

doi: 10.32620/oikit.2025.105.09

УДК 629.735: 658.51.4

І. В. Бичков, І. М. Лисоченко,
Н. І. Бичков, С. М. Рябіков,
Г. С. Селезньова

Формування елементів інформаційного простору для забезпечення механічної обробки деталей у авіабудуванні

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

Сучасне машинобудівне виробництво, особливо в авіабудуванні, характеризується змішаним використанням людино- та машинно-орієнтованих технологій. Це породжує невідповідність між традиційними засобами подання інформації (кресленнями), розрахованими на візуальне сприйняття, та вимогами автоматизованих систем, що потребують точних аналітичних моделей. Показано, що паралельне використання двох мов опису (нарисна та аналітична геометрія) призводить до формування двох незалежних моделей одного об'єкта та порушення принципу єдності інформаційного простору.

Як рішення пропонується та обґрунтовується концепція Аналітичного Еталону Деталі (АЕД) – єдиної цифрової моделі, що містить повний комплекс технологічних атрибутів для всіх етапів життєвого циклу виробу. Застосування АЕД призводить до наочності та однозначності інтерпретації інформації всіма учасниками життєвого циклу виробу, а також до зниження трудомісткості внесення даних у рази. У свою чергу це дозволить виключити дублювання робіт під час технологічної підготовки виробництва та скоротити витрати на освоєння нових виробів.

Ключові слова: інформаційний простір, життєвий цикл виробу, аналітичний еталон деталі, креслення, людино-орієнтоване виробництво, машино-орієнтоване виробництво, механічне оброблення, CAD/CAM системи, устаткування з ЧПК, цифровий двійник, трудомісткість проектування.

Для організації машинобудівного виробництва та подальшого супроводу життєвого циклу його об'єктів потрібен відповідний інформаційний простір. Його основними компонентами, як відомо, є: дані, програмні засоби та інформаційна інфраструктура. Їх змістовна частина визначається типом машинобудівного виробництва, що значною мірою залежить від ступеня участі людини безпосередньо у виробничому процесі та його інформаційному забезпеченні. Наприклад, токарь на основі інформації креслення переміщує органи верстата, які реалізують виготовлення деталі. Крім того, людина бере участь у багатьох етапах процесу формування як джерело енергії та джерело інформації про об'єкт виробництва. Спосіб виробництва з такими функціями та завданнями виконавця робіт можна позначити як людиноорієнтований.

Промислова експлуатація обладнання з ЧПК та CAD/CAM систем поклала початок машиноорієнтованому виробництву, коли безпосередня участь людини у процесах формування деталей повністю виключена. Людина бере участь у розробці керуючих програм (КП) у середовищі CAD/CAM системи та виконує контроль правильності встановлення заготовлі та необхідного інструменту, точності його виходу у початкову точку програми та інші функції супроводу формування.

Останні два століття розвитку машинобудування нерозривно пов'язані з використанням креслення як основного носія конструкторської та технологічної інформації про продукцію, що випускається. У 1799 році математик та інженер Гаспар Монж зумів узагальнити досвід виробництва гармат на французьких

заводах у своїй праці «Geometrie descriptive», що перекладається як «Нарисна геометрія» [1]. Він сформулював загальний метод графічного розв'язання стереометричних задач за допомогою плоских побудов для «точного представлення на кресленні, що має лише два виміри, об'єктів тривимірних, які можуть бути точно задані. Це мова, необхідна інженеру, який створює будь-який проект, а також усім тим, хто повинен керувати його здійсненням».

Креслення описує виріб мовою нарисної геометрії, що цілком задовольняє людиноорієнтоване виробництво. При цьому слід зауважити, що реальні об'єкти тривимірні, а креслення оперує їх плоскими (двовимірними) проекціями. Тому еталонний образ об'єкта виробництва у вигляді його тривимірної моделі відновлюється вже в голові конструктора, технолога, робітника тощо. Цей еталонний образ об'єкта знаходиться у безпосередній залежності від освіти, досвіду та природних розумових здібностей користувача такої інформації. З цієї причини у кожного суб'єкта процесу підготовки виробництва та виробництва виробу формується свій індивідуальний тривимірний образ, що не сприяє єдиному представленню об'єкта виробництва всіма учасниками процесу.

