



УДК 330.3

**FEATURES OF DIGITALIZATION IN THE AEROSPACE INDUSTRY
ОСОБЛИВОСТІ ЦИФРОВІЗАЦІЇ В АЕРОКОСМІЧНІЙ ГАЛУЗІ****Khandii O.O. / Хандій О.О.***Doctor of Economic Sciences, prof. / д.е.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-7926-9007

*Institute of Industrial Economics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Maria Kapnist Street, 2, 03057**Інститут економіки промисловості НАН України,
Київ, Марії Капніст, 2, 03057***Arkhyrov P.O. / Архипов П.О.***postgraduate / аспірант*

ORCID: 0009-0005-3961-9067

*Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,
Kyiv, Ioanna Pavla II, 17, 01042**Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля,
Київ, Іоанна Павла II, 17, 01042*

Анотація. У статті досліджено специфіку цифровізації в аерокосмічній галузі як одного з найінноваційніших напрямів сучасної промисловості. Проаналізовано ключові етапи цифровізації на прикладі проектування літальних апаратів, виробництва, управління авіаційними підприємствами та обслуговування пасажирів. Показано вплив цифрових технологій, таких як автоматизоване проектування, адитивні технології, використання великих даних, штучного інтелекту та блокчейну на скорочення витрат і підвищення ефективності процесів. Особливу увагу приділено сучасним тенденціям, які визначають цифрову трансформацію авіації та космонавтики, зокрема використанню безпілотних літальних апаратів та інновацій в управлінні повітряним рухом. Висвітлено впровадження цифрових рішень в українській аерокосмічній галузі, включаючи їх використання у військовій сфері. Зроблено висновки про важливість цифровізації для підвищення конкурентоспроможності підприємств, а також визначено перспективні напрями подальших досліджень у цій сфері.

Ключові слова: діджиталізація; авіаційний менеджмент; цифрові технології; авіакомпанія; операційна ефективність.

Вступ.

Традиційно підприємства аерокосмічної галузі відрізняються високою організацією виробництва, висококваліфікованими кадрами і жорсткою конкуренцією в боротьбі за ринки збуту. Завдяки цьому періоди проектування і виробництва продукції скорочуються. На сучасному етапі тривалість розробки літака (до першого польоту дослідного зразка) складає у середньому 3-4 роки, а при розробці принципово нових літаків, що не мають прототипів, цей час збільшується більш ніж вдвічі, досягаючи 8-10 років, а у деяких випадках і більше. Проектування ракет триває значно менше, коли мова йде про військові вироби. Наприклад, під час війни розробки деяких зразків тривали 1,5 року. І це з врахуванням випробувань дослідних зразків.

Практично зі свого зародження аерокосмічна галузь є полігоном і двигуном наукових досліджень та передових технологій, які з часом впроваджуються в інших галузях промисловості. При цьому аерокосмічний сектор глобальної економіки має високу динаміку, що обумовлено потужним



трансфером передових технологій з військової сфери в цивільну. Більш того, окремі сфери науки і промисловості неможливі без використання аерокосмічної техніки або її продукції. Наприклад, прогнозування погоди, пошуки корисних копалин, пеленгація рухомих об'єктів на великій відстані тощо. Комерціалізація в авіації і космонавтиці сприяє появі нових приватних компаній, що посилює конкуренцію і покращує якість продукції і послуг.

Отже дослідження процесів, що відбуваються в аерокосмічній галузі, в тому числі напрямків цифровізації, посилення її темпів, дослідження проблем, що виникають в процесі розвитку є задачею важливою і актуальною на всіх етапах її еволюції.

Основний текст.

Під проектуванням літака в цій статті розуміється процес розробки технічної документації, що дозволяє вести промислове виробництво і безпечну експлуатацію протягом запланованого терміну. Процеси цифровізації, зрозуміло, не обмежуються лише проектуванням, але саме на цьому етапі найбільш детально можна відстежити її застосування на різних стадіях.

Як об'єкт проектування літак є складною технічною системою з чіткою ієрархічною структурою, з великою кількістю внутрішніх зв'язків, кількість яких зростає пропорційно квадрату числа елементів. Для ілюстрації: планер сучасного широкофюзеляжного літака складається з понад мільйона деталей. Проте і сам літак є частиною більш складної системи, куди входять парки літаків, екіпажі, персонал для підготовки польотів тощо. Така система називається авіаційний комплекс, який входить в транспортну систему держави.

