air travel and the industry's dedication to lessening its environmental impact and improving operational skills highlight the topic's significance.

Several recent studies have delved into the realm of modern aviation technologies. Researchers have investigated the development of sustainable aviation fuels [1], the integration of unmanned aerial vehicles (UAVs) into airspace [2], and the application of advanced materials in aircraft design.

Additionally, the implementation of next-generation air traffic management systems and the increasing adoption of electric propulsion systems [3] have garnered significant attention within the scientific community.

### **Materials and Methods**

This research investigates three key areas of modern aviation technologies: sustainable aviation fuels, unmanned aerial vehicles (UAVs), and advanced materials for aircraft design.

Using life cycle assessment (LCA) techniques, the feasibility and environmental effects of sustainable aviation fuels were evaluated. In particular, the energy consumption and greenhouse gas emissions linked to several fuel production paths were measured using the GREET model created by Argonne National Laboratory [4].

Agent-based modeling tools were used to analyze the integration of UAVs into airspace. Utilizing the MIT computational model for air traffic flow management, the interplay between human and unmanned aircraft was simulated across several operating situations.

The application of computer modeling techniques was shown in the field of advanced materials. Utilizing ABAQUS software, finite element analysis (FEA) was carried out to assess the failure mechanisms and structural performance of composite materials under various loading scenarios that are pertinent to aerospace applications.

### **Results**

*Sustainable Aviation Fuels.* When compared to traditional petroleum-based jet fuel, sustainable aviation fuels made from biomass and waste sources offer significant reductions in

greenhouse gas emissions, according to the life cycle evaluation carried out using the GREET model. In particular, fuels made from municipal solid waste showed reductions in carbon footprints of 70–80%, whereas fuels made from woody biomass and agricultural leftovers showed reductions in carbon footprints of 50–70%.

*Unmanned Aerial Vehicles.* The agent-based simulations demonstrated how unmanned aerial vehicles (UAVs) might reduce airspace congestion and boost operational effectiveness. The model predicted a 15-20% decrease in air traffic delays at major hubs by utilizing UAVs' autonomous capabilities for activities like cargo transfer and aerial surveillance [8].

*Advanced Materials* Advanced composite materials' better strength-to-weight ratios over conventional aluminium alloys were shown using finite element analysis. A fuselage design made of carbon fibre reinforced polymer (CFRP), for example, demonstrated a 25% weight reduction with same structural integrity [5]. The simulations also showed that the specific strength and energy absorption capacity of aerospace composites might be further improved by the careful use of sandwich structures and lattice arrangements.

## Conclusions

Research on contemporary aviation technology has produced insightful findings and significant progress. There is a great deal of promise for sustainable aviation fuels made from waste streams and biomass to lessen the environmental effect of flying and create a more sustainable aviation sector. If reliable sense-and-avoid systems can be developed, the introduction of unmanned aerial vehicles into airspace might reduce traffic and boost operational effectiveness.

## References:

1. Clothier, R.A., Greer, D.A., Greer, D.G. and Mehta, A.M., 2015. Risk perception and the public acceptance of drones. *Risk analysis*, 35(6), pp.1167-1183.
2. Gnadt, A.R., Speth, R.L., Sabnis, J.S. and Barrett, S.R., 2019. Technical and environmental assessment of all-electric 180-passenger commercial aviation. *Progress in Aerospace Sciences*, 105, pp.1-30.
3. Argonne National Laboratory, "GREET Model," <https://greet.es.anl.gov/>
4. Balakrishnan, H. and Chandran, B., 2010. "Algorithms for scheduling runway operations under constrained position shifting." *Operations research*, 58(6), pp.1650-1665.
5. Results summarized from GREET model analyses, see Appendix A for detailed output.

## UDC 521.7: 519.17

### TECHNOLOGICAL ADVANCES IN MODERN AVIATION: IMPLICATIONS, CHALLENGES AND FUTURE PERSPECTIVES

**Matías Rolando Encalada Simbaña**  
*National Aviation University, Kyiv*

*Scientific supervisor – Sergij Tovkach, Ph.D., Associate Professor*

Keywords: Aviation, Aircraft Structures, aerodynamics.

Modern aviation has experienced significant technological advances in recent decades, which have radically transformed the way we travel and connect with the world. These advances have not only improved the efficiency and safety of flight, but have also raised new challenges and ethical considerations that deserve careful attention [1]. We will explore the evolution of aviation technologies, analyze their impact on industry and society, and reflect on the challenges and future prospects facing this exciting field. The evolution of aviation technologies has been a continuous process that has led to significant improvements in aircraft performance, efficiency and safety. From early wood and fabric aircraft to modern carbon fiber and titanium aircraft, the industry has seen a number of key advancements over time [2].

*Aircraft Structures:* Initially, airships were constructed primarily of materials such as wood and fabric. Over time, more advanced materials were introduced, such as aluminum and carbon fiber composites, offering greater strength and lightness.

*Propulsion:* The first aircraft were powered by piston engines, which were replaced by more powerful and efficient gas turbine engines. The introduction of jet engines revolutionized aviation, allowing higher flight speeds and greater range.

*Avionics:* Avionics have seen significant advancements, from basic navigation systems to modern digital avionics systems. Avionics systems include flight instruments, communication systems, satellite navigation systems, and flight management systems.

*Aerodynamics:* Aerodynamics has been fundamental in the design of more efficient and aerodynamic aircraft. Advances in the understanding of aerodynamics have led to the design of more efficient wings, optimized airfoils and more advanced flight control systems.

*Flight Control Systems:* Flight control systems have evolved from manual controls to fully electronic fly-by-wire systems. These systems provide precise aircraft control and increased safety in all flight conditions. [3] The impact of aviation technologies on industry and society has been profound and far-reaching, transforming the way we travel, trade and connect globally. Below are some of the most relevant aspects of this impact:

1. *Transformation of the Aviation Industry:* Advanced technologies have enabled the creation of more efficient, safer and more comfortable aircraft, driving the growth and expansion of the aviation industry.

2. *Improved Safety and Efficiency:* Advances in technology have significantly improved the operational safety of aircraft, reducing the incidence of accidents and increasing public confidence in air transportation. The implementation of automated flight management systems, such as autopilot and fly-by-wire flight control systems, has increased the precision and efficiency of flights.

3. *International Trade Facilitation:* Modern aviation has enabled greater global connectivity, facilitating international trade and the mobility of goods and people around the world. Cargo planes have revolutionized logistics and distribution, allowing the rapid and efficient transportation of goods over long distances.

4. *Socioeconomic Impact:* The aviation industry generates employment and contributes significantly to economic growth in terms of tourism, trade and regional development. The availability of affordable commercial flights has democratized air travel, allowing more people to access travel experiences and business opportunities around the world.

5. *Continuous Technological Development:* The rapid advancement of technology in aviation continues to drive innovation in areas such as propulsion, avionics, aerodynamics and aircraft construction materials.

These technological advances promise to further improve the efficiency, safety and sustainability of aviation in the future.

### **Conclusions:**

In conclusion, the study of technological advances in modern aviation reveals a fascinating panorama of transformations, challenges and opportunities that affect both the aviation industry and society in general.

Overall, the study highlights the importance of continuing to innovate and collaborate in the search for advanced technological solutions that drive aviation towards a safer, more efficient and sustainable future.

### **References:**

1. Liu Jianying, Ren Renliang. Aircraft power systems, Civil Aviation Administration of China (CAAC) Press, 2013. ISBN 978-7-5128-0096-0
2. Aviationhunt-<https://www.aviationhunt.com/aircraft-electrical-system/>
3. Balakrishnan, H. and Chandran, B., 2010. "Algorithms for scheduling runway operations under constrained position shifting." *Operations research*, 58(6), pp.1650-1665.

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ НА АВІАЦІЙНОМУ ТРАНСПОРТІ**

УДК 521.623

**СИНХРОННИЙ ГЕНЕРАТОР****Святослав Корецький***Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник – Віктор Тихонов, д.т.н., доц.*

Ключові слова: синхронний генератор, синхронний генератор, асинхронний двигун, магнітопровід, магнітний шунт, електрична енергія.

Синхронний генератор (рис.1) містить ротор з постійних магнітів, магнітопровід статора і кільцевий зубчастий магнітопровід (магнітний шунт). У пазах магнітопроводу статора і кільцевого зубчастого магнітопроводу (шунта) розміщені як ірна обмотка і тороїдальна обмотка регулювання [1]. Недоліками синхронного генератора невисока точність стабілізації напруги внаслідок відсутності регулятора напруги та збільшення обсягу магніту за рахунок відгалуження частини магнітного потоку в шунти.

Метою запропонованого рішення є отримання двох видів напруги та зниження масогабаритних показників, що вирішується за рахунок використання двох статорів з різними числами витків та ротора з постійними магнітами. Для регулювання напруги на обох статорів є магнітні шунти з обмотками підмагнічування, які включені на блоки регулювання.

На рис. 1 зображена конструктивна схема поздовжній переріз, який складається з статора 1 з магнітним шунтом 2, статора 3 з магнітним шунтом 4, корпусу 5, ротора 6, розміщеного за допомогою маточини 7 на валу 8.

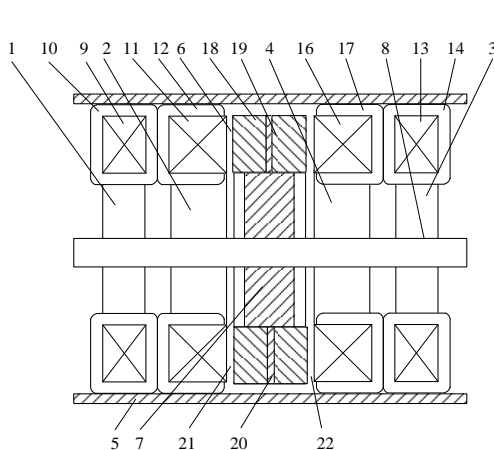


Рис. 1.

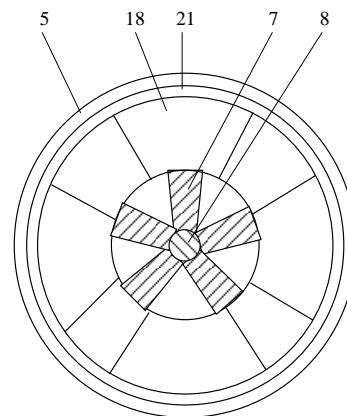


Рис. 2

Синхронний генератор (рис. 2) представлений у вигляді поперечного розрізу ротора в місці розташування провітреного простору 20 між ротором 6 та корпусом 5. Між магнітопроводом 11 магнітного шунта 2, магнітопроводом 15 магнітного шунта 4 і ротором 6 є повітряні зазори 21 і 22.

На рис. 3 зображена схема ввімкнення обмоток синхронного генератора. Обмотка підмагнічування 12 та 16 отримує живлення від блоків регулювання напруги 23, 24.

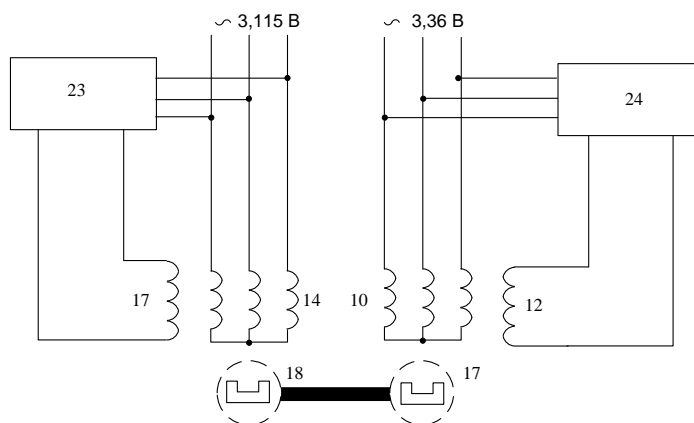


Рис. 3

Схема роботи синхронного генератора наступна:

При перетинанні магнітним потоком постійних магнітів 17,18 обмоток 10 та 14 в наслідок різних чисел витків наводяться різні електрорушійні сили (ЕРС), що поступають на навантаження. Величини ЕРС залежать від магнітних потоків які зчеплені з вітками обмоток 10 та 14. Величини магнітних потоків, які зчеплені з вітками обмоток 10 та 14 в свою чергу залежать від потоків магнітних шунтів 2 та 4. Внаслідок зміни величини магнітних потоків магнітопроводу 11 та 15 магнітного шунта 2 та 4, можна змінювати величину магнітного потоку статорів 1 та 3:

- при збільшенні струму в обмотці підмагнічування 12 або 16 магнітний опір магнітопроводу 11 магнітного шунта 2 та магнітопроводу 15 магнітного шунта 4 збільшується..