Потреба виготовлення складнопрофільних об'єктів, що виникла, наприклад, в авіаційній галузі, призвела до появи апарату сплайнової геометрії [2]. Бурхливий розвиток обчислювальної техніки дозволив реалізувати аналітичний метод побудови таких залежностей, що сприяло появі CAD систем. Найвдалішим описом складних форм об'єктів виробництва виявилися параметричні сплайни NURBS (Non-uniform rational B-spline) [3], розробниками яких є французи П'єр Безьє, інженер та математик з компанії Renault та Поль де Кастельжо, співробітник компанії CITROËN [4, 5]. Криві Безьє лягли в основу поверхонь Безьє, які відповідають умовам формування поверхонь об'єктів виробництва, що сприяло їх застосуванню у багатьох сучасних CAD/CAM системах [6]. Аналітичні методи опису об'єктів виробництва, реалізовані в CAD/CAM системах, що експлуатуються із застосуванням сплайнової геометрії, дозволяють описати координати всіх точок поверхні деталі з присвоєнням їм відповідних характеристик. Такий спосіб опису об'єктів виробництва призначений для машиноорієнтованих виробництв.

При використанні креслення як опису об'єкта виробництва трудомісткість його побудови для деталей з нескладними формами (крива 1 на Рис. 1 може виявитися значно нижчою, ніж при побудові аналітичного еталона. Але поява хоч би на одній із поверхонь складнопрофільної форми призводить до істотного ускладнення креслення, до появи багатьох додаткових видів, перерізів і навіть таблиць, що може призвести до значного збільшення трудомісткості опису такої корекції форми. Чого не можна сказати про аналітичний опис деталі (сімейство кривих 2 на Рис. 2) – зміна плоскої поверхні деталі на сплайнову (складнопрофільну) не призведе до істотного збільшення трудомісткості її побудови чи обсягу самої моделі.

Незважаючи на переваги CAD/CAM/CAE/PDM систем, що експлуатуються підприємствами, основним документом у процесі виконання технічної підготовки виробництва та під час самого виробництва на багатьох підприємствах залишається креслення. Креслення деталі – документ, що містить зображення деталі та інші дані, необхідні для її виготовлення та контролю [6]. При цьому зображення деталі виконуються мовою нарисної геометрії, а підходи до формування документа розраховані на передачу інформації безпосередньо всім учасникам процесу при людиноорієнтованому способі виробництва.

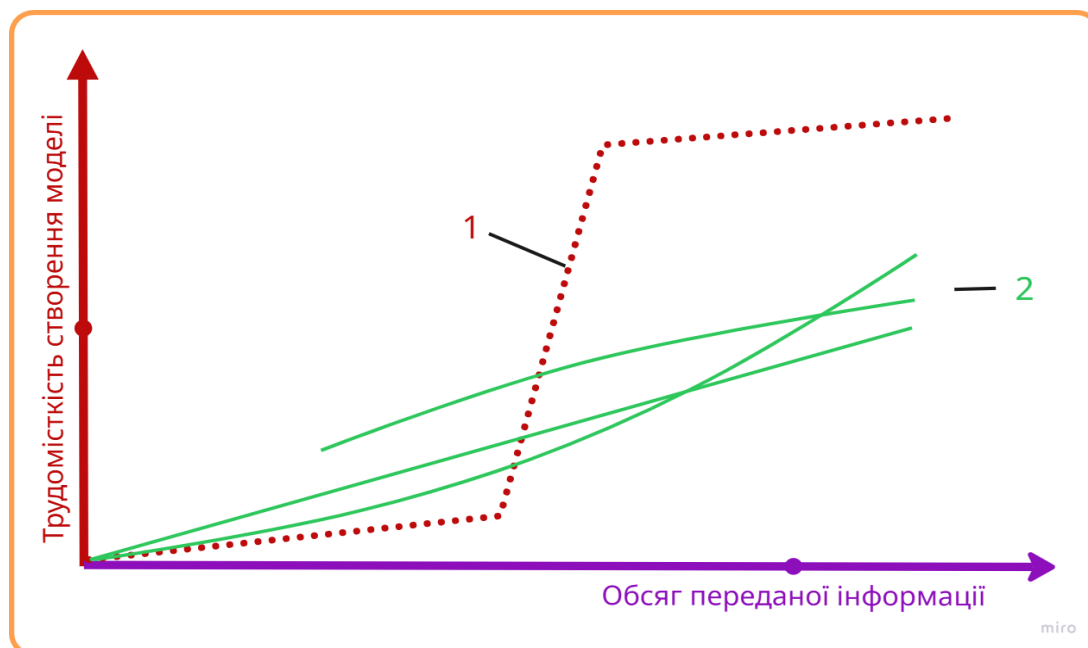


Рис. 1. Зміна трудомісткості опису об'єкта виробництва мовами нарисної (1) та аналітичної геометрії (сімейство кривих 2)