Процес проектування піддається формалізації. Окремі, дуже серйозні і трудомісткі компоненти цього процесу (наприклад, визначення маси літального апарата, його льотно-технічних характеристик і багато інших) вже формалізовані, тобто виконуються розрахунковим шляхом. Однак можливість "наскрізної" формалізації процесу проектування є досить проблематичною. Поява в арсеналі проектувальників такого потужного знаряддя праці, як електронні обчислювальні машини (ЕОМ), дозволила створити велику кількість прикладних програм, що дозволяють з великою швидкістю вести розрахунки за математичними моделями окремих видів проектування, що піддаються досить точній формалізації.

Перед початком розробки літака бажано максимально формалізувати задачу, краще у вигляді математичної моделі. Але об'єкт занадто складний і це не дозволяє формалізувати ні узагальнений критерій ефективності, ні алгоритм його обчислення, а отже, не дає можливості побудувати формалізований процес проектування. Таким чином, процес пошуку технічного рішення, що задовольняє вимогам технічного завдання (ТЗ), носить неформальний, творчий характер. Тут величезне значення мають досвід, ерудиція і інтуїція проектувальника. Це відноситься до розробки літака в цілому і до проектування всіх його компонентів, аж до найпростіших деталей.

Проектування літака можна поділити на зовнішнє і внутрішнє. До задач зовнішнього проектування можна віднести: аналіз областей і умов застосування



літака; визначення вимог до літака; вироблення загальної концепції; прогнозування; операційне моделювання; встановлення основних критеріїв, техніко-економічні розрахунки. Результатом зовнішнього проектування літака є визначення необхідних техніко-економічних і тактико-технічних характеристик літака, і як наслідок - технічне завдання на проектування літака.

За умови прийняття схвального рішення розпочинається внутрішнє проектування, його виконує Конструкторське бюро. Цю частину роботи можна розбити укрупнено на три етапи:

- аванпроект (попереднє проектування);
- розробка ескізного проекту;
- робоче проектування.

Між окремими етапами проектування є зворотній зв'язок, що дозволяє корегувати проект, поліпшувати його показники, отримувати необхідну інформацію щодо деталізації характеристик.

На етапі аванпроекту проводяться теоретичні дослідження і певна частина експерименту. Це дозволяє визначити загальною конфігурацію літака, його льотно-тактичні характеристики. Виконується попередня компоновка, ув'язка силових агрегатів, визначають конструкційний матеріал і попереднє технологічне розбиття на основні складові.

Особливістю етапу аванпроекту літака є можливість безперервного внесення змін до проекту літака до моменту "заморожування схеми" літака.

На основі аналізу даних аванпроекту приймається рішення про можливість подальшої розробки літака. При позитивному рішенні - готується Технічна пропозиція, і проектні роботи переходять до етапу ескізного проектування літака.

Другий етап (ескізний проект) визначається більш детальною проробкою тактико-технічних характеристик, це в першу чергу стосується експериментальних робіт: продувка в аеродинамічних трубах моделей, випробування на міцність нових елементів конструкції, досліджуються математичні моделі як літака, так і окремих агрегатів. Цей етап є відповідальним за скорочення періоду запуску виробництва. Чим ретельніше будуть виконані роботи на цьому етапі, тим коротшим буде запуск у виробництво.

Більшість (приблизно 80%) рішень, що визначають ефективність створюваного літака, приймаються на етапі вибору концепції і в процесі розробки ескізного проекту літака, що містить в собі креслення загального вигляду і компоновання літака, скорочені розробки конструкції найважливіших агрегатів, систем обладнання з розрахунком їх на міцність, визначення маси літака і діапазону центровок, аеродинамічні розрахунки і розрахунок стійкості й керованості літака.

В даний час в авіабудуванні програмні продукти CATYA, CADDSS5, Solidworks, NASTRAN, ANSYS і багато інших зазвичай включають розрахункові модулі, що дозволяють вирішувати завдання термогазодинаміки при обтіці літального апарату. Також існує ряд програмних пакетів, спеціалізованих для вирішення завдань аеродинамічного проектування - Fluint,



Flow3D, StarCD, LSDyna та інші. Багато програмних продуктів при вирішенні завдань обтікання літального апарату використовують кінцево-елементний метод розв'язання системи рівнянь Нав'є-Стокса. На рисунку 1 показано приклад проектування елементів конструкції літака на стадії вибору концепції конструкції. Початкові етапи проектування, включаючи аванпроект і ескізне проектування - це найвідповідальніші етапи створення літака. Часто доля всього проекту залежить від того, наскільки правильні рішення приймаються на цих етапах. Значну частину в процесі створення літаків і ракет посідає дослідження аеродинамічних характеристик.