- при зменшенні струмів у обмотках підмагнічування 12 та 16 зменшується ЕРС у обмотках 10 та 14. Це означає що шляхом регулювання струмів в обмотках підмагнічування 12 та 16 через блоки регулювання 23 та 24 можна регулювати напруги генераторів.

Відсутність додаткової машини для забезпечення регулювання дозволяє знизити масогабаритні показники.

### Висновок

Отже, запропонований синхронний генератор, за рахунок виконання магнітопроводів статора та ротора витими з розміщенням на статорах обмоток, що з'єднані за схемами "зірка" з різними числами витків, а також застосуванням магнітних шунтів з обмотками підмагнічування без додаткової машини, забезпечити можливість регулювання напруги генераторів, та мати генератори з різними напругами.

### Список використаних джерел:

1. Патент на корисну модель № 94191 від 10.11. 2014.

УДК 629.78

## БІОЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ ЯК ВИД "ЗЕЛЕНОЇ" ЕНЕРГЕТИКИ В АВІАЦІЙНІЙ ГАЛУЗІ

Дмитро Жила

Національний авіаційний університет, Київ

Науковий керівник – Ільєнко Сергій Сергійович, к.т.н., доц.

Ключові слова: авіація, біоенергетика, біопаливо, альтернативні джерела енергії, шкідливі викиди, водень.

**Вступ.** У сучасному світі авіаційна галузь постійно стикається з ростом вимог до зменшення впливу на довкілля та зменшення шкідливих викидів. Одним із стратегічних напрямів в цьому контексті є впровадження технологій "зеленої" енергетики. Деякі дослідницькі програми, досліджують можливість використання водню як альтернативного джерела енергії для авіаційних двигунів. Водень може бути вироблений зеленою енергією, що робить його відновлюваним джерелом палива. Впровадження "зелених" технологій в авіаційну галузь є актуальними та стратегічно важливим питанням для забезпечення сталого розвитку та збереження екологічної стійкості. [1]

Для наукового обґрунтування результатів досліджень використання альтернативних джерел енергії в авіації використаний експериментальний метод, а саме використання водневих-двигунів в сукупності з турбінним двигуном. Детально розглянуто перспективи розвитку відновлювальної енергетики в авіаційній галузі та в цілому.

Рушійними факторами активного розвитку поновлюваної енергетики є чинники, пов'язані перш за все з енергетичною безпекою. Саме біопаливо сьогодні є альтернативою традиційним видам палива. У довгостроковій перспективі постійно зростаючий попит на біопаливо з боку наземного, повітряного і морського транспорту може кардинально змінити ситуацію на світовому енергетичному ринку. [2] Розглянемо *трьохпаливну систему дизеля*, як приклад високотехнологічної системи, яка працює на мінеральному та рослинному біопаливі (рис. 1)

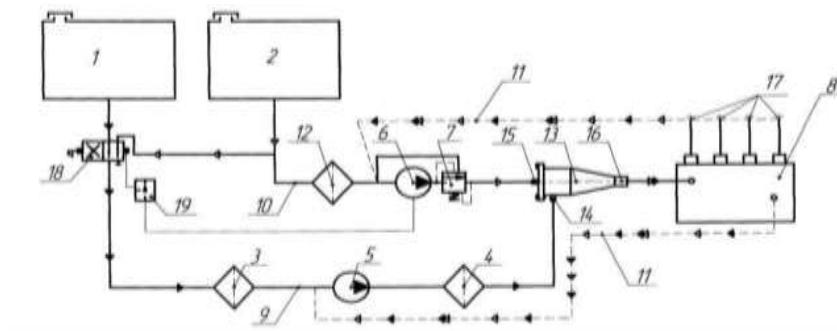


Рисунок 1. Трьохпаливна система дизеля



1 – бак мінерального палива; 2 – бак рослинного палива; 3 – фільтр грубого очищення палива; 4 – фільтр тонкого очищення палива; 5 – паливопідкачуючий насоса;  
6 – електричний насос; 7 – регулятор тиску палива; 8 – паливний насос високого тиску;  
9 – лінія забору мінерального палива; 10 – лінія забору рослинного палива; 11 – лінію зливу надлишкового палива; 12 – фільтр-відстійник; 13 – змішувач 14 – паливопровід зворотки;  
15 – паливопровід подачі; 16 – вихідний паливопровід; 17 – форсунка;  
18 – електрогіддорозподілювач; 19 – електровимикач

Недоліками даної системи живлення є: ручне управління електроперемикачем для переключення роботи дизеля на різні види палив і відсутність регулювання складу сумішевого палива в залежності від режимів роботи двигуна.

Деякі інші концепції, представлені протягом останнього десятиліття, вважають водень генератором енергії для електродвигунів. Це значно полегшує заправку літака та усуває «роздратування» через вагу акумулятора та час, потрібний для зарядження.

Однак потенційних проблем все ще багато. Водень має приблизно чверть енергетичної щільності звичайного реактивного палива А, тому він підходить лише для коротких польотів. Інфраструктура водневого палива дуже обмежена, з ним складно працювати і він надзвичайно вибухонебезпечний. [3]

### **Висновки**

На фоні загострення екологічних проблем і вимог до зменшення викидів, технології "зеленої" енергетики, зокрема використання водню, стають ключовим стратегічним напрямом для авіаційної галузі.

Хоча технології водневої авіації демонструють потенціал для зменшення впливу шкідливих викидів, існують виклики щодо енергетичної щільності, інфраструктури заправок та безпеки, що потребують подальшого дослідження та розвитку.

Прототипи літаків на водневій енергії свідчать про високий потенціал використання "зелених" технологій у практичних застосуваннях, проте існують технічні та інфраструктурні виклики, які потребують подальшого розвитку та вдосконалення.

### **Список використаних джерел:**

1. Климчук О. В. Стратегічні передумови збільшення використання біопалив у структурі енергоспоживання України. Глобальні та національні проблеми економіки. 2016. № 9. С. 128–133.
2. Використання рослинних олив і палива. URL: <https://er.nau.edu.ua> (Last accessed: 18.03.2024).
3. Випробування літака на водню. URL: <https://focus.ua> (Last accessed: 18.03.2024).

УДК 629.7

## СУЧАСНІ АВІАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

**Марія Копійковська**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Максим Куклінський, к.т.н., доц.*

Ключові слова: авіація, авіаційні технології, повітряний транспорт

Сучасний світ безперервно розвивається, вимагаючи постійного удосконалення транспортних технологій для забезпечення ефективності та безпеки перевезень. У цьому контексті авіаційні технології відіграють ключову роль, постійно еволюціонуючи та впроваджуючи нові інновації. Мета даного дослідження полягає в аналізі сучасних авіаційних технологій з метою виявлення їхнього впливу на розвиток повітряного транспорту. Актуальність теми підтверджується значущими дослідженнями в галузі авіаційних технологій. Наприклад, у статті [1] досліджується вплив нових матеріалів на зменшення маси та підвищення міцності конструкцій літаків, що сприяє покращенню енергоефективності та зниженню викидів. Крім того, дослідження розглядає впровадження автономних систем управління в авіаційну сферу, що покликане підвищити рівень безпеки та аварійну відповідь в повітряному просторі. Таким чином, аналіз сучасних наукових джерел свідчить про актуальність та значущість подальших досліджень у цій області.

Дослідження базується на аналізі науково-технічної літератури з питань авіаційних технологій, включаючи статті відомих журналів та монографії, що охоплюють різні аспекти сучасного розвитку авіації. Методика дослідження полягає в систематизації та аналізі отриманих даних з метою виявлення ключових тенденцій та визначення впливу сучасних технологій на розвиток авіаційного сектору.

Результати дослідження вказують на те, що сучасні авіаційні технології не лише сприяють підвищенню ефективності та безпеки повітряного транспорту, але й відкривають нові можливості для подальшого розвитку галузі. Зокрема, інтеграція автономних систем, застосування нових матеріалів та удосконалення аеродинамічних рішень дозволяють забезпечити більш ефективну та екологічно чисту авіаційну індустрію.

Результати дослідження вказують на значущі досягнення у сфері сучасних авіаційних технологій. Зокрема, аналіз показав, що впровадження легких композитних матеріалів у конструкції літаків дозволяє зменшити їхню масу, що в свою чергу призводить до зниження споживання палива та викидів CO<sub>2</sub>. Крім того, застосування автономних систем управління дозволяє підвищити точність навігації та безпеку польотів, зменшуючи ризик людських помилок. З отриманих даних видно, що розвиток сучасних авіаційних технологій має важливе значення для забезпечення конкурентоспроможності авіаційної індустрії, зокрема,

шляхом зменшення витрат на паливо, підвищення продуктивності та зменшення викидів шкідливих речовин. Однак, важливо враховувати також екологічні та соціальні аспекти розвитку технологій, зокрема, мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище та забезпечення безпеки пасажирів та екіпажу.

### **Висновок**

Сучасні авіаційні технології є ключовим фактором у розвитку повітряного транспорту, забезпечуючи підвищену ефективність та безпеку перевезень. Дослідження підтверджує важливість подальшого вдосконалення та впровадження інновацій у цій галузі для забезпечення сталого розвитку авіаційного сектору.

### **Список використаних джерел:**

1. Smith, J. (2022). "Advancements in Lightweight Composite Materials for Aircraft Structures." *Aviation Engineering Journal*, 10(2), 45-58.
2. Johnson, A. (2023). "Integration of Autonomous Systems in Aviation: Challenges and Opportunities." *Journal of Aerospace Technology*, 15(3), 112-125.
3. White, R. (2021). "Innovations in Aerodynamics: Enhancing Aircraft Performance and Efficiency." *Advances in Aerospace Engineering*, 8(1), 24-36.

**УДК 628.8:681.5 (043.2)**

## **АВТОМАТИЗОВАНА НМІ-СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГУ ПРОЦЕСАМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ПОВІТРЯ АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ**

**Ірина Миргородська**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Сергій Єнчев, д.т.н., проф.*

**Ключові слова:** вентиляція, керування, моніторинг, людино-машинний інтерфейс.

Комплекс технічних засобів, що використовуються для кондиціонування повітря, називається системою кондиціонування повітря. Автоматизована система кондиціонування забезпечує необхідний стан повітря в приміщенні незалежно від зміни параметрів навколишнього середовища. Метою доповіді є створення автоматизованої НМІ - системи керування та моніторингу процесами вентиляції повітря адміністративної будівлі з використанням програмного середовища Tia Portal v17.

### **Матеріали та методи.**

Для наукового обґрунтування результатів дослідження створеної автоматизованої НМІ-системи для керування та моніторингу процесами вентиляції повітря був використаний статистичний метод, а саме обробка та аналіз інформації про системи автоматизації, мережі та систем кондиціонування.

Автоматизована НМІ-система керування та моніторингу процесами вентиляції адміністративної будівлі представлення на

рис. 1. Система вентиляції містить два канали: припливний (11) та витяжний (10). Їх об'єднує рекуператор (2) з розділеним повітряним потоком. У витяжному каналі перед рекуператором розміщено фільтр (1), що очищує повітря від пилу. Після рекуператора у витяжному каналі розміщено безпосередньо вентилятор витяжного каналу (3).