При досить простих геометричних формах точність кожного типу виробництв виявляється достатньою для забезпечення якості виробу. Складні геометричні форми призводять до істотних відмінностей розглянутих моделей і, відповідно, якості виробів. Крім того, опис одного виробу з використанням двох мов (нарисної та аналітичної геометрії) призводить до формування двох моделей. Інформаційний простір підприємства необхідно будувати на принципі його єдності, згідно з яким кожен об'єкт виробництва та всі його складові елементи представляються в базі даних однією моделлю. Використання описів об'єкта виробництва двома мовами призводить до формування двох моделей одного об'єкта, що порушує базові принципи управління.

Відмінна риса сучасного виробництва – це змішування в ньому людиноорієнтованого та машиноорієнтованого типів. Сьогодні ми вже маємо машиноорієнтовані робочі місця (верстати з програмним управлінням, роботи-маніпулятори та подібне обладнання), але поки не можемо відмовитися від людиноорієнтованих робочих місць (універсальні токарні, фрезерні, шліфувальні верстати, обладнання для вільного кування та виколотки, слюсарна доробка та все те, що сьогодні не може бути виготовлено без безпосередньої участі робітника). Ми змушені нести додаткові витрати на дублювання робіт при ТПВ, оскільки мови машиноорієнтованого та людиноорієнтованого виробництв принципово відрізняються.

Отже, розглянуто основні історичні етапи опису об'єкта виробництва у машинобудуванні. Показано, що існує стійка тенденція переходу від людиноорієнтованого до машиноорієнтованого виробництва (Рис. 2).

На початкових етапах такого перехідного періоду вирішити проблему запропоновано побудовою об'єктів виробництва засобами CAD/CAM систем з доповненнями їх умовними позначеннями, що застосовуються при оформленні конструкторської документації людиноорієнтованого виробництва. Введено термін електронна модель виробу – документ, що містить електронну геометричну модель деталі та вимоги до її виготовлення та контролю [7]. Ця

модель повинна використовуватися в автоматизованих системах для візуального відображення конструкції виробу в процесі виконання проектних робіт, виробничих та інших операцій, для виготовлення кресленої конструкторської документації в електронній та/або паперовій формі [8]. Залежно від стадії розробки електронна модель включає в себе граничні відхилення розмірів, шорсткості поверхонь тощо.



Рис. 2. Методи інформаційного забезпечення машинобудівного виробництва

У стандарті ДСТУ ГОСТ 102-2013 [7] представлені види конструкторської документації, рекомендовані для людино- та машиноорієнтованого виробництв, при цьому правила оформлення моделей, у тому числі умовні позначення запозичені зі стандартів єдиної системи конструкторської документації для оформлення креслень. Розміри умовних знаків визначають з урахуванням наочності та витримуються однаковими при багаторазовому застосуванні в межах однієї моделі [9]. Але, як показує практика, далеко не завжди умовні позначення креслення наочні та зручні при описі властивостей поверхонь об'єктів виробництва, особливо складнопрофільних.

Термін електронна модель не дає уявлення про спосіб опису об'єкта виробництва, про статус такої моделі в процесі її застосування. Поняття «електронний» не пов'язане ні зі структурою моделі, ні зі способом її зберігання, воно лише вказує, швидше за все, на необхідність застосування комп'ютера для її формування та застосування. Тому під електронні моделі підпадають і описи виробів у CAD/CAM системах, і відскановані з паперових носіїв зображення креслень. При цьому відбувається об'єднання під одним поняттям двох типів моделей, реалізованих на різних принципах та мовах. Такий підхід істотно ускладнює перехід до машиноорієнтованого виробництва, спрощуючи при цьому розробку відповідних стандартів їх авторам. Необхідність виконувати розробку описів об'єкта виробництва двома мовами в разі збільшує трудомісткість проектування виробу та трудомісткість його супроводу на стадіях життєвого циклу.