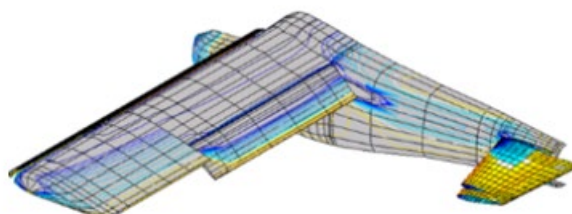


Рисунок 1 - Приклад ескізного проектування конструкції літака

Авторська розробка

Найбільш об'єктивну інформацію можна отримати в процесі обдувок в аеродинамічній трубі, але такі випробування досить дорогі, вимагають створення фізичних моделей. Тому на етапі ескізного проектування спочатку використовують цифрове моделювання декількох варіантів. На рисунку 2 наведено приклад використання панельно-вихрового методу для аналізу аеродинамічних характеристик.

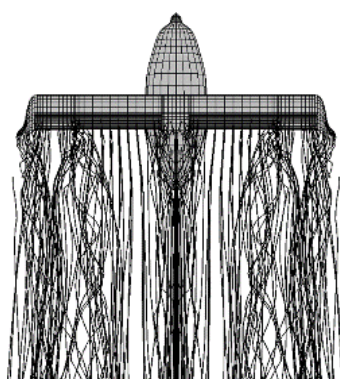


Рисунок 2 - Моделювання утворення потоків повітря на поверхні літака

Авторська розробка

На етапі робочого проектування виготовляються робочі креслення і комплект технічної документації: технологічної, експлуатаційної. На цьому етапі уточнюються масові характеристики і проводяться остаточні розрахунки на міцність всіх силових елементів конструкції літака. На цьому ж етапі проробляються питання технології виготовлення. Робоче проектування закінчується, коли дослідний зразок літака пройшов всі іспити.



Варто відмітити місце і питому вагу різних етапів розробки проекту. На рисунку 3 показано тенденцію змін витрат на розробку літака і розподіл прийнятих рішень, % за окремими етапами розробки.

Видно, що процес загального проектування, що містить в собі технічну пропозицію і ескізний проект, є найвідповідальнішим етапом створення літака. На цих етапах при витратах максимально 20...25% часу від всього обсягу робіт і не більше 5...10% коштів приймається 75...80% основних рішень в проекті. Від того, наскільки правильно приймаються рішення на ранніх етапах, часто залежить доля проекту.

Розвиток засобів обчислювальної техніки, збільшення швидкодії ЕОМ, поява математичного забезпечення ЕОМ і пристроїв, що дозволяють автоматизувати не тільки розрахункові, а й графічні роботи (системи машинної графіки), здійснювати спілкування проектувальника з ЕОМ в "інтерактивному" режимі роботи, забезпечило можливість автоматизації значного обсягу проектно-конструкторських робіт, обумовило створення різних систем автоматизованого проектування (САПР), що дозволяють з різним ступенем деталізації моделювати процес проектування.

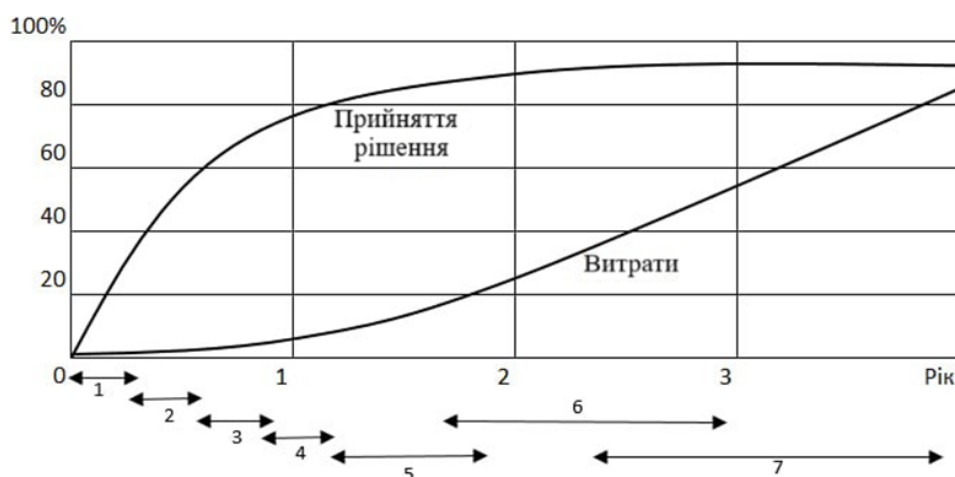


Рисунок 3 - Зміни витрат і розподіл прийнятих рішень, % на різних етапах розробки літака:

1 – аналіз тактико-технічного завдання, дослідження областей використання; 2 – напрацювання концепції літака; 3 – розробка аванпроекта; 4 – розробка ескізного проекту; 5 – робоче проектування; 6 – побудова літака, стендові випробування; 7- льотні випробування

Джерело: [1]

За деякими даними використання САПР дозволяє в два-три рази скоротити час проектування і доводки літака, в три-п'ять разів час підготовки виробництва. При цьому витрати на розробку скорочуються на 50...80%.