У припливному каналі за напрямом руху повітря розміщено фільтр грубого очищення (4), який очищує повітря від комах, пуху і тд. Потім знаходиться фільтр (3), для очищення повітря від пилу, за ним знаходиться вентилятор припливного каналу (6). Далі встановлений рекуператор, після якого розміщений теплообмінник (7). За рахунок відсотка відкриття триходового клапану(8) теплообмінника регулюється кількість холодної та гарячої води, що подається насосом (9). За допомогою даної конструкції система вентиляцію взимку зможе нагрівати приміщення, а влітку охолоджувати.

На схемі будуть виводитися значення температури, щоб оператору було зручно спостерігати за технологічним процесом:  $t_1$  – температура приміщення (значення з яким порівнюється встановлене значення з поточним);  $t_2$  – значення температури після рекуператора;  $t_3$  – зовнішня температура;  $t_4$  – температура подачі повітря (температура встановлення повітря оператором). Для вірного сприйняття інформації оператором категорично заборонено використовувати зелений та червоний колір для позначення стану ввімкнено / вимкнено відповідно. Для цього слід використовувати відтінки сірих та білих кольорів. Тому, якщо система вимкнена, усе обладнання зображується сірим кольором (

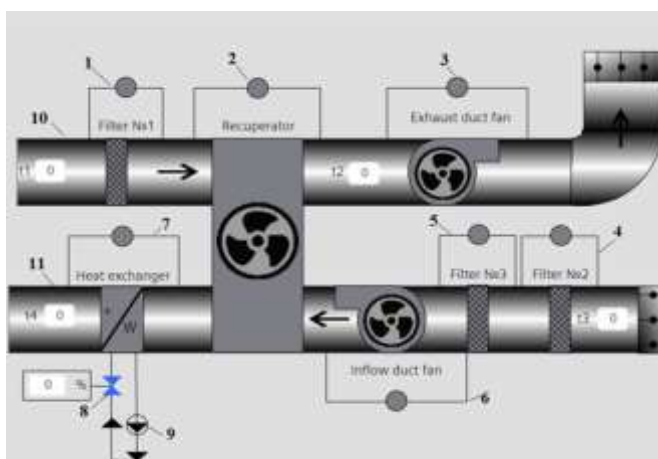


рис. 1).

Рис. 1. Автоматизована НМІ-система керування та моніторингу процесами вентиляції

Після запуску системи, при умові, що все обладнання справне, система світлитиметься зеленим кольором (рис. 2). Якщо в елементі системи виникає помилка, то елемент переходить у стан 2: підсвічується червоним кольором ( рис. 3).

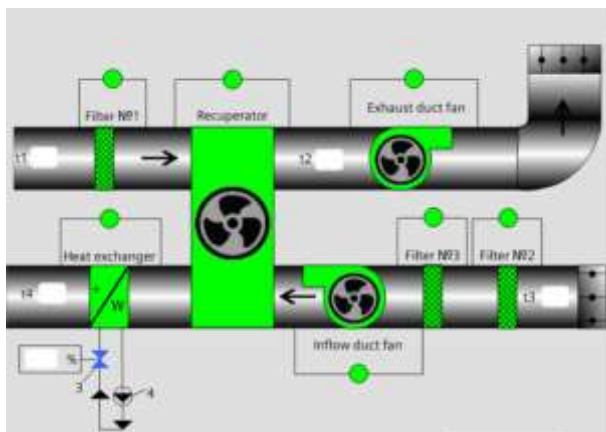


Рис. 2. Приклад вигляду справної системи

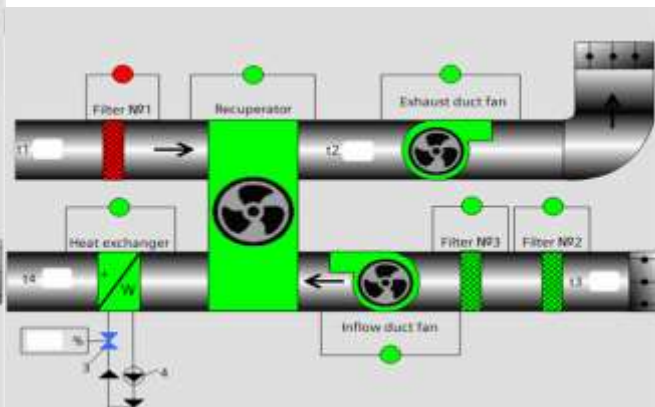


Рис. 3. Ідентифікація несправності елемента

### Висновок

Створена автоматизована НМІ-система допоможе забезпечити необхідний стан повітря в приміщенні незалежно від зміни параметрів навколишнього середовища завдяки можливостям моніторингу та керування процесами вентиляції адміністративної будівлі.

### Список використаних джерел

1. Системи кондиціонування - призначення і класифікація. Карно. URL: <https://karno.ua/ua/conditioners/sistemy-kondicionirovaniya/>.
2. НМІ template suite. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.siemens.com/hmi-template-suite>. Кондиціонування повітря. StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/9732756/page:21/>.

УДК 621.341.572 (043.2)

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОДНОЛАНЦЮГОВОГО МАТРИЧНОГО КОНВЕРТОРА

Тетяна Гобатюк

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Сергій Єнчев, д.т.н., проф.*

Ключові слова: матричний конвертор, номінальний режим роботи, аналіз Фур'є, генератор змінного струму.

**Вступ.** Топологія матричного перетворювача стала загальновідомою після заміни тиристорних пристроїв у циклоперетворювачах відключеними елементами, що працюють у високочастотному діапазоні. Класичне електричне перетворення використовує ланцюгові перетворювачі постійного струму з досить громіздкими згладжуючими конденсаторами, оскільки прямі матричні перетворювачі працюють без ланцюга постійного струму. Однією з головних переваг матричного конвертора є одиничний коефіцієнт потужності на його вході. Інший плюс — синусоїдальна вхідна і вихідна гармоніки та двонаправлений потік енергії.

**Матеріали та методи.** Завдяки відсутності будь-яких елементів накопичення енергії миттєва вхідна потужність має бути такою ж, як і вихідна. На вході може бути двофазний змінний струм, а на виході — постійний струм, або обидва можуть бути постійним струмом чи обидва можуть бути змінним струмом. Для економії кількості силових комутаційних елементів використовуємо одноланцюговий матричний перетворювач

**Результати.** Одноланцюговий матричний перетворювач працює в двох режимах роботи: номінальної частоти (рис. 1) та змінної частоти. Розглянемо детальніше перший варіант.

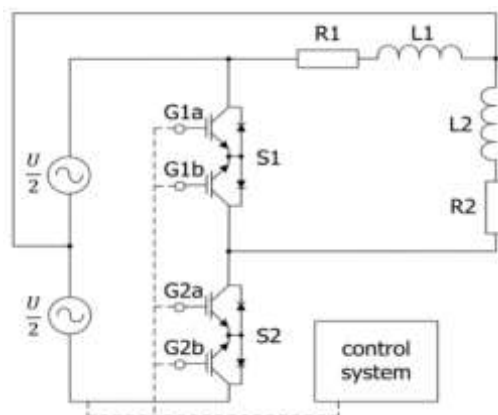


Рис. 1. Одноланцюговий матричний перетворювач – базове підключення, номінальна частота  
У цьому випадку допоміжна фаза буде створена на 90 градусів проти початкової напруги живлення. Використовуючи аналіз Фур'є однієї четвертої частини сигналу, можна записати:

$$f_1(t) = a_1 \cos(\omega_1 t) + b_1 \sin(\omega_1 t) = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1);$$

$$A_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}; \quad \varphi_1 = \arctang \frac{b_1}{a_1};$$

$$a_1 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(\omega_1 t) dt; \quad b_1 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(\omega_1 t) dt;$$

$$\text{Тоді: } a_1 = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{4}} \cos^2(\omega_1 t) dt = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{4}} \frac{1}{2} [1 + \cos(2\omega_1 t)] dt = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{4}} [1 + \cos(2\omega_1 t)] dt =$$

$$= \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{4}} 1 dt + \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{4}} \cos(2\omega_1 t) dt = \frac{1}{T} [t]_0^{\frac{T}{4}} + \frac{1}{T} \frac{1}{2\omega_1} [\sin(2\omega_1 t)]_0^{\frac{T}{4}} = \frac{1}{4}.$$

$$b_1 = \frac{4}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} f(t) \sin(\omega_1 t) dt = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{4}} \cos(\omega_1 t) \sin(\omega_1 t) dt = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{4}} \frac{1}{2} [\sin(2\omega_1 t)] dt =$$

$$= \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{4}} [\sin(2\omega_1 t)] dt = \frac{1}{T} \frac{1}{2\omega_1} [-\cos(2\omega_1 t)]_0^{\frac{T}{4}} = \frac{1}{4\pi} [\cos(2\omega_1 t)]_0^{\frac{T}{4}} = \frac{1}{2\pi}.$$

Фундаментальна гармонічна форма сигналу:

$$u_1(t) = \frac{1}{4} \cos(\omega_1 t) + \frac{1}{2\pi} \sin(\omega_1 t) = \sqrt{\left(\frac{1}{4}\right)^2 + \left(\frac{1}{2\pi}\right)^2} \sin\left(\omega_1 t + \arctang \frac{\frac{1}{2\pi}}{\frac{1}{4}}\right) =$$

$$= 0.296 \sin(\omega_1 t + 32.48^\circ).$$

Значення основної гармоніки в середині півперіоду:  $A_1|_{\frac{\pi}{2}} = 0.296 \cos(32.48^\circ) = 0.249$ .

Максимальна величина основної гармоніки допоміжної фази:  $2A_1|_{\frac{\pi}{2}} = 2 \times 0.296 \approx 0.5$ .

### Висновки

Таким чином, середньоквадратичне значення вихідної напруги одноланцюгового матричного перетворювача повинно бути в два рази більше, ніж запитувана напруга основної фази системи.

Максимальна опорна величина струму становить:  $I_{1ref} = \frac{2A_1|_{\frac{\pi}{2}}}{|Z_1|}$ , відповідна опорна форма сигналу струму:

$$i_{1ref}(t) = I_{1ref} \sin(\omega_1 t - \varphi_1),$$

де  $|Z_1| = \sqrt{R_1^2 + (\omega_1 L)^2}$ ;  $\varphi_1 = \arctang \frac{\omega_1 L}{R}$ .

Усі симуляції розраховані за допомогою пакета Matlab-Simulink за напруги джерела 2 x 115 VRMS, 50 Гц.

### Список використаних джерел

1. "Single-leg matrix converters to power the two-phase electric motor with variable frequency from single-phase network", Industrial Template Application of the S.R., No. PÚV 41-2015.

2. A. Zuckerberger, D. Weinstock, A. Alexandrovitz, "Single phase Matrix Converter," IEE Proc. on Electric Power App., Vol. 144(4), pp. 235-240, Jul. 1997.

**БЕЗПЕКА АВІАЦІЇ В СУЧАСНИХ УМОВАХ**

УДК 656.7.052 (043.2)

**МЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ ЯК ФАКТОР  
ПРИ ПЛАНУВАННІ НАВЧАЛЬНИХ ПОЛЬОТІВ****Валерія Белявцева***Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник – Семитківська Таїсія Олексіївна, к.т.н., доцент*

Ключові слова: метеопрогноз, метеорологічні умови, навчальний політ

На кожному етапі підготовки пілотів велика увага приділяється розгляду складних навігаційних завдань у рамках планування та виконання польотів з різними метеоумовами.

Стан погоди у конкретному пункті на кожен період розглядається як науково обгрунтоване припущення. Грамотне вирішення подібного завдання базується на методах метеорологічної науки та методів математичної статистики під час моделювання атмосфери.

Атмосферна модель є теоретичною схемою атмосфери із заданими спрощеними припущеннями щодо її властивостей. На практиці, на базі чисельних прогнозів погоди, модель атмосфери включає систему рівнянь гідротермодинаміки, яка використовує чисельні алгоритми її розв'язання та програмну реалізацію [1].