Формування інформаційного простору супроводу об'єкта виробництва нерозривно пов'язане з термінологічним супроводом процедур, що виконуються. Наприклад, терміни аналітичний еталон деталі та аналітичний портрет

деталі припускають, що перша модель формується на стадії розробки виробу та технологічної підготовки його виробництва, а друга – за результатами вимірювань деталі після її виготовлення чи певного етапу експлуатації. Порівняння цих моделей за заздалегідь заданими критеріями дозволяє зробити висновок про можливість використання деталі при експлуатації авіаційного виробу [10].

У останнє десятиліття у машинобудуванні, і авіабудуванні зокрема, використовується термін «Цифровий двійник» (Digital Twin) [11, 12]. Аналіз терміну «Цифровий двійник» (ЦД) у літературних джерелах дає досить строкату картину. У своїй роботі [11, 13] автори вважають Цифровим двійником планера цифрову модель, специфічну для кожного бортового номера конкретного літака протягом його життєвого циклу. Різні джерела визначають Цифровий двійник як віртуальну модель реального фізичного об'єкта чи системи, з двостороннім зв'язком із фізичним аналогом, що оновлюється в реальному часі даними, призначену для точного відображення поточного стану фізичного об'єкта для оптимізації продуктивності та прогнозування результатів. [13, 14] Під це визначення підпадають і аналітичний еталон, і аналітичний портрет. Але при цьому призначення моделей та їх субординація ніяк не розкривається.

Заміна терміну «аналітичний еталон» на «цифровий двійник» на етапах розробки виробу та технологічної підготовки його виробництва призводить до заміни поняття «еталон» створюваного виробу на «двійник» не зовсім зрозуміло чого. Заміна поняттям «цифровий двійник» аналітичного портрета деталі руйнує смисловий зв'язок між деталлю та формуванням її портрета за результатами вимірювань виготовлених деталей з метою подальшого співставлення з відповідним аналітичним еталоном при виконанні операцій контролю. Тому використання терміну ПОРТРЕТ при інформаційному супроводі об'єкта у машиноорієнтованому виробництві однозначно вказує функціональне призначення цієї моделі та її положення в ієрархії множини моделей супроводу виробництва.

Наведений вище аналіз ЦД у різних секторах показує, наскільки ЦД залежить від предметної області, а також від пов'язаних із нею проблем [15]. Застосування та реалізація цифрових двійників страждають від нестачі концептуальної основи, що ускладнює застосовність концепції цифрового двійника до різних видів діяльності в проектуванні та виробничій інженерії [12]. З цієї та багатьох інших причин не лише загальна концепція ЦД не повністю встановлена, але й не існує загальноприйнятого визначення ЦД, і існує дуже мало стандартів для його впровадження.

Об'єкт будь-якого ступеня складності, розроблений у CAD системі, повинен мати однозначний та коректний його опис. Перехід до машиноорієнтованого виробництва диктує потребу істотного зниження трудомісткості формування необхідної документації та підвищення наочності подання інформації. Для цього сучасні CAD/CAM системи мають необхідні функціональні можливості, що й необхідно зафіксувати відповідними поняттями та визначеннями.

Наприклад, аналітичний еталон геометрії деталі – математична модель деталі, розроблена засобами та інструментами CAD-системи [16]. Це досить лаконічне формулювання відображає і математичний метод опису геометрії об'єкта виробництва, і еталонний статус цієї моделі по відношенню до інших описів, що застосовуються при супроводі виробу на всіх стадіях життєвого циклу. Окрім опису геометричних форм деталі необхідно описати характеристики точності поверхонь деталі, їх мікрорельєф, фізичні властивості матеріалу тощо,

які повинні бути присутніми в описі об'єкта виробництва. Багато застосовуваних символів при оформленні креслення розраховані на доповнення ними інформації плоских проєкцій. Для опису технічних характеристик 3d моделей об'єктів виробництва потрібні способи більш інформативні та зрозумілі для сприйняття їх як учасниками виробничих процесів, так і програмними комплексами машиноорієнтованого виробництва. Також необхідно прагнути до зниження трудомісткості розробки документації. Тому аналітичний еталон деталі (АЕД) повинен включати в себе наступні типи моделей [17, 18]:

- еталонну модель геометрії поверхні та допусків макровідхилень (АЕГ);
- еталонну модель мікрорельєфу поверхні деталі (шорсткість, хвилястість) (АЕмікр);
- еталонну модель властивостей (твердість, тип покриттів; зносостійкість тощо) деталі та її поверхонь (АЕт, АЕпокр).