На перших етапах проектування моделей для обчислення даних, формул моделей і графіків використовується софт Mathcad. Він орієнтований саме на систему автоматизованого проектування. Але і на наступних стадіях проектування він широко використовується для міцнісних розрахунків, динаміки польоту тощо. Для візуалізації в 3D графіці використовується



програми Autodesk Inventor. Програма Solidworks використовується для моделювання течій, розпилення і іноді перемішування в форсунках і змішувальних головках. Для агрегатів або конструкцій складної форми часто візуалізація в 3D графіці на екран комп'ютера виявляється недостатньою. У процесі роботи над новим проєктом, особливо на стадії комплексного проєктування, важко виявити різні помилки та недоліки, використовуючи лише екран дисплея. Маючи реальну фізичну модель майбутнього виробу можна виявити та усунути різні помилки, скоригувати шляхи продовження процесу проєктування. Прототип виробу можна використовувати як концептуальну модель для візуалізації та аналізу конструкції. Він дозволяє конструкторам виконати доопрацювання та провести деякі функціональні тести, а також може бути майстер-моделлю для виготовлення інструментального оснащення. Інколи прототип може використовуватись у маркетингових цілях або при визначенні вартості виготовлення. Важливою складовою є виготовлення моделі проєктованого літального апарату і подальші її дослідження в аеродинамічній трубі.

Контрольні моделі зменшують витрати на проєктування та підготовку виробництва за рахунок виявлення можливих помилок на ранніх стадіях і посилюють зв'язок та взаєморозуміння між проєктувальниками та виробниками, скорочуючи час виходу продукту на ринок.

При традиційному способі одержання фізичних моделей майбутніх виробів або дослідних зразків витрачається від кількох тижнів до кількох місяців, що обумовлює високі витрати на розробку нового виробу та затримку термінів випуску нової продукції. На цей час в аерокосмічній галузі широко використовуються адитивні технології, це клас процесів, які автоматично створюють складні тривимірні фізичні об'єкти без інструментального їх виготовлення шляхом перетворення даних, що надходять із САД-системи. Замість того, щоб чекати фізичні моделі протягом кількох тижнів, конструктори можуть отримувати їх вже за кілька днів або годин. Часто достатньо створити форму майбутнього об'єкта. Найбільш поширені для несилових макетів мають такі технології як стереолітографія (SL – Stereolithography), нанесення термопластів (FDM – Fused Deposition Modeling), виготовлення об'єктів з використанням ламінування (LOM – Laminated Object Manufacturing). Для металевих конструкцій використовується лазерне спікання порошкових матеріалів (SLS – Selective Laser Sintering), 3D-принтери.

Вибіркове лазерне спікання, за допомогою якого об'єкт формується з порошкового матеріалу (пластик, метал) внаслідок його розплавлення лазерним променем використовується не лише для виготовлення моделей, але і робочої продукції (Рисунок 4).

Вибіркове лазерне сплавлення (англ. Selective laser melting, SLM) – технологія лазерного плавлення металевого порошку з математичних САД-моделей. За допомогою SLM друку створюються складні металеві деталі вузлів і агрегатів, а також нерозбірні конструкції із змінною геометрією. Технологія селективного лазерного плавлення SLM дуже схожа на SLS, проте на відміну від останньої, матеріали (порошки) піддаються не спіканню, а плавленню до



утворення гомогенної (густої, пастоподібної) маси. Даний процес успішно замінює традиційні методи виробництва, так як фізико-механічні властивості виробів, побудованих за технологією SLM, часто перевершують властивості виробів, виготовлених традиційним способом.



Рисунок 4 - Приклади металевих деталей, виготовлених за методом SLS-друку

Джерело: [2]

Аддитивні технології надали нові можливості розвитку принципово нових технологій. За останні кілька років відбулися істотні зміни в нових технологіях, які вплинули на те, як промисловість може використовувати ці технології в точному литті за моделями, що випалюються для швидкого виготовлення функціональних металевих зразків і як ключовий крок у швидкому виготовленні оснастки.