Власні технології моделювання глобальної атмосфери є лише у США, Англії, Канаді, Франції, Японії. Усього у світі існує 15 глобальних моделей, їх лише 8 є самостійно розробленими [2]. Моделі поділяються на глобальні та локальні. Кожна модель вирішує завдання тієї країни, де вона розроблена. Наприклад, основним завданням американської моделі GFS є передбачення цунамі і торнадо. При цьому всі моделі як глобальні, так і локальні практично не аналізують рельєф та місцевість (невисокі гори, великі акваторії – океани та моря). Крім того, на обробку інформації для побудови прогностичної моделі потрібна значна кількість часу: всі локальні оновлюються кожні 3 години, а глобальні – не частіше ніж 4 рази на добу.

У нашій задачі, при аналізі метеоумов в яких здійснюється політ, впливає рельєф місцевості [3]. Гірські масиви, озера безумовно впливатимуть на умови польотів, оскільки саме вони формують приземний шар повітря. Оновлення моделей відбувається не частіше ніж за три години, тому обов'язково необхідно враховувати результат власного візуального спостереження погодних явищ. Один із найбільш характерних прикладів: влітку в спеку, при підвищеній вологості може сформуватися внутрішньомасова грозова хмара, яка може не тільки вплинути на політ, але й створити надзвичайну ситуацію. Тиск, вологість і



температура – три основні джерела, на яких тримається увесь прогноз. Час – ще один показник при аналізі метеоінформації при підготовці до польоту. Тому важливо при плануванні польоту мати повну інформацію щодо зміни погодних умов до часу його завершення.

### **Висновок**

Прогноз погоди, який пілот використовує при плануванні польоту, – це припущення. Синоптична ситуація в регіоні є сукупністю взаємопов'язаних параметрів: повітряних мас, фронтів, циклонів та антициклонів, інших атмосферних об'єктів над земною поверхнею, що визначають стан погоди на цій ділянці.

Для врахування впливу погодних умов під час виконання польотних завдань навчальних польотів необхідно аналізувати досвід подібних польотів, проводити цілеспрямовані дослідження та використовувати накопичені результати на практиці.

### **Список використаних джерел:**

4. Shmeter S. M. Meteorology for aeronautic and pilots: [monograph.] // Center. Aerological observatory, 2009. 288 p.
  5. Models of the global atmosphere and World Ocean: algorithms and supercomputer technologies [textbook.] Allowance / M. A. Tolstykh [et al.]: MSU Publishing House, 2013. 144 p.
- Selezneva Yu. A. Features of training in aeronautics in the category of free (hot) balloons // Extreme human activity. 2020. №3 (57). P. 40-44.

**УДК 351.814.2. (043.2)**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АвіАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ**

**Павло Клименко**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Таїсія Семитківська, к.т.н., доц.*

**Ключові слова:** авіаційна безпека, повітряний транспорт, міжнародний досвід

Сучасна міжнародна обстановка не дає жодних втішних прогнозів, що найближчими роками зникнуть проблеми у сфері авіаційної безпеки. Терористична та кримінальна небезпека викликає занепокоєння та змушує вживати заходів щодо забезпечення безпеки громадян.

Ряд трагічних подій в історії вдосконалення авіаційної безпеки, як правило, діють як окремі поштовхи для вживання світовою спільнотою екстрених заходів щодо розробки та впровадження в Цивільну авіацію більш ефективних методів та засобів виявлення вибухових пристроїв та вибухових речовин, створення міжнародного правового забезпечення боротьби

з тероризмом.

Міжнародний досвід виявлення прихованих предметів та речовин до проносу під час проведення перед політного огляду свідчить про те, що службами безпеки вживаються заходи з двох основних напрямків, а саме:

- введення обов'язкового огляду пасажирів та їх ручної поклажі на всіх міжнародних та внутрішніх лініях;
- створення в авіакомпаніях та аеропортах спеціальних служб безпеки, оснащених сучасною технікою для роботи у пасажирському потоці.

Крім того, відповідно до технології проведення огляду пасажирів, співробітник служби авіаційної безпеки, який здійснює огляд, має право проводити опитування з метою виявлення потенційно небезпечних пасажирів, а також наявних предметів та речовин, заборонених до перевезення повітряним транспортом.

Керівник міжнародних консульських служб, який має великий досвід у галузі цивільної авіації та управління надзвичайними ситуаціями, Роні Тідхар називає одним із важливих пунктів у справі забезпечення авіаційної безпеки опитування пасажирів до контрольної-пропускового пункту з використанням добре підготовленого персоналу.

У свою чергу, Ізраїльська авіакомпанія "Ель-Аль" у Нью - Йорському міжнародному аеропорту ім. Дж. Ф. Кеннеді на своєму терміналі встановила автоматичну систему СТХ-5000 для пошуку бомб і вибухових пристроїв вартістю 1 мільйон доларів і ще 3 аналогічні системи вона вже встановила на своїх терміналах в Ізраїлі.

Зауважимо, що Ізраїль на безпеку свого аеропорту імені Д. Бен-Гуріона, який знаходиться в одній з найнебезпечніших зон світу, витрачає двадцять п'ять відсотків від загального бюджету, що виділяється на безпеку країни. В даний час система авіаційної безпеки в аеропорту Д. Бен-Гуріона вважається найефективнішою та найнадійнішою.

У цьому аеропорту міжнародною компанією EDS застосовано спеціальну програму, в якій добровільно взяли участь усі громадяни Ізраїлю, які подорожують за кордон. Після перевірки біографічних відомостей та персональної бесіди з представниками служби безпеки вони отримали картку «перевіреного» клієнта, в якій може бути зашифровано понад 90 параметрів руки пасажирів та інших біометричних показників, наприклад малюнок райдужної оболонки очей. Така система встановлена в 9 аеропортах США для пасажирів, які здійснюють міжнародні перельоти. На відміну від ізраїльських аеропортів у США, на забезпечення авіаційної безпеки витрачається приблизно 100 мільярдів доларів. Однак, незважаючи на такий бюджет, більшість фінансових ресурсів, що виділяються державою, дістаються авіакомпаніям, а не аеропортам.

**Висновок**

Таким чином, незважаючи на посилені заходи безпеки, повітряний транспорт був і залишається привабливою метою терористів. Щоб протистояти загрозі тероризму, експерти вважають, що чиновники будь-якої держави повинні зосередити зусилля на забезпеченні безпеки авіаперельотів.

З аналізу розглянутого матеріалу можна переконливо заявити про нагальну та невідкладну необхідність підготовки фахівців відповідних профілів та вдосконалення діючих систем.

**Список використаних джерел:**

1. Goyal A. et al. A unified framework for simulationg Markovian models of highly dependable system // IEEE transactions on computers. – 1992.- Vol.41. №1. – P. 36-51.
2. Human Factors Integration in Futers ATM Systems. Design Concepts and Philosophies / EUROCONTROL. – HRS /HSP–003-RER-01, 2002. – 88p.

УДК 656.7.052(043.2)

**ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОГОДИ В АВІАЦІЇ**

**Юліана Романюк**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Таїсія Семитківська, к.т.н., доц.*

Ключові слова: погода, штучний інтелект, прогнозування, безпека

Вплив погодних умов на безпеку та ефективність авіаційних операцій надзвичайно важливий у сучасній авіаційній індустрії. Зміни в атмосферних умовах можуть стати викликом для пілотів та авіаційних операторів, ускладнюючи процес прийняття стратегічних рішень. В цьому контексті використання штучного інтелекту для прогнозування погоди набуває особливого значення. Новітні алгоритми та методи штучного інтелекту відкривають нові можливості для точного прогнозування погоди, що дозволяє авіаційним службам швидше та точніше надавати інформацію, щоб забезпечити безпеку та надійність в авіаційній галузі.

Штучний інтелект в авіаційній метеорології відіграє ключову роль у підвищенні точності та надійності прогнозів погоди. Дослідження спрямовані на розробку та вдосконалення алгоритмів і моделей на основі концепцій штучного інтелекту, таких як нейронні мережі, глибоке навчання та аналітика великих даних. Ці методи дозволяють автоматизувати та оптимізувати процеси прогнозування погоди, враховуючи складні взаємозв'язки та неоднорідність атмосферних явищ. Переваги використання штучного

інтелекту включають покращену точність прогнозу, швидший час реагування на зміну погодних умов і покращену безпеку авіаційних операцій. Такий підхід також допомагає інтегрувати новітні технології в сучасні авіаційні системи, забезпечуючи надійність і ефективність у будь-яких умовах. [1]

Команда дослідників з університетів Лінкольна, Шеффілда та Редінга об'єднала зусилля для розроблення нового методу, що значно поліпшило прогнозування сезонних погодних умов. Модель, розроблена дослідниками, є потужним інструментом для кращого розуміння змін в атмосферній циркуляції та більш точного прогнозування погоди. Результати дослідження були опубліковані в журналах *Meteorological Applications* і *International Journal of Climatology*. Дослідники використовували метод штучного інтелекту і машинного навчання, відомий як NARMAX, для прогнозування стану течій у Північній Атлантиці та атмосферної циркуляції. NARMAX успішно застосовувався в різних галузях досліджень і показав високу точність прогнозування як для літніх, так і для зимових сезонів. Це особливо важливо, враховуючи, що традиційні суперкомп'ютерні моделі часто недооцінюють міжрічні зміни погоди. Доктор Ян Сімпсон з Університету Лінкольна зазначив, що їхнє дослідження демонструє тісний зв'язок між циркуляцією атмосфери і приземними погодними умовами. Це дає змогу перетворювати прогнози циркуляції на прогнози сезонних погодних умов, що становить інтерес для широкого кола зацікавлених сторін. [2,3]

### **Висновок**

Використання штучного інтелекту у прогнозуванні погоди має багато переваг (швидкість, точність, надійність), проте важливо розуміти, що він має бути лише одним із компонентів складної системи прогнозування. Штучний інтелект повинен використовуватися для надійності і підтвердження вимірювань метеостанцій а також, як підтримка для традиційних методів метеорологічного дослідження, сприяючи покращенню точності та достовірності прогнозів у майбутньому.

### **Список використаних джерел:**

1. Сміт, Дж. Штучний інтелект у метеорологічній галузі: поточний статус та перспективи / Дж. Сміт // Журнал атмосферних наук.- 2019.-Т.45. №2, с. 78-94.
2. Чен, Р. та ін. Інтелектуальні системи підтримають прийняття рішень для прогнозування погоди та попередження / Р. Чен [та ін.] // Додатки погоди та клімату. - 2021. - Т.59, №4. - С.189-205.
3. Кім, Х., Лі, С., Парк, К. Підходи глибокого навчання для прогнозування опадів: дослідження у метеорологічній галузі / Х. Кім, С. Лі, К. Парк // Метеорологічна технологія. – 2023. – Т. №3. – с.123-138

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ ТА ЕНЕРГЕТИЦІ**

УДК 65.012.27

**ВИКОРИСТАННЯ НОВІТНІХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УКРАЇНСЬКІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ З УРАХУВАННЯМ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ****Вадим Копитов***Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник – Дмитро Квашук, к.е.н., доц.*

Ключові слова: ДТЕК, енергетичні, системи, MODUS, економія ресурсів.

Енергетична галузь утворює міцну основу сучасного життя. На жаль, саме енергетичні підприємства в Україні зазнали колосальних руйнувань під час війни. Водночас енергетикам вдалося не тільки стабілізувати енергопостачання, але й продовжити модернізацію цієї сфери.

З початку 2019 року національною компанією ДТЕК впроваджується новітня програма цифрової трансформації під назвою MODUS. Програма дозволяє виконувати експертизу різних напрямів управління продуктами і проектами (Agile та Scrum), аналізувати дані (Data Science та Data Engineering), а також розробляти програмне забезпечення (UX/UI design, бізнес-аналіз). Вже зараз MODUS дозволяє українським енергетикам будувати цифрову інфраструктуру і забезпечувати найвищий рівень кібербезпеки.