Моделі покриттів, твердості поверхні, допусків будуються на базі еталонних моделей геометрії деталі, яка створюється конструктором за допомогою топологічних операцій CAD-системи з окремих об'ємів (solid) чи поверхонь (surface). Використання функцій CAD-систем дозволяє для прийнятих типів моделей передбачити можливість нанесення на кожну поверхню деталі умовних кольорів чи фактур. (Рис. 3).

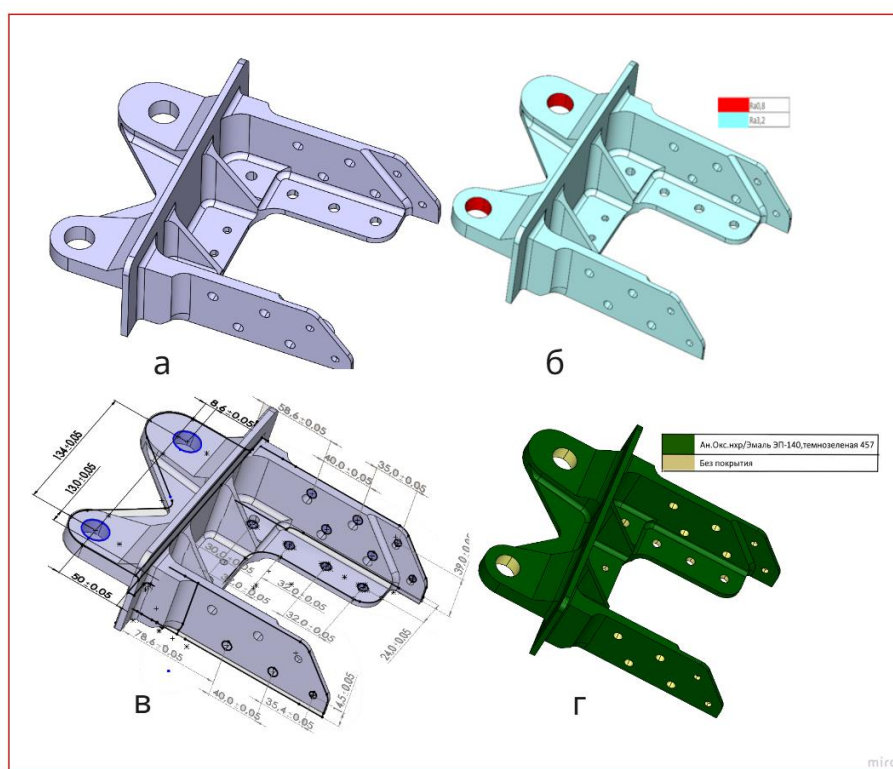


Рис. 3. Формування аналітичного еталону деталі на базі еталонної моделі геометрії: а – еталонна модель геометрії; поверхні та допусків; б – еталонна модель шорсткості; в – еталонна модель функціональної точності; г – еталонна модель покриттів

На етапі конструювання виробу при побудові АЕГ розробники присвоюють кожному атрибуту поверхні значення відповідно до прийнятого на підприємстві

стандарту. Це забезпечить однозначне сприйняття інформації всіма учасниками процесу. Таблиці градації кольорів формуються один раз в рамках ІС підприємства (групи підприємств, галузі) відповідно до стандартів. Трудомісткість внесення інформації для формування моделей незначна порівняно з часом перетворення креслення, що підтверджують результати, наведені нижче у таблиці 1.

Таблиця 1

Оцінка трудомісткості внесення інформації.

	Трудомісткість, ч. год.
Перетворення 2D-креслення	9
Перетворення АЕ	3

Для машиноорієнтованого виробництва основний документ представлений тривимірною моделлю. Сучасні програмні засоби, за допомогою яких створюються тривимірні моделі виробу, мають усі можливості для детального та повного опису деталей та способів їх виробництва. Встановлено, що подальше підвищення ефективності авіаційного виробництва неможливе без зміни стандартів підприємства, у яких за еталон повноти та достовірності виробу машинобудування буде прийнято стандарт на базі його тривимірної моделі геометрії - аналітичного еталону. Запропоновані зміни повинні супроводжуватися використанням програмного забезпечення, яке дозволить зберігати та обробляти значні обсяги в комп'ютерні інформаційні простори підприємства. Впровадження вищезазначених технологій допоможе значно скоротити витрати, пов'язані з освоєнням нових об'єктів виробництва.