На всіх етапах проектування відбувається комунікація між підрозділами, передача документації, узгодження (з відповідними підписами відповідальних осіб). З цією метою передові підприємства переходять на цифрові варіанти конструкторської документації, а для узгоджень використовуються цифрові підписи. Це значно прискорює процес проектування і зменшує обсяги паперової документації, усуває необхідність пересування робітників по конструкторському бюро або на виробничі ділянки.

Значною, враховуючи велику номенклатури деталей і агрегатів, є задача складського обліку і відстеження їх пересування між підрозділами. Існують спеціальні програми, що враховують специфіку конкретного підприємства. Наприклад, підприємства почали використовувати для маркування продукції QR-коди. Отже, можна констатувати, що завдяки цифровізації відбуваються не лише зміни в процесі проектування, виробництва і складування продукції, а трансформується управління підприємством, формується нова корпоративна культура, поліпшуються і спрощуються зовнішні комунікації.

Коли мова йде про цивільну авіацію, то цифровізація продовжується і після виготовлення літальних апаратів. Крупні авіаційні компанії, як правило, спираються на власний програмний продукт. Спектр інформаційних технологій охоплює всі аспекти авіаційної галузі: технічне обслуговування, ремонти, організацію повітряного руху, наземне обслуговування, комерційну діяльність в аеропортах, підтримку пілотів і наземного персоналу [3, 4]. Це обумовлено тим, що сучасний аеропорт складна технічна система, що має функціонувати з



максимальною ефективністю. Ця задача може бути вирішена лише шляхом цифровізації бізнес-процесів з метою підвищення ефективності операційної діяльності аеропорту, збільшення швидкості обслуговування пасажирів, а також підвищення пропускної здатності і забезпечення додаткової безпеки роботи повітряної гавані.

Консалтингова фірма Frost & Sullivan показала, що до 2023 року витрати на розвиток ІТ інфраструктури аеропортів зросли до 4,6 мільярдів доларів [5]. Важливо відмітити, що витрати на цифровізацію в аеропортах ростуть швидше ніж експлуатаційні витрати. Загалом вони складають в середньому 6-9 % від загального об'єму операційних витрат. Тенденція розвитку витрат наведено на рисунку 5.

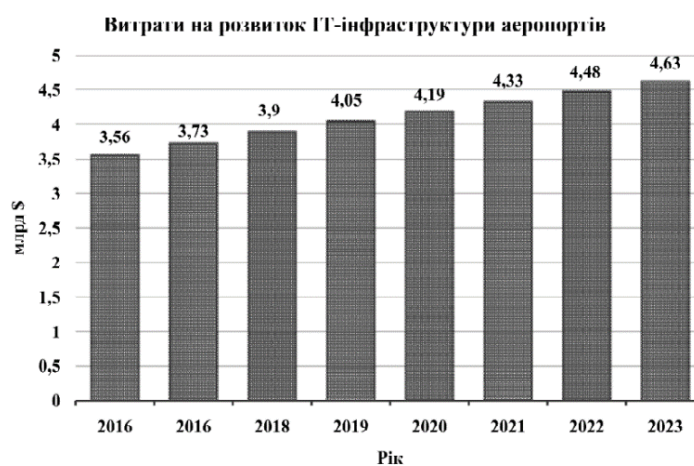


Рисунок 5 - Динаміка витрат на ІТ-інфраструктуру аеропортів

Джерело: [5]

На прикладі найбільш сучасних аеропортів в світі – у Сінгапурі та Франкфурті-на-Майні, можна стверджувати, що стратегією цифрової трансформації є перетворення терміналів з логістично-торговельних у великі економічні центри з усією необхідною інфраструктурою. При цьому відбувається зміна бізнес-моделі всіх провідних міжнародних аеропортів. Вони переходять від надання мінімального набору послуг, що містять забезпечення безпечного перевезення пасажирів і вантажів, до комплексного клієнтоорієнтованого обслуговування. Характерними рисами сучасних бізнес-моделей є безпека, персоналізований підхід до пасажирів і оптимізація роботи персоналу [6].

Велика кількість літаків, що одночасно знаходяться в повітрі вимагає і змін в технологіях управління в повітряному просторі. Найбільш ефективною є технологія ADS-B. Технологія управління повітряним рухом ADS-B (Automatic Dependent Surveillance Broadcast) — дозволяє вести спостереження і визначати своє місце розташування за допомогою супутникової навігації і надавати інформацію в наземний центр.