Цифровізація передбачає декілька кроків. Спершу потрібно встановити новітні цифрові системи безпосередньо на виробничих підприємствах — на ТЕС і вугільних шахтах. Високоякісний контроль логістики і станів електромереж дозволить в значній мірі підвищити безпеку і ефективність виробництва. На другому етапі енергетики вже зможуть планувати видобуток родовищ енергетичних ресурсів на майбутнє. Відбуватиметься роботизація офісної роботи за рахунок цифрових закупівель, спрощення аналітики і управління даними. Нарешті, заключна — третя стадія цифровізації дозволить встановити ефективну взаємодію виробника і постачальника електроенергії з покупцями. Сучасні цифрові технології значно поліпшать процеси управління поновлювальними джерелами енергії.

За даними самого ДТЕК, у довоєнний час компанія вже встигла впровадити більше трьох десятків проектів першого та другого етапів. До прикладу, було проведено Wi-Fi у шахту «Ювілейна» на глибину 500 метрів. Це — надзвичайний результат світового рівня. Для обладнання шахти використано більше сотні кілометрів крихкого і дорогого оптоволоконного кабелю. Під землею знаходяться сотні точок доступу Wi-Fi і значна кількість датчиків концентрації вибухонебезпечних газів.

Все це обладнання дає можливість шахтарям повідомляти інженерів на землі про кожну небезпечну зміну аерогазових показників. Завдяки сучасним відеокамерам, підземні робочі процеси можуть контролюватися диспетчерами на поверхні. Кожен шахтар отримає можливість повідомити гірничого диспетчера про аварійний стан за допомогою сучасної «розумної» лампи-пейджера.

Облаштування шахти новітніми датчиками, максимально точними вагами і автоматизованою лебідкою вже дозволяє оптимізувати процеси завантаження вугілля у вагони. Використання алгоритмів штучного інтелекту спростило вибір оптимальних маршрутів і розподілу вагонів при транспортуванні видобутого вугілля. На підприємстві впроваджено онлайн систему моніторингу стану вагонів. Досягнуто значуще зниження логістичних витрат з мінімізацією ризиків простою. За даними компанії ДТЕК, впровадження новітніх розробок вже призвело до економії більш ніж 37 млн гривень за весь час їх реального використання.

До того ж, фахівцями ДТЕК впроваджено систему моніторингу ліній електропередач за допомогою дрону. Успішно автоматизується процес аналізу електромереж. Запуск пілотної версії в електромережах міста Дніпра дозволив ефективно відстежити 500 км мережі, та зменшити аварійність у 3 рази!

У довоєнний час було також впроваджено системи автоматичного визначення оптимальних режимів функціонування енергоблоків на Курахівській та Запорізькій ТЕС. При цьому використовувались технології IoT, Data Lake і Machine Learning. При цьому економічний ефект за 21 місяць роботи склав більше 170 млн. грн. (за даними сайту ДТЕК). В масштабах всієї електроенергетичної сфери України впровадження новітніх цифрових технологій і систем дозволить досягти значної економії. Про це свідчить статистика минулих — довоєнних років. Економічний ефект від впровадження програми MODUS склав 230 млн. грн у 2019 році. Наступний рік також був показовим — 130 млн. грн. економії.

Військові дії в Україні спричинила важкі проблеми в електричній енергетиці. В країні не залишилось жодної непошкодженої ГЕС або ТЕС. За даними компанії ДТЕК на 4 березня 2023 року Російськими ракетними ударами знищено: понад 90% українських об'єктів вітряної генерації; майже половина атомної енергетики (адже найбільша Запорізька АЕС наразі знаходиться на непідконтрольній Україні території); три чверті потужностей теплової енергетики; третина станцій сонячної генерації та блочних ТЕС.

### **Висновок**

Енергетична галузь в Україні становить невід'ємну частину життєдіяльності країни, але зазнала значних втрат внаслідок військових дій. Незважаючи на значні руйнування, українські енергетики не лише стабілізували енергопостачання, а й активно просуваються в

напрямку модернізації та цифровізації галузі. Незважаючи на складності, цифрова інфраструктура вже зараз значно покращує безпеку, ефективність виробництва та взаємодію між виробниками та споживачами, вносячи істотний вклад у відновлення та розвиток енергетики України під час і після війни.

### Список використаних джерел:

1. Нові горизонти: як українська енергетика використовує цифрові технології. ДТЕК. URL: <https://dtek.com/media-center/news/skachoktsivilizatsii-kak-tsifrovye-tekhnologii-menyayut-energeticheskuyu-otrasl-ukrainy> (Last accessed: 30.03.2024).
2. Як вдалося повернути світло після руйнування росією енергетики України і чи це надовго. BBC News Україна. URL: з <https://www.bbc.com/ukrainian/features-64820897> (Last accessed: 30.03.2024).

### УДК 65.012

## ЗІР РОБОТІВ НА ОСНОВІ СТРОБОСКОПІЧНОГО ЕФЕКТУ

**Сергій Федорченко**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Володимир Квасніков, д.т.н., проф.*

Ключові слова: робототехніка, спотворення зображень, стробоскопічний ефект, цифрові технології, кутова швидкість.

В контексті робототехніки, важливою проблемою є спотворення зображень, яке виникає, коли роботи використовують камери для навігації, або під час виконання завдань з визначення траєкторії обертального руху. Ці спотворення можуть серйозно порушити здатність робота адекватно взаємодіяти зі своїм оточенням, що негативно впливає на ефективність виконання його функцій.

Вирішення проблем спотворення зображень у робототехніці може полягати у використанні стробоскопічного ефекту. Це явище, при якому швидко обертаючийся об'єкт виглядає нерухомим або рухається повільно під впливом короткотривалих імпульсів світла, що випромінюються з певною частотою. Ключ до використання стробоскопічного ефекту лежить у синхронізації частоти цих спалахів світла з частотою обертання об'єкта, дозволяючи отримати чіткі зображення на кожному кадрі.

Стробоскопічний ефект стає можливим, коли частота спалахів світла ( $f_s$ ) точно дорівнює частоті обертання об'єкта ( $f_r$ ). Для забезпечення чіткості зображень, важливо, щоб час експозиції камери ( $t_e$ ) був коротшим, ніж тривалість кожного світлового спалаху ( $t_s$ ), що створює умови для ефективної фіксації зображення без спотворень [1].

Так, щоб отримати чітке зображення об'єкта на кожному кадрі, необхідно, щоб час експозиції камери  $t_e$  був меншим часу спалаху світла  $t_s$ . В такому випадку, можна записати такі умови [2]:

$$\begin{aligned} f_s &= kfr, \\ t_e &< t_s, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $k$  – ціле число.

З першої умови можна отримати частоту імпульсів світла через частоту обертання об'єкта:

$$f_s = \frac{k}{Tr}, \quad (2)$$

де  $Tr$  – час обертання об'єкта.

У відповідності до другої умови час експозиції камери, можна виразити через час імпульсу світла:

$$t_e = \frac{1}{f_s}, \quad (3)$$

Таким чином, для реалізації робототехнічного зору з використанням стробоскопічного ефекту потрібно знати частоту обертання об'єкта. У заявку.

У зв'язку з цим, пропонується система, яка містить стробоскоп для генерації коротких імпульсів світла, датчик кута повороту для вимірювання обертання, та блок обробки сигналів для розрахунку кутової швидкості. Кутова швидкість  $\omega$  обчислюється як добуток частоти обертання  $f_r$  на кутовий коефіцієнт  $2\pi$ :

$$\omega = 2\pi f_r, \quad (4)$$

Запропонована схема для ідентифікації кутової швидкості двигуна основуючись на стробоскопічному ефекті має наступний вигляд (рис. 1):

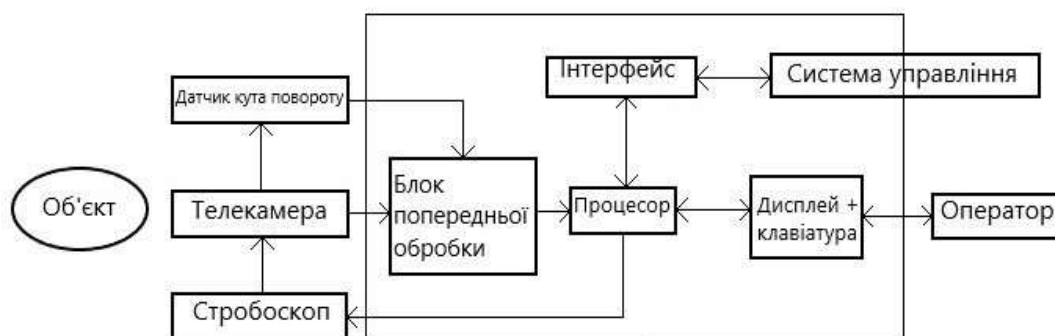


Рис.1 Структурна схема ідентифікації кутової швидкості двигуна

## Висновок

Таким, чином система може застосувати стробоскопічний ефект з метою отримання



більш чітких зображень обертальних об'єктів, що обертаються та мати широке застосування у різних галузях, таких як робототехніка, промисловість, медицина, безпека.

### Список використаних джерел:

1. Wilkins A., Veitch J., Lehman B. LED lighting flicker and potential health concerns: IEEE standard PAR1789 update // Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). Atlanta: GA, 2010. P. 171–178 pp.

2. Шпак С. В. Мерехтіння освітленості та стробоскопічний ефект, що утворюють світлодіодні лампи та світильники / С. В. Шпак, С. Г. Кислиця, Г. М. Кожушко, Т. В. Сахно, С. Багиров // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2020. – Т. 2 (60). – С. 135-143. – doi:<https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.2.135>.

### УДК 531.7

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ МАШИН, ТА ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКІВ

Олег Чалий

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Квасніков Володимир д.т.н., професор*

Ключові слова: координатно-вимірювальна машина, вимірювання, датчики, точність, аналіз.

Контрольно-вимірювальні процедури відіграють ключову роль у забезпеченні якості авіаційного виробництва. Акцентуючи увагу на точному вимірюванні геометричних параметрів деталей за допомогою координатно-вимірювальних машин (КВМ), слід зазначити, що ці машини дозволяють точно встановлювати координати та вимірювати відхилення деталей, що є критичним для безпеки та надійності продукції.

Використання КВМ підвищує ефективність виробництва і обслуговування літаків, сприяючи зменшенню часу виготовлення та витрат. Системи координатного вимірювання забезпечують високу точність і стабільність процесів, дозволяють оперативно виявляти та коригувати відхилення, забезпечуючи довговічність та надійність деталей.

Датчики вимірювальної головки можна вважати перетворювачем вимірюваної величини  $l(t)$  у вихідний сигнал  $s(t)$  [1,2]. У динамічному режимі  $l(t)$  і  $s(t)$  постійно змінюються, і їх взаємозв'язок визначається за допомогою диференціального рівняння, отриманого на основі фізичних принципів та конструкції датчика.

$$f_1[S^{(n)}, S^{(n-1)}, \dots, s] = f_2[\lambda^{(m)}, \lambda^{(m-1)}, \dots, \lambda]. \quad (1)$$

Чутливість датчика визначається як співвідношення між зміною вихідного сигналу та величиною одиничної зміни вхідної величини.

$$S = \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta S}{\Delta\lambda} \right) = \frac{dS}{d\lambda} \quad (2)$$

Роздільна здатність визначається як найменша зміна вимірюваної величини, яка може бути виявлена та точно відображена датчиком. Точність описує різницю між вимірюваною величиною та її реальним значенням; це може відноситися до датчика в цілому або до певного його параметра. Під час конвертації параметра  $l$  у сигнал  $s$  виникають різноманітні помилки, включаючи методичні, динамічні та інструментальні помилки. У вимірювальній техніці точність датчиків оцінюється за допомогою відносної похибки, яка визначається як відношення абсолютної похибки до абсолютної величини діапазону вимірювання [3].