Список літератури

1. Monge, G. Descriptive Geometry [Géométrie descriptive] / G. Monge. – Paris: Baudouin, 1799. – 148 p. (in French).
2. Schoenberg I.J. Contributions to problem of approximation of equidistant data by analytic functions [Text] / I. J. Schoenberg // Quart. Appl. Math., Parts A and B. – 1946. – No. 4. – P 45 – 99, 112 – 141.
3. Piegle L. The NURBS book / L. Piegle, W. Tiller. – Berlin, Heidelberg, New York: Springer. – 1997. – 578 p.
4. Chenin, P., Cosnard, M., Gardan, Y. et al. Mathématiques et CAO [Mathematics and CAD]. Paris: Eyrolles, 1988. 204 p.
5. Germain-Lacour, P., George, P. L., Pistre, F., Bézier, P. Mathématiques et CAO [Mathematics and CAD]. Paris: Eyrolles, 1989. 264 p.
6. Lee, K. Principles of CAD/CAM/CAE Systems. Reading, MA: Addison-Wesley, 1999. 582 p.
7. ДСТУ ГОСТ 2.102:2013 Види та комплектність конструкторських документів. (ГОСТ 2.102-2013, IDT). Чинний від 2014-06-01. Замість ДСТУ ГОСТ 2.102:2006. М. : Стандартиформ, 2013. 31 с. (Чинний в Україні).
8. ДСТУ ISO 10303-1:2007 Системи автоматизації виробництва та їх інтеграція. Представлення даних про виріб та обмін цими даними. Частина 1. Загальні уявлення та основоположні принципи (ISO 10303-1:1994, IDT). Чинний від 2007-10-01. К. : Держспоживстандарт України, 2007. 19 с. (ГОСТ Р ИСО 10303-

1-99 є ідентичним ISO 10303-1:1994).

9. ДСТУ ГОСТ 2.053:2006 Електронна структура виробу. (ГОСТ 2.053-2006, IDT). Чинний від 2006-09-01. М. : Стандартиформ, 2006. 10 с. (Чинний в Україні).

10. Бичков, І. В., Ващук, Ю. В. Стан виробу протягом його життєвого циклу / І. В. Бичков, Ю. В. Ващук // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології : зб. наук. пр. Нац. аерокосм. ун-ту ім. Н. Є. Жуковського «ХАІ». 2003. Вип. 18. С. 111–122.

11. Product avatar as digital counterpart of a physical individual product: Literature review and implications in an aircraft / J. Ríos, J. C. Hernández, M. Oliva, F. Mas // *Advances in Transdisciplinary Engineering*. — 2015. — Vol. 2. — P. 657–666. — DOI: 10.3233/978-1-61499-544-9-657.

12. Shaping the digital twin for design and production engineering / B. Schleich, N. Anwer, L. Mathieu, S. Wartzack // *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. — 2017. — Vol. 66, Iss. 1. — P. 141–144.

13. The airframe digital twin: Some challenges to realization / E. Tuegel // 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, 23–26 April 2012, Honolulu, Hawaii. — Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012. — P. 1–10.

14. Virtually intelligent product systems: Digital and physical twins / M. W. Grieves // *Complex Systems Engineering: Theory and Practice* / ed. by S. Adams, P. A. Beling, J. H. Lambert, W. T. Scherer, C. Fleming. — Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2019. — P. 175–200. — ISBN: 978-1-62410-564-7.

15. Digital Twins: State of the art theory and practice, challenges, and open research questions / A. Sharma, E. Kosasih, J. Zhang, A. Brintrup, A. Calinescu // 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, 23–26 April 2012, Honolulu, Hawaii. — Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012. — P. 1–11.

16. Мялиця, А. К. Порівняння інформаційних властивостей креслення та аналітичного еталону / А. К. Мялиця // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології : зб. наук. пр. Держ. аерокосм. ун-ту ім. М. Є. Жуковського «ХАІ». 1999. Вип. 4. С. 37–43.

17. Бичков, І. В. Опис об'єкта виробництва для коректної постановки задачі формообрання / І. В. Бичков // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології : зб. наук. пр. Нац. аерокосм. ун-ту ім. М. Є. Жуковського «ХАІ». 2010. Вип. 45. С. 129–135.