Значні зусилля розробників спрямовані на зменшення часу обслуговування в аеропортах і відслідковування місцеположення багажу. Напрямки розробок при цьому досить різноманітні: біометричні технології, створення операційних центрів, хмарні сервіси, рішення на основі технології блокчейн тощо [6, 7]. На



сьогодні актуальною є задача зменшення часу реєстрації пасажира з 1-1,5 хвилини на цей час до 15—20 секунд у 2030 році. Відстежувати переміщення багажу в режимі реального часу планується за допомогою спеціальних RFID-міток і сенсорів.

Провідні компанії шукають певні сфери, здатні призвести до найшвидших змін внаслідок цифровізації. Німецька Lufthansa є лідером у використанні штучного інтелекту, Air New Zealand є піонером у використанні доповненої реальності, AirAsia найкраща у технологіях з розпізнавання обличчя, що покращує обслуговування клієнтів.

Навіть на борту літака продовжується піклування за пасажирами з використанням ІТ рішень. В різних компаніях вони різні. Серед найбільш вдалих можна назвати: інформацію про статус рейсу для сайту авіакомпанії; систему замовлення бортового харчування; ІТ забезпечення сервісу надання дитячих наборів для дітей залежно від їх вікових категорій.

В авіаційній галузі України цифрові технології теж впевнено запроваджуються, принаймні така тенденція намітилася до початку війни. Наприклад, вдалим прикладом є використання цифрового паспорту у додатку «Дія» [8]. У 2020 році Україна запровадила цифровий паспорт для внутрішніх перельотів. Спочатку в аеропорту Бориспіль, а потім ще у 10 аеропортах з'явилася можливість подорожувати по Україні з цифровим паспортом в додатку "Дія". В аеропорті на пункті контролю необхідно відкрити додаток "Дія" і показати екран смартфона для зчитування QR коду.

Беззаперечним в майбутньому є використання систем ADS-B для забезпечення функції спостереження у контрольованому повітряному просторі.

Важливо відмітити, що переважна більшість передових напрацювань в аерокосмічній галузі з часом активно впроваджується на інших напрямках, в першу чергу в автомобільному транспорті, морських перевезеннях, логістичних компаніях.

В розробках і виготовленні безпілотних літальних апаратів використовуються ті ж самі програмні продукти. Зрозуміло, їх обсяг значно скорочений, і з точки зору цифровізації найбільший інтерес викликає використання безпілотників для реалізації специфічних задач. Причому перелік і складність таких задач швидко зростає.

На цей момент площа замінованої території в Україні складає 144000 км². Спираючись на традиційні технології, розмінування триватиме близько 70 років і коштуватиме €33,5 млрд. Використання безпілотників і робототехніки на основі штучного інтелекту за оцінками данської компанії Odense Robotics може знизити тривалість розмінування до 12 років, а вартість розмінування одного квадратного метра до 10 центів. Платформа Drop1a для виявлення наземних мін поєднує технологію рою дронів, оснащену мультимодальним об'єднанням датчиків, і парк безпілотних наземних транспортних засобів, які дозволяють підтверджувати безпечні зони. Дрони виявляють міни за допомогою датчиків і надсилають дані на обчислювальну станцію, яка створює цифрову карту поверхні. Потім дрони видаляють рослинність, а сапери можуть провести розмінування. І це лише один з підходів розв'язання складної задачі



розмінування.

В Україні реалізується унікальний проєкт Євгена Вольнова під назвою Друкармія [9]. В межах проєкту будь-який військовий може замовити низку виробів для безпілотників і боєприпасів, а учасники проєкту друкують на 3D-принтерах необхідні елементи за власний рахунок. Програмне забезпечення надається виконавцям профільними спеціалістами, залученими до проєкту. Крім економії фінансових ресурсів армії, він виконує значну соціальну і виховну роль, долучаючи до роботи цивільних громадян не лише в Україні, але і за її межами.

Проте існують і більш глобальні проєкти. На думку Мінцифри України, два роки тому відбулася справжня технологічна революція. Практично з нуля в Україні почали розвивати ринок безпілотних літальних апаратів і запустили проєкт Армія дронів. Як результат на зараз 96% безпілотників, які закуповує держава — вітчизняні. Для реалізації проєкту створили умови для масштабування виробництва та ухвалили понад 20 законів і нормативно-правових актів. Зокрема, скасували ПДВ та мито на комплектуючі для безпілотників, збільшили маржинальність з 1% до 25%, зробили прозорі та підзвітні закупівлі [9].