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L_\lambda} \quad \text{чи} \quad \frac{\Delta s}{L_s} \quad (3)$$

Дрейф визначається як відхилення показників датчика, коли вимірювана величина залишається постійною на протязі довготривалого моменту часу.

### Висновок

Застосування комп'ютерно-інтегрованих систем у виробничому процесі давно вважається важливим показником сучасного підходу до управління підприємством. Відмова від застарілих методів контролю елементів є невід'ємною частиною цього сучасного підходу. та оснастки із задіянням шаблонів підвищує і якість складання, і технологічну ефективність робочої ділянки. КВМ відіграють важливу роль у перевірці деталей і контролі якості. КВМ є універсальними і широко поширеними в промисловості автоматизованими вимірювальними системами і відрізняються високою швидкістю реакції, високою точністю отриманих результатів і різноманітністю виконуваних функцій. Ці системи дозволяють не лише вимірювати, але й маркувати заготовки деталей для подальшої обробки. Завдяки ним можна вирішувати завдання зворотного проектування, тобто створювати модель деталі на основі наявних даних. Застосування комп'ютерно-інтегрованих систем також сприяє збільшенню автоматизації виробничого процесу, зменшенню витрат на працю та покращенню загальної продуктивності підприємства. Крім того, вони дозволяють здійснювати моніторинг та аналіз ефективності виробничих процесів, що дозволяє швидко реагувати на зміни та вдосконалювати стратегії виробництва. Застосування КВМ сприяє не лише підвищенню якості продукції, але й забезпечує дотримання вимог стандартів якості та безпеки.

### Список використаних джерел:

1. Квасніков В. П. Методи та засоби нановимірювань просторових об'єктів : монографія Володимир Павлович Квасніков, Марія Олександрівна Катаєва ; Нац. авіаційний ун-т (м. Київ, Україна). – Черкаси : Весела перерва, 2020. – 166 с. : іл.
2. Квасніков, Володимир Павлович. Принципи побудови інформаційно-вимірювальних систем механічних величин об'єктів із складною просторовою поверхнею з

використанням евристичних систем спостереження В. П. Квасніков, С. В. Голуб ; Черкаський держ. ун-т ім. Богдана Хмельницького. - Черкаси : Вид-во ЧНУ, 2003. - 219 с.: рис., табл. - Бібліогр.: с. 194-214.

3. Квасніков В.П., Кочеткова О.В., Сушко З.М. Основні задачі розвитку та сучасний стан інтелектуального управління//Наукові праці ДонНТУ. 2009. С.147-151.

**УДК 531**

## **СИСТЕМА ДОПУСКОВОГО КОНТРОЛЮ ПОХИБОК ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРИЛАДІВ**

**Назар Капушак**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Володимир Квасніков, д. т. н. , професор.*

Ключові слова: похибка, компаратор, сигнал, точність, аналіз

У сучасному технологічному середовищі точність і надійність цифрових пристроїв є критичними. У даній роботі я дослідив контроль метрологічних характеристик цих пристроїв, зокрема сумарної похибки, що включає в себе випадкові і систематичні складові. В роботі мав мету розробити ефективні методи та засоби контролю, спрямовані на забезпечення високої точності та надійності цифрових пристроїв, враховуючи їхню специфіку застосування та потреби користувачів.

Контроль нормованих метрологічних характеристик ЦП проводиться під час перевірки та приймально-здавальних випробувань. Результатом контролю є ухвалені рішення: у допуску або поза допуском перебувають контрольовані характеристики. Контролю піддається або сумарна похибка ЦП, або її нормовані складові: випадкова і систематична. При цьому контроль може бути здійснений прямим або непрямим методом. Прямий метод полягає в порівнянні оцінок нормованих похибок, що нормуються, отриманих безпосередньо з експерименту, з допустимими значеннями. Непрямий метод передбачає експериментальну оцінку ненормованих складових і обчислення на їхній основі оцінок нормованих похибок. Наприклад, оцінюють похибки рівнів квантування і обчислюють сумарну похибку, випадкову і систематичну складові шляхом відповідного підсумовування з похибкою квантування.

Зазвичай допустимі значення похибки задають у вигляді деяких інтервалів, у яких перебуває задана частка випадкових значенні контрольованих похибок. Так, відповідно до методики перевірки цифрових вольтметрів і АЦП напруги МІ 118-77 за граничне значення сумарної похибки приймається найбільше з двох значень:

На рис. 1., представлено залежність  $Ph \geq a$  і  $Ph \leq a$ , а також рівень  $\varepsilon = 0.1$  і відповідні похибки  $\Delta^*1$ ,  $\Delta^*2$ .

Отриману оцінку граничної похибки порівнюють зі значенням допуску контролю, який пов'язаний з нормованою межею допустимого значення похибки коефіцієнтом. Коефіцієнт залежить від прийнятої максимальної ймовірності помилки перевірки та співвідношення

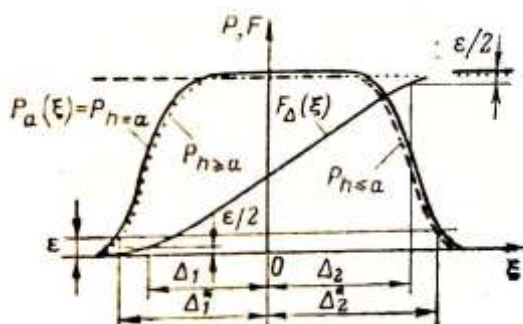


Рис. 1. До визначення граничних значень сумарної похибки

похибок зразкового засобу і повірюваного ЦП. Для співвідношень цих похибок, що лежать у межах 0.1 - 0.5, і для максимальної ймовірності помилки перевірки не більше 0.3 коефіцієнт. За визначенням профіль кванта утворюється функціями розподілу похибок рівнів квантування.

Реалізую допусковий контроль сумарної похибки, скориставшись одним із таких алгоритмів. Перший алгоритм ґрунтується на оцінюванні ймовірності виходу похибки за припустимі межі та порівнянні отриманої оцінки зі встановленою ймовірністю; другий алгоритм - на визначенні меж, у яких міститься задана частка значень похибки, і порівнянні отриманих оцінок меж із допуском.

### Висновок

В роботі розглянув методи контролю метрологічних характеристик цифрових пристроїв. Визначив, що контроль може бути прямим або непрямим. Виявив, що помилки першого та другого роду можуть виникнути через випадковий характер оцінок. Зазначив важливість ретельного контролю для забезпечення якості пристроїв.

### Список використаних джерел:

1. Метрологія, стандартизація і сертифікація. Підручник / За заг. ред. В.В.Тарасової. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 264 с.
2. Сусліков Л.М. Метрологія, вимірювальні перетворювачі та вимірювальні системи / Л.М. Сусліков, І. П. Студеняк // Метрологія та вимірювання: Навчальний посібник. – Ужгород: Видавництво УжНУ, 2014. - 292 с.
3. Гнусов, Ю. В. Метрологія та вимірювання: навч. посіб. / Ю. В. Гнусов, В. В. Тулупов, В. М. Пересічанський; Харків. нац. ун-т внутр. справ. - Харків, 2019 – 125 с.

## РІДИННО-ГАЗОВІ СИСТЕМИ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

УДК 53.6, 502/504, 532.5

### УРАХУВАННЯ В МОДЕЛІ ГІДРАВЛІЧНОГО УДАРУ КОНВЕКЦІЇ ПОЛЯ ШВИДКОСТІ

**Катерина Павлова**

*Національний авіаційний університет, Київ*

*Науковий керівник – Павло Лук'янов, к. фіз.-мат. н., доц.*

Ключові слова: літак, вертоліт, гідравлічний удар, напруження, тертя, деформація поверхні, втома

#### Вступ

Явище гідравлічного удару розповсюджене в технічних пристроях, де наявна рідина або газ. З фізичної точки зору це нестационарна течія рідини [1]. Основоположниками теорії гідравлічного удару вважаються Жуковський [2] та Аллієві [3]. Гідравлічний удар призводить до деформації поверхні, а інколи і до руйнування трубопроводу – за рахунок надмірних деформацій та втомного руйнування. Для більш детального опису (моделювання) розповсюдження та інтерференції ударних хвиль дуже важливо знати структуру полів швидкості та збурень тиску під час їх виникнення та формування. Саме цій проблемі присвячена робота.

#### Об'єкт досліджень та методи досліджень

Дана робота присвячена дослідженню поширення ударної хвилі у рідині у наближенні нескінченного трубопроводу. Методи досліджень є суто теоретичними: виведення безрозмірних рівнянь вказаного явища, застосування відомих підходів щодо їх розв'язання.

#### Результати досліджень

Рівняння нестационарного руху однорідної рідини такі [1]:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \rho_0 \left( \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} \right); \quad -\frac{\partial p}{\partial t} = a^2 \rho_0 \frac{\partial V}{\partial x}. \quad (1)$$

Після процедури диференціювання, система (1) має вигляд

$$-\frac{\partial^2 p}{\partial x \partial t} = \rho_0 \left( \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} + \frac{\partial V}{\partial t} \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial t} \right); \quad -\frac{\partial^2 p}{\partial t \partial x} = a^2 \rho_0 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2}. \quad (2)$$

Системи (2) зводиться до одного рівняння та двох початкових умов для функції швидкості:

$$a^2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} + \frac{\partial V}{\partial t} \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial t}. \quad V(x,0)=\varphi(x); \quad \frac{\partial V}{\partial t}(x,0)=\psi(x). \quad (3)$$

У безрозмірному вигляді маємо

$$\frac{\partial^2 \bar{V}}{\partial \bar{x}^2} = \frac{\partial^2 \bar{V}}{\partial \bar{t}^2} + \theta \left( \frac{\partial \bar{V}}{\partial \bar{t}} \frac{\partial \bar{V}}{\partial \bar{x}} + \bar{V} \frac{\partial^2 \bar{V}}{\partial \bar{x} \partial \bar{t}} \right). \quad \theta = \frac{L^2}{a^2 T^2}. \quad (4)$$

Фізика явища дозволяє отримати автомодельне рівняння та його розв'язок. Ще сам Ріман

ззначав [4], що існує особливий розв'язок (2) у вигляді бігучих хвиль:

$$\bar{V}(\bar{x}, \bar{t}) = f(\bar{x} - \bar{a}\bar{t} + C) = f(\eta). \quad (5)$$

Підстановка (5) в (4) призводить до автомодельного рівняння

$$\left(1 - \bar{a}^2 + \bar{a}\theta \cdot f\right) \frac{d^2 f}{d\eta^2} = -\bar{a}\theta \left(\frac{df}{d\eta}\right)^2. \quad (6)$$

Частинний випадок рівняння (6), коли  $\bar{a} = 1$ , перетворює (6) на таке:

$$f \frac{d^2 f}{d\eta^2} = -\left(\frac{df}{d\eta}\right)^2. \quad (7)$$

Розв'язки (7), за таких умов

$$f_1(\eta=0) = -f_2(\eta=0) = 1, \quad f_1(\eta=L_{sw}/2) = f_2(\eta=-L_{sw}/2) = 0$$

будуть мати вигляд

$$f_1(\eta) = \sqrt{1 - 2\eta/L_{sw}}, \quad 0 \leq \eta \leq L_{sw}/2; \quad f_2(\eta) = -\sqrt{1 + 2\eta/L_{sw}}, \quad -L_{sw}/2 \leq \eta \leq 0. \quad (8)$$

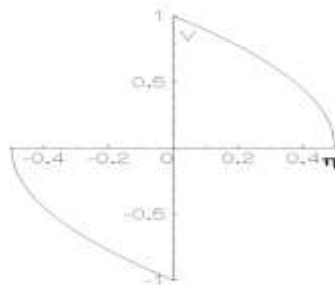


Рис.1. Функція розподілу швидкості в ударній хвилі згідно із розв'язками (8).