18. Возможные варианты передачи технологической информации от конструктора до технолога в аналитическом эталоне / С. А. Третьяков, А. С. Борцов, І. В. Бичков, В. В. Прусенко // *Авиационно-космична техніка і технологія* : зб. наук. пр. Нац. аерокосм. ун-ту ім. М. Є. Жуковського «ХАІ». 2002. Вип. 33. С. 296–301.

References

1. Monge, G. Descriptive Geometry [Géométrie descriptive] / G. Monge. — Paris: Baudouin, 1799. — 148 p. (in French).

2. Schoenberg, I. J. Contributions to problem of approximation of equidistant data by analytic functions / I. J. Schoenberg // *Quart. Appl. Math.* — 1946. — No. 4. — P. 45–99, 112–141.

3. Piegl, L. The NURBS book / L. Piegl, W. Tiller. — Berlin: Springer, 1997. —

578 p.

4. Chenin, P. *Mathématiques et CAO [Mathematics and CAD]* / P. Chenin, M. Cosnard, Y. Gardan [et al.]. – Paris: Eyrolles, 1988. – 204 p.
5. Germain-Lacour, P. *Mathématiques et CAO [Mathematics and CAD]* / P. Germain-Lacour, P. L. George, F. Pistre, P. Bézier. – Paris: Eyrolles, 1989. – 264 p.
6. Lee, K. *Principles of CAD/CAM/CAE Systems*. – Reading, MA: Addison-Wesley, 1999. – 582 p.
7. DSTU GOST 2.102:2013 Types and completeness of design documents. (GOST 2.102-2013, IDT). – Effective from 2014-06-01. Replaces DSTU GOST 2.102:2006. – Moscow: Standartinform, 2013. – 31 p. (Valid in Ukraine).
8. DSTU ISO 10303-1:2007 Industrial automation systems and integration. Product data representation and exchange. Part 1: General concepts and fundamental principles (ISO 10303-1:1994, IDT). – Effective from 2007-10-01. – Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine, 2007. – 19 p. (GOST R ISO 10303-1-99 is identical to ISO 10303-1:1994).
9. DSTU GOST 2.053:2006 Electronic structure of the product. (GOST 2.053-2006, IDT). – Effective from 2006-09-01. – Moscow: Standartinform, 2006. – 10 p. (Valid in Ukraine).
10. Bychkov, I. V. State of the product during its life cycle / I. V. Bychkov, Yu. V. Vashchuk // *Open Information and Computer Integrated Technologies: coll. sci. pap. Natl. Aerosp. Univ. "KhAI"*. – 2003. – Iss. 18. – P. 111–122.
11. Product avatar as digital counterpart of a physical individual product: Literature review and implications in an aircraft / J. Ríos, J. C. Hernández, M. Oliva, F. Mas // *Advances in Transdisciplinary Engineering*. – 2015. – Vol. 2. – P. 657–666. – DOI: 10.3233/978-1-61499-544-9-657.
12. Shaping the digital twin for design and production engineering / B. Schleich, N. Anwer, L. Mathieu, S. Wartzack // *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. – 2017. – Vol. 66, Iss. 1. – P. 141–144.
13. Tuegel, E. The airframe digital twin: Some challenges to realization / E. Tuegel // *53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference*. – Reston, VA: AIAA, 2012. – P. 1–10.
14. Grieves, M. W. Virtually intelligent product systems: Digital and physical twins / M. W. Grieves // *Complex Systems Engineering: Theory and Practice* / ed. by S. Adams [et al.]. – Reston, VA: AIAA, 2019. – P. 175–200. – ISBN: 978-1-62410-564-7.
15. Digital Twins: State of the art theory and practice, challenges, and open research questions / A. Sharma, E. Kosasih, J. Zhang, A. Brintrup, A. Calinescu // *53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference*. – Reston, VA: AIAA, 2012. – P. 1–11.
16. Myalytsia, A. K. Comparison of informational properties of drawings and analytical reference / A. K. Myalytsia // *Open Information and Computer Integrated Technologies: coll. sci. pap. State Aerosp. Univ. "KhAI"*. – 1999. – Iss. 4. – P. 37–43.
17. Bychkov, I. V. Description of production objects for correct formulation of shape formation problems / I. V. Bychkov // *Open Information and Computer Integrated Technologies: coll. sci. pap. Natl. Aerosp. Univ. "KhAI"*. – 2010. – Iss. 45. – P. 129–135.
18. Possible ways of transferring technological information from designer to technologist in analytical reference / S. A. Tretyakov, A. S. Bortsov, I. V. Bychkov, V. V. Prusenko // *Aerospace Engineering and Technology: coll. sci. pap. Natl. Aerosp. Univ. "KhAI"*. – 2002. – Iss. 33. – P. 296–301.