Українська аерокосмічна галузь на цей час, з її попереднім досвідом у всіх секторах авіаційної і космічної техніки, могла би значно підсилити науково-технічний потенціал Європи [9, 10]. Аргументом для посилення співпраці з Європейським космічним агентством (ESA) і Європейською комісією (ЄК) є наявність в Україні чотирьох регіональних космічних кластерів і потужного авіаційного підприємства ДП Антонов. Задля забезпечення динаміки співпраці всі етапи проєктних і виробничих робіт мають базуватися на використанні цифрових технологій.

Висновки.

Аерокосмічна галузь України, як і в більшості технологічно розвинених держав, є флагманом з втілення цифрових технологій. Причому їх активне впровадження ведеться від проєктування літальних апаратів, їх виробництва до припинення експлуатації. Це обумовлено високою конкуренцією як серед конструкторських бюро, так і компаній, що експлуатують авіаційний парк. Не менш жорстка конкуренція і серед компаній, які займаються проєктуванням і виготовленням космічної техніки. На відміну від літаків, виробництво космічної техніки (супутники, рідинні ракетні двигуни) не припинялося і велось в Україні більш ритмічно, що дозволяє оптимістично і надалі прогнозувати розвиток космічної техніки та безпілотних літальних апаратів різного класу і спрямування. Підставою для цього є державне фінансування відповідної програми, кооперація з провідними закордонними компаніями і можливість оперативно перевіряти експериментальні моделі на полі бою. Розвиток великих безпілотних апаратів дозволить в майбутньому перейти до виробництва повноцінних літальних апаратів, що на сучасному етапі пілотуються людиною. І таким чином, ліквідувати значне відставання у проєктуванні і виробництві бойових літаків. Така трансформація можлива лише в межах міжнародної кооперації, яка передбачає обмін технологіями,



методиками тощо з використанням цифрових технологій.

Подальше запровадження сучасних цифрових технологій на підприємствах аерокосмічної галузі має підвищити ефективність їх роботи, дозволити знизити витрати і підвищити безпеку експлуатації. В кінцевому результаті споживач отримає вигоду у вигляді більш якісного обслуговування або більш якісної і надійної продукції, що надійде на ринок в більш стислі терміни. Динамічне впровадження цифрових технологій в аерокосмічній галузі має бути локомотивом і прикладом для решти підприємств вітчизняної промисловості.

Література:

1. Кива Д.С., Гребеніков А.Г. (2014). Наукові засади інтегрованого проектування літаків транспортної категорії. Х.: Нац. аерокосм. ун-т ім. Н.Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т». Ч. 1. 376 с.
2. Ключников Ю.В., Сердітов О.Т., Дубнюк В.Л. (2022). Авіаційні матеріали та їх технології. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 115 с.
3. Digital Transformation Initiative: Aviation, Travel and Tourism Industry. *World Economic Forum*. URL: <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wpcontent/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/wef-dti-aviation-travel-and-tourism-white-paper.pdf>.
4. Sukhorukov, A., et al. (2020) Digital Transformation of Airline Management as the Basis of Innovative Development. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Vol. 1115. DOI: 10.1007/978-3-030-37618-5.
5. Олешко Т. І., Попик Н. В., Бабич М. О. (2021) Цифровізація бізнес-процесів у цивільній авіації. *Економіка і держава*. № 4. С. 41–43.
6. Письменна, М. С. (2020). Світові тенденції діджиталізації в авіаційному менеджменті в умовах пандемії. *Ефективна економіка*. № 9. DOI: 10.32702/2307-2105-2020.9.9.
7. Яновський, П. О., Валько, А. М. Використання передових інформаційних технологій для обслуговування пасажирів в аеропорту. URL: https://eprints.kname.edu.ua/45714/1/ilovepdf_com3940.pdf.
8. Цифрові паспорти "Дія" приймають вже в 10 аеропортах України! URL: <http://lowcostavia.com.ua/e-pasporty-diya-v-10-aeroportah-ukrainy/>.
9. Гбур, З. В. Кошова С.П. (2021). Перспективи розвитку космічної галузі в Україні. *Інвестиції: практика та досвід*. № 24. С. 28–31.
10. Про затвердження Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2021–2025 роки (2021). URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/JI06130A.html.

References.