## Висновки

Отримано автомодельний розв'язок поширення ударної хвилі із урахуванням конвекції поля швидкості.

## Список використаних джерел:

1. Лук'янов, П.В., Сивашенко, Т.І., Якименко, Б.М. Ударна хвиля у рідині, що знаходиться у пружній циліндричній оболонці нескінченної довжини. *Промислова гідроліка і пневматика*. 2019, т. 2(64), с. 38—46.

УДК 532.526.2

## ПРО НЕВІДПОВІДНІСТЬ ТЕОРІЇ СТОКСА ЩОДО ОПИСУ НЕСТАЦІОНАРНОГО ЛАМІНАРНОГО ПРИМЕЖОВОГО ШАРУ

Лінь Сун

*Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник – Павло Лук'янов, к. фіз.-мат. н., доц.*

Ключові слова: літак, ламінарний примежовий шар, нестационарна нестислива течія, змінна молекулярна в'язкість, напруження, деформація поверхні

### Вступ

Теорія в'язкої течії рідини датується роботою Джорджа Стокса [1], яка присвячена внутрішньому тертю тіла із рідиною. Як вже відомо [2], Стокс припустився прикрої помилки, поклавши молекулярну в'язкість сталою величиною скрізь, в тому числі і в примежовому шарі. Помилка Стокса полягає в тому, що він використав аналогію течії рідини із термодинамікою, точніше із другим законом Фур'є, в якому коефіцієнт теплопровідності є сталим. Однак, і це вже відомо, сталість коефіцієнта теплопровідності ґрунтується на просторовій ізотропії, якої немає саме у примежовому шарі – області впливу твердої фази на рідку [2]. Пропонується теоретичне доведення хибності припущення про сталість молекулярної в'язкості, яке приводить до можливого існування «вічного двигуна»

### Об'єкт досліджень та методи досліджень

Досліджується нестационарна нестислива течія рідини у примежовому ламінарному шарі, що відповідає швидкостям повітря до 70-80 м/с. Використовуються методи теорії варіаційного числення, варіаційних принципів механіки, диференціальних рівнянь.

### Результати досліджень

Рух рідини описується таким рівнянням та початковими і граничними умовами:

$$\frac{\partial V_x}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial V_x}{\partial y} \right) \quad V_x(t \rightarrow \infty) = 1; \quad V_x(y=0) = f(t), \quad V_x(y \rightarrow \infty) \rightarrow 0. \quad (1)$$

Для замикання (1) додаємо ще одне рівняння, яке є умовою екстремуму втрати рідини:

$$J = \int_0^{\infty} V_x \left( \frac{\partial V_x}{\partial t}, \frac{\partial V_x}{\partial y} \right) dy - \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial V_x}{\partial t} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial V_x}{\partial y} \right) = 0. \quad (2)$$

Із урахуванням виходу на стаціонарний режим, рівняння (2) еквівалентне

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{dT}{dt} / \frac{d^2T}{dt^2} \right) = 0, \quad \frac{d}{dy} \left( \frac{dY}{dy} / \frac{d^2Y}{dy^2} \right) = 0, \quad \frac{dT}{dt} = C_1^t \frac{d^2T}{dt^2}, \quad \frac{dY}{dy} = C_1^y \frac{d^2Y}{dy^2}. \quad (3)$$

Розв'язок (3), який задовольняє умовам  $T(0)=0$ ,  $T(\infty)=1$ ;  $Y(0)=1$ ,  $Y(\infty)=0$ ,

має такий вигляд : 
$$V_x(t, y) = (1 - \exp(t/C_1^t)) \exp(-y). \quad (4)$$

Функція молекулярної в'язкості, згідно із (1),(4), визначається так:

$$\mu(t, y) = \frac{-1/C_1^t \cdot \exp(t/C_1^t) \exp(-y) + 1}{[1 - \exp(t/C_1^t)] \exp(-y)} \rightarrow \exp(y), \quad t \rightarrow \infty. \quad (5)$$

Напруження тертя, які виникають на поверхні рухомого тіла, мають вигляд

$$\tau_{xy} = -(1 - 1/C_1^t \cdot \exp(t/C_1^t) \exp(-y)) \rightarrow -1, \quad t \rightarrow \infty. \quad (6)$$

Потужність тертя на поверхні  $P = \tau_{xy} \cdot V_x$ , згідно із (4) та (6) визначається як:

$$P(t, y) = (1 - \exp(t/C_1^t)) \exp(-y) (-1 + 1/C_1^t \times \exp(t/C_1^t) \exp(-y)). \quad (7)$$

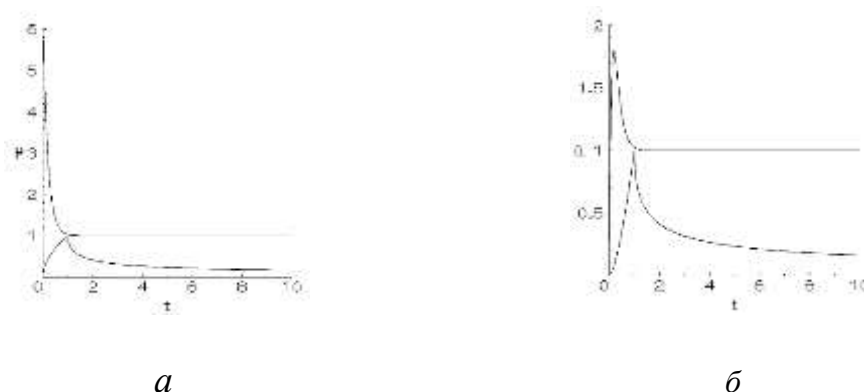


Рис.1. Розподіл дотичних напружень на поверхні (а) та потужності сили тертя (б): верхні криві відповідають (6) та (7), а нижні теорії Стокса [1].

## Висновки

Рис.1 вказує на некоректність моделі руху в'язкої рідини із сталою молекулярною в'язкістю, бо тоді зникають напруження тертя і це уможливило існування так званого «вічного» двигуна. Отримані результати слід враховувати при нестационарних режимах польоту, коли можуть виникати додаткові напруження зсуву та деформації поверхні літака.

## Список використаних джерел:

1. Stokes, G.G. On the theories of the internal friction of fluids in motion, and the equilibrium and motion of elastic solids. *Trans. Cambridge Philos. Soc.* – 1845. -- Vol. 8. -- P. 287-305.
2. Lukianov, P.V., Song, L. Optimal character and different nature of flows in laminar boundary layers of incompressible fluid flow *Problems of friction and wear.* – 2022. -- no. 4(97). --P. 52-60. doi : 10.18372/0370-2197.4(97)16959.
3. Lukianov, P.V., Song, L. Unsteady incompressible laminar boundary layer: time and space variable molecular viscosity. *Aviatsiyno-kosmichna tekhnika i tekhnolohiya.* -- 2023. iss. 3(187). pp. 50--60. doi: 10.32620/aktt.2023.3.06



## ЗМІСТ

## МЕНЕДЖМЕНТ ТЕХНОЛОГІЙ АЕРОПОРТІВ

<b>Бисько Р.</b> ОПТИМІЗАЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ УНІВЕРСАЛЬНОЇ ПРИБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ	3
<b>Булига В.</b> ПЕРСПЕКТИВНИЙ НАПРЯМОК СУЧАСНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ АВІАЦІЙНОЇ НАЗЕМНОЇ ТЕХНІКИ ЗА ПРОБОЮ ОЛИВИ	5
<b>Vierieina S.</b> RESEARCH OF USING SUITABILITY OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR AUTOMATING PASSENGER SERVICES IN AIRPORTS	7
<b>Данилюк М.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АНТ ЗА ФАКТИЧНИМ СТАНОМ	8
<b>Добруцький М.</b> МОДЕРНІЗАЦІЯ СПОСОБІВ БУКСИРУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН	10
<b>Дрозденко В.</b> ВПЛИВ МІГРАЦІЇ ПТАХІВ НА БЕЗПЕКУ ПОЛЬОТІВ В АЕРОПОРТАХ	12
<b>Коломієць С.</b> СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЇ АВІАЦІЙНОЇ НАЗЕМНОЇ ТЕХНІКИ В НАПРЯМКУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ	14
<b>Красиловець А.</b> АНАЛІЗ ПЛАНОВО-ПОПЕРЕДЖУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ АНТ	16
<b>Максимович Ж.</b> ОЦІНКА СИСТЕМИ РЕЄСТРАЦІЇ ПАСАЖИРІВ В УКРАЇНСЬКИХ АВІАКОМПАНІЯХ	18
<b>Нечасв І.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ В АЕРОПОРТУ	20
<b>Скальський Т.</b> ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ	21
<b>Скрипка В.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ АВІАЦІЙНОГО ЛОГІСТИЧНОГО ЦЕНТРУ У МІСТІ МИКОЛАЇВ	23
<b>Сторожук І.</b> АНАЛІЗ ВПЛИВУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА РОЗВИТОК КОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ В АВІАЦІЙНІЙ НАЗЕМНІЙ ТЕХНІЦІ	25
<b>Тімін К.</b> СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЗАСОБИ ЗАЛИВКИ АЕРОДРОМНИХ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ ШВІВ	26
<b>Fedorov V.</b> PROSPERITIVE TECHNOLOGICAL INNOVATIONS IN AVIATION SAFETY SYSTEM	29
<b>Шолудько І.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПОВІТРЯНИХ КРАНІВ ПРИ ПРОВЕДЕННІ БУДІВЕЛЬНИХ ТА РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ	30

## АЕРОКОСМІЧНА ТА АВІАЦІЙНА ІНЖЕНЕРІЯ

<b>Panchuk Y.</b> TOWARDS A COMPACT WIND TUNNEL DESIGN	33
<b>Petrov V.</b> COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT COOLING METHODS OF THE LIQUID PROPELLANT ROCKET ENGINE NOZZLE	35
<b>Тkachuk A., Maslakaeva S., Holota B.</b> ANALYSIS OF POSSIBLE SOLUTIONS FOR MOST COMMON SPACESUIT DESIGN PROBLEMS	36

<b>Бурейко С.</b> ГРАФЕН: РЕВОЛЮЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ В АВІАЦІЇ	38
<b>Кирик М.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕРЕРІЗУ ПІСЛЯ НАСТАННЯ МІСЦЕВОЇ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ	40
<b>Кувавiна А.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ АЛЮМІНІЄВИХ СТРИЖНІВ РІЗНОЇ ГНУЧКОСТІ ТА ВПЛИВ ПОЧАТКОВОЇ КРИВИЗНИ СТРИЖНІВ НА ЇХНЮ НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ	41
<b>Лановенко А.</b> ПОРІВНЯННЯ З РЕАЛЬНІСТЮ РОЗРАХУНКОВИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ PLA БАЛОК, ЩО ПІДДАЮТЬСЯ ДЕФОРМАЦІЯМ ЗГИНУ	43
<b>Lozovsky I.</b> ENHANCEMENT OF SPECIALIZED SANITARY AIRCRAFT EQUIPMENT	45
<b>Старушкевич А.</b> ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ ДЛЯ ЗРАЗКІВ З PLA ПЛАСТИКУ НАДРУКОВАНИХ ШАРАМИ ВЗДОВЖ І ВПОПЕРЕК ОСІ	47
<b>Trushkovskiy M.</b> THE POSSIBILITIES OF STUDYING THE CHARACTERISTICS OF G-FORCE AND DEFORMATION ON THE GLIDER SCALE MODEL	49
<b>Українець В., Драпак Р.</b> МОДЕЛЬ БРИТАНСЬКОГО ВІНИЩУВАЧА СПІДФАЙР	51
<b>Хуснутдінов О.</b> ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ НА МІЦНІСТЬ АЛЮМІНІЄВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ДОПУСТИМИМИ НАПРУЖЕННЯМИ, ЗА ГРАНИЧНИМ СТАНОМ ТА МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ	53
<b>Картамишев В.</b> ВІДПРАЦЮВАННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ПЛАСТИКОВИХ ДЕТАЛЕЙ НАДРУКОВАНИХ НА 3D ПРИНТЕРІ	54
<b>ПІДТРИМКА ЛЬОТНОЇ ПРИДАТНОСТІ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН</b>	
<b>Хімко М., Гречуха А.</b> УСТАНОВКА ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ ШАРНІРНИХ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ	57
<b>Balandiuk T.</b> EVALUATING THE FEASIBILITY OF IMPLEMENTING SELF-HEALING MATERIALS IN CRITICAL LANDING GEAR COMPONENTS FOR IMPROVED AIRWORTHINESS	59
<b>Недашківський Ю.</b> ВИКОРИСТАННЯ «ХМАРНИХ» ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ЛЬОТНОЇ ПРИДАТНОСТІ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН	61
<b>Anosov M.</b> OPTIMIZATION OF LOAD DISTRIBUTION ON THE AIRCRAFT LANDING GEAR USING COMPUTER-AIDED DESIGN	63
<b>Хвостик О.</b> РОЗУМНИЙ АНГАР ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ	64
<b>Koshelenko Y.</b> IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF HELICOPTER FLIGHT CONTROL SYSTEMS BY EXPANDING NAVIGATION CAPABILITIES	66
<b>Плуговий А.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ПРИ ТЕХНІЧНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН	67
<b>Савчук Т.</b> ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОБСЛУГОВУВАНІ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН	70
<b>Бурдун. Б.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ІННОВАТИВНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ПОКРАЩЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБШИВКИ ПОВІТРЯНОГО СУДНА	71