Надійшла до редакції 19.08.2025, розглянута на редколегії 21.08.2025

Formation of information space elements to enable machining of parts in aircraft manufacturing

Modern mechanical engineering production, particularly in aerospace engineering, is characterized by the mixed use of human-oriented and machine-oriented technologies. This creates a discrepancy between traditional means of information representation (drawings), designed for visual perception, and the requirements of automated systems, which need precise analytical models. It has been demonstrated that the parallel use of two description languages (descriptive geometry vs. analytical geometry) leads to the formation of two independent models of the same object and violates the principle of unity information space.

As a solution, the concept of an Analytical Reference of a Part (ARP) – a unified digital model containing the complete set of technological attributes for all stages of the product lifecycle – is proposed and substantiated. The application of the ARP leads to clarity and unambiguous interpretation of information by all participants in the product lifecycle, as well as to a several-fold reduction in the labor intensity of data entry. This, in turn, will eliminate duplication of work during production process planning and reduce the costs of mastering new products.

Keywords: information space, product life cycle, analytical reference of a part, engineering drawing, human-oriented production, machine-oriented production, machining, CAD/CAM systems, CNC equipment, digital twin, design labor intensity.

Відомості про авторів:

Бичков Ігор Валерійович – д.т.н., професор кафедри технології виробництва літальних апаратів, Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна. Електронна пошта: i.bychkov@khai.edu, телефон: +380 (93) 95495625, ORCID: 0000-0002-4819-5826.

Лисоченко Ігор Миколайович – аспірант кафедри технології виробництва літальних апаратів, Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна. Електронна пошта: i.m.lysochenko@khai.edu, телефон: +380 (67) 1202998, ORCID: 0000-0002-4407-0305

Бичков Микола Ігорович – к.т.н., старший викладач кафедри технології виробництва літальних апаратів, Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна. Електронна пошта: m.bychkov@khai.edu, телефон: +380 (63) 2835380, ORCID: 0009-0008-1776-9568

Рябіков Сергій Миколайович – аспірант кафедри технології виробництва літальних апаратів, Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна. Електронна пошта: s.ryabikov1957@gmail.com, телефон: +380 (97) 8473306, ORCID: 0009-0007-9430-8354.

Селезньова Ганна Сергіївна – старший викладач кафедри технології виробництва літальних апаратів, Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна. Електронна пошта: a.seleznova@khai.edu, телефон: +380 (68) 9644134, ORCID: 0000-0002-6523-222X.

About the authors:

Ihor Bychkov – Doctor of Technical Science, Professor at the Department of technology of aircrafts manufacturing, National aerospace university “Kharkiv aviation institute”, Kharkiv, Ukraine, Email: i.bychkov@khai.edu, phone: +380 (93) 95495625, ORCID: 0000-0002-4819-5826.

Ihor Lysochenko – postgraduate student at the Department of technology of aircrafts manufacturing, National aerospace university “Kharkiv aviation institute”, Kharkiv, Ukraine. Email: i.lysochenko@khai.edu, phone: +380(67)1202998, ORCID: 0000-0002-4407-0305.

Mykola Bychkov – Ph.D., Senior Lecturer at the Department of technology of aircrafts manufacturing, National aerospace university “Kharkiv aviation institute”, Kharkiv, Ukraine. Email: m.bychkov@khai.edu, phone: +380(63)2835380, ORCID: 0009-0008-1776-9568.

Serhiy Ryabikov – postgraduate student at the Department of technology of aircrafts manufacturing, National aerospace university «Kharkiv aviation institute», Kharkiv, Ukraine. Email: s.ryabikov1957@gmail.com, phone: +38(097)8473306, ORCID: 0009-0007-9430-8354.

Hanna Seleznova – Senior Lecturer at the Department of technology of aircrafts manufacturing, National aerospace university «Kharkiv aviation institute», Kharkiv, Ukraine, Email: a.seleznova@khai.edu, phone: +380(68)9644134, ORCID: 0000-0002-6523-222X