1. Kiva, D. S., & Grebenikov, A. G. (2014). Nauchnyie osnovy integririvannogo proektirovaniya samoletov transportnoy kategorii [Scientific foundations of integrated design of transport category airplanes] (Vol. 1, 376 p.). Kharkiv: National Aerospace University named after M. E. Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute".(in Ukrainian)
2. Klyuchnikov, Yu. V., Serditov, O. T., & Dubnyuk, V. L. (2022). Aviatsiini materialy ta yikh tekhnolohii: konspekt lektsii [Aviation materials and their technologies: Lecture notes] [Electronic resource]. Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. Electronic textual data. 115 p.(in



Ukrainian)

3. Digital Transformation Initiative: Aviation, Travel and Tourism Industry. (n.d.). World Economic Forum. Retrieved from <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wpcontent/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/wef-dti-aviation-travel-and-tourism-white-paper.pdf>.

4. Sukhorukov, A., et al. (2020). Digital Transformation of Airline Management as the Basis of Innovative Development. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1115, 845–854.

5. Oleshko, T. I., Popyk, N. V., Babych, M. O. (2021). Tsyfrovizatsiia biznes-protsesiv v tsyvilnii aviatsii [Digitalization of business processes in civil aviation]. *Ekonomika i derzhava*, 4, 41–43. (in Ukrainian)

6. Pysmenna, M. (2020), “Global trends in digitalization in aviation management under pandemic”, *Efektivna ekonomika*, [Online], vol. 9, available at: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8203> (Accessed 01 Dec 2024). DOI: 10.32702/2307-2105-2020.9.9

7. Yanovskyi, P. O., Valko, A. M. (n.d.) Vykorystannia peredovykh informatsiinykh tekhnolohii dlia obsluhovuvannia pasazhyriv v aeroportu [The use of advanced IT technologies for passenger services at the airport]. Retrieved from: https://eprints.kname.edu.ua/45714/1/ilovepdf_com3940.pdf. (in Ukrainian).

8. Tsyfrovi pasporty "Diia" pryimaiut vzhe v 10 aeroportakh Ukrainy! [Digital passports "Diia" are already accepted in 10 airports of Ukraine!]. (n.d.). Retrieved from: <http://lowcostavia.com.ua/e-pasporty-diya-v-10-aeroportah-ukrainy/>. (in Ukrainian).

9. Hbur, Z. V., & Koshova, S. P. (2021). Perspektyvy rozvytku kosmichnoi haluzi v Ukraini [Prospects for the development of the space industry in Ukraine]. *Investytsii: praktyka ta dosvid*, 24, 70–77 (in Ukrainian).

10. On approval of the State Target Scientific and Technical Space Program of Ukraine for 2021–2025: Resolution of the Verkhovna Rada of Ukraine № 2727-IX (2022, November 4). Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2727-IX?lang=en#Text> (in Ukrainian)

Abstract. *The aerospace industry plays a critical role in Ukraine's economy and industrial development, serving as a driver for scientific research and advanced technologies. This paper outlines the primary global trends shaping the aerospace sector, including widespread digitalization in design and manufacturing, international cooperation, intense competition, and the commercialization of space activities. The unique challenges of designing, producing, operating, and maintaining aviation equipment necessitate advanced approaches to ensure safety, reliability, technical excellence, and cost efficiency.*

The article emphasizes the importance of skilled professionals proficient in digital technologies as a key factor in sustaining competitiveness. It highlights the role of state support and international collaboration in fostering the aerospace sector's development in Ukraine. Furthermore, it discusses the sector's potential to stimulate other industries, such as transportation, metallurgy, and composite materials production, thereby catalyzing the country's overall economic growth.

The research analyzes current digitalization trends, focusing on design, project management, and production processes. It details the use of Computer-Aided Design (CAD) tools, additive manufacturing technologies, and automation systems that improve operational efficiency. Additionally, it explores the transformative role of digitalization in corporate culture, external communications, and civil aviation operations, with examples of IT systems in airport and airline management.

Special attention is given to the production and application of unmanned aerial vehicles (UAVs) in military and civilian contexts. Ukraine's UAV initiatives, supported by state funding and international partnerships, demonstrate innovative uses of artificial intelligence and 3D printing technologies. These advancements provide opportunities for the aerospace sector to reduce costs and increase safety and efficiency.



The paper concludes that Ukraine's aerospace industry, leveraging its historical expertise and emerging digital capabilities, can significantly contribute to the European aerospace sector. Continued integration of digital technologies is essential to ensure competitiveness, enhance product quality, and support sustainable growth. By prioritizing digital transformation, the Ukrainian aerospace sector can lead industrial modernization efforts and inspire broader economic development.

Key words: digitalization; aviation management; digital technologies; airlines; operational efficiency.

Стаття відправлена: 17.12.2024.

© Хандій О.О., Архипов П.О.