<b>Березівський Н, Левченко О.</b> МОНІТОРИНГ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	74
<b>Tsysar Y.</b> THE POTENTIAL OF EMPLOYING DRONES FOR NON-DESTRUCTIVE INSPECTIONS DURING AIRCRAFT MAINTENANCE	75
<b>Lahoda K.</b> APPLICATION FEATURES OF HYDRAULIC CYLINDERS MADE FROM CARBON FIBER REINFORCED POLYMER IN AIRCRAFT HYDRAULIC SYSTEMS	78
<b>Yura K.</b> THE USE OF NANOCERAMIC COATINGS TO PROVIDE PROTECTION AGAINST CORROSION AND DESTRUCTION OF THE CARGO AIRCRAFT CAISSON TANK	79
<b>Гайдаш О.</b> КОМБІНОВАНИЙ СПОСІБ РОЗПИЛЕННЯ ЛАКОФАРБОВИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ВІДНОВЛЕННЯ ЛАКОФАРБНОГО ПОКРИТТЯ ПОВІТРЯНОГО СУДНА	80
<b>Марчук Р., Турчаненко М.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇХ МОЖЛИВЕ ЗАСТОСУВАННЯ: ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ	83
<b>АВІАЦІЙНІ ДВИГУНИ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ</b>	
<b>Пікуль М., Отрощенко В., Бабічев І.</b> СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВЕНТИЛЯТОРІВ ДВОКОНТУРНИХ ТА ТРИКОНТУРНИХ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ	85
<b>Хорохордін А.</b> МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ КВАЗІЗОЕНТРОПІЙНИХ ПОВЕРХОНЬ ПЛОСКИХ НАДЗВУКОВИХ ВХІДНИХ ПРИСТРОЇВ ЗОВНІШНЬОГО СТИСНЕННЯ	87
<b>Смиківський І., Сидоренко Н.</b> ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ПОВІТРЯ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ТУРБИНИ ГТД	89
<b>Альошін А.</b> ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК	90
<b>Aina Tashchiyeva A., Mazur D.</b> APPLICATION OF AVIATION TFE MODEL OF WORKING PROCESS FOR CONTROLLING THE CHANGES OF ITS TECHNICAL CONDITION	92
<b>Артеменко М.</b> ЕФЕКТИВНІ МЕТОДИ ОХОЛОДЖЕННЯ ЛОПАТОК ТУРБИНИ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ	94
<b>Красношапка О.</b> ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ НА КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЯХ	96
<b>Юдін І.</b> ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТУРБОРЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ	98
<b>Василик М., Титаренко В.</b> ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛОПАТОК ТУРБИНИ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА МЕТОДАМИ ГАЗОТЕРМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ.	100
<b>Бушин Я, Петрина Д.</b> ПІДВИЩЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ГТД.	102
<b>Донець Д.</b> ПРОБЛЕМИ ТЕПЛООБМІНУ В СИСТЕМАХ ОХОЛОДЖЕННЯ ГТД.	104
<b>Данильченко А.</b> ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНОБУДУВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ, ПОВ'ЯЗАНІ З АВІАЦІЙНИМИ ДВИГУНАМИ ТА АВІАЦІЄЮ.	106
<b>Довгалоук Д.</b> ПРИЧИНИ ЗНИЖЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК.	107
<b>КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ, СУЧАСНІ МАТЕРІАЛИ ТА ТРИБОТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ</b>	
<b>Василик М, Титаренко В.</b> ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛОПАТОК ТУРБИНИ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА МЕТОДАМИ ГАЗОТЕРМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ	109

<b>Задорожний Я., Ткачук А.</b>	111
КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ У КОНСТРУКЦІЯХ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ.	
<b>Ладик А.</b>	113
ГЕНЕРАЦІЯ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ З ЧЕРВ'ЯКОМ ОПУКЛО-УВІГНУТОГО ПРОФІЛЮ	
<b>Лелюшок О.</b>	115
СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ АНТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ СТАЛІ В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ	
<b>Малярчук І.</b>	117
ВПЛИВ ПРОТИЗНОШУВАЛЬНОЇ ПРИСАДКИ НА ТРИБОТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОНТАКТУ	
<b>Мельченко А.</b>	119
ПРОБЛЕМИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГВИНТІВ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ	
<b>Морщ І.</b>	120
ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ПАЛИВНОГО НАСОСУ ДЕТОНАЦІЙНИМИ ПОКРИТТЯМИ (Ti,CR)C-NI	
<b>Паламар О.</b>	122
ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ	
<b>Панасюк А.</b>	125
ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ ПОСУДИН ПІД ТИСКОМ З КОМПОЗИТНИМИ ОБОЛОНКАМИ ДЛЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ	
<b>Поліщук М.</b>	127
ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ВУГЛЕПЛАСТИКІВ	
<b>Радько М., Брешев О.</b>	129
РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ ТА ВІБРАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ПРИВОДУ	
<b>Скворцов О.</b>	131
ЗНОСОСТІЙКІ НОВІТНІ МАТЕРІАЛИ ЕЛЕКТРОДІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОІСКРОВИХ ПОКРИТТІВ	
<b>Соколовський Д.</b>	133
КОЕФІЦІЄНТ ПЕРЕКРИТТЯ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ	
<b>Харченко В., Гуменюк І., Гловин М., Костецький І.</b>	134
КОМБІНОВАНІ МЕТОДИ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ	
<b>Чава К.</b>	136
СТАНДАРТИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ В АВІАЦІЙНІЙ ГАЛУЗІ	
<b>Шатило С.</b>	138
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПАЛИВНИХ СИСТЕМАХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТАХ	
<b>Штейник М.</b>	140
АНТИКОРОЗІЙНИЙ ЗАХИСТ ВЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ МЕТОДОМ ГАРЯЧОГО ЦИНКУВАННЯ	
<b>Кисельова Т., Шолудько О.</b>	142
АКРЕДИТАЦІЯ ВИПРОБУВАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЙ	
<b>Харченко А., Брешев О.</b>	144
ШЛЯХИ ТЕХНІЧНОГО УДОСКОНАЛЕННЯ МАШИН З БЕЗКОНТАКТНИМИ ПРЯМИМИ ПРИВОДАМИ НА АЕРОСТАТИЧНИХ ОПОРАХ ТА ОЦІНКА ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ	
<b>Трофименко М.</b>	146
ОГЛЯД УМОВ ІСНУВАННЯ КОНТАКНОЇ ЗОНИ ТЕРТЯ	
<b>Остапчук М., Шека К., Ремська А.</b>	148
МЕХАНІКА СЕЙСМІЧНИХ КОЛИВАНЬ	
<b>AUTOMATION AND ENERGY EFFICIENCY ON AVIATION TRANSPORT</b>	
<b>Gila D.</b>	150
OPTIMIZAION MODELS OF ENERGY SYSTEMS	
<b>Fu Wenqing.</b>	151
AIRCRAFT ELECTRICAL POWER SUPPLY SYSTEMS	

<b>Zhao Kehan</b>	152
MODERN AVIATION TECHNOLOGIES	
<b>Karchevskiy A.</b>	154
AVIATION TECHNOLOGIES TRENDS	
<b>Rolando M., Simbaña E.</b>	155
TECHNOLOGICAL ADVANCES IN MODERN AVIATION: IMPLICATIONS, CHALLENGES AND FUTURE PERSPECTIVES	
<b>АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ НА АВІАЦІЙНОМУ ТРАНСПОРТІ</b>	
<b>Корецький С.</b>	158
СИНХРОННИЙ ГЕНЕРАТОР	
<b>Жила Д.</b>	160
БІОЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ ЯК ВИД "ЗЕЛЕНОЇ" ЕНЕРГЕТИКИ В АВІАЦІЙНІЙ ГАЛУЗІ .	
<b>Копійковська М.</b>	162
СУЧАСНІ АВІАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ	
<b>Миргородська І.</b>	163
АВТОМАТИЗОВАНА НМІ-СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТА МОНИТОРИНГУ ПРОЦЕСАМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ПОВІТРЯ АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ	
<b>Гобатюк Т.</b>	165
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОДНОЛАНЦЮГОВОГО МАТРИЧНОГО КОНВЕРТОРА	
<b>БЕЗПЕКА АВІАЦІЇ В СУЧАСНИХ УМОВАХ</b>	
<b>Белявцева В.</b>	168
МЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ ЯК ФАКТОР ПРИ ПЛАНУВАННІ НАВЧАЛЬНИХ ПОЛЬОТІВ	
<b>Клименко П.</b>	169
ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ	
<b>Романюк Ю.</b>	171
ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОГОДИ В АВІАЦІЇ	
<b>ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ ТА ЕНЕРГЕТИЦІ</b>	
<b>Копитов В.</b>	173
ВИКОРИСТАННЯ НОВІТНІХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УКРАЇНСЬКІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ З УРАХУВАННЯМ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ	
<b>Федорченко С</b>	175
ЗІР РОБОТІВ НА ОСНОВІ СТРОБОСКОПІЧНОГО ЕФЕКТУ	
<b>Чалий О.</b>	177
ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ МАШИН, ТА ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКІВ	
<b>Капушак Н.</b>	179
СИСТЕМА ДОПУСКОВОГО КОНТРОЛЮ ПОХИБОК ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРИЛАДІВ	
<b>РІДИННО-ГАЗОВІ СИСТЕМИ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ</b>	
<b>Павлова К.</b>	181
УРАХУВАННЯ В МОДЕЛІ ГІДРАВЛІЧНОГО УДАРУ КОНВЕКЦІЇ ПОЛЯ ШВИДКОСТІ	
<b>Лінь Сун.</b>	183
ПРО НЕВІДПОВІДНІСТЬ ТЕОРІЇ СТОКСА ЩОДО ОПИСУ НЕСТАЦІОНАРНОГО ЛАМІНАРНОГО ПРИМЕЖОВОГО ШАРУ	

*Scientific publication*

**POLIT.**  
**Challenges of science today**  
**AEROSPACE FACULTY**

***Abstracts of  
XXIV International  
conference of higher education students  
and young scientists***

Kyiv, 2-5 April 2024  
*Published in the author's edition*

---

*Наукова публікація*

**ПОЛІТ.**  
**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ НАУКИ**  
**АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

***Тези доповідей  
XXIV Міжнародної  
науково-практичної конференції здобувачів  
вищої освіти і молодих учених***

Київ, 2-5 квітня 2024