

СЕКЦІЯ 3.

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З БІОСИСТЕМНОЇ АГРОІНЖЕНЕРІЇ, АГРОТЕХНОЛОГІЙ ТА АГРОЕКОЛОГІЇ

УДК 514.182.7

Олена Дереза, кандидат технічних наук, доцент,
в.о. завідувача кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проектування,
Олександр Вершков, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проектування,
Олександр Мацулевич, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проектування,
Олена Михайленко, старший викладач кафедри
інженерної механіки та комп'ютерного проектування,
Андрій Чаплінський, старший викладач кафедри
інженерної механіки та комп'ютерного проектування,
Ілля Тетервак, асистент кафедри інженерної механіки
та комп'ютерного проектування,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ВИРОБІВ

Анотація. У ході дослідження було сформульовано визначення віртуальної інженерії, проаналізовано її ключові компоненти та функціональні сфери застосування, а також розглянуто вектори розвитку відповідних інструментів у межах сучасних САПР. Встановлено, що віртуальна інженерія створює фундамент для ефективної спільної розробки складних систем. Цифровий формат даних дозволяє фахівцям легко обмінюватися інформацією, а використання спільних віртуальних просторів дає змогу географічно віддаленим командам одночасно досліджувати та вдосконалювати цифровий прототип.

Ключові слова: геометричне моделювання, скінченно-елементний аналіз, конвергенція, перепроєктування, концепція віртуальної інженерії, цифрова модель, геометричні колізії.

Abstract. This study formulates a definition of virtual engineering, analyzes its key components and functional areas of application, and examines the development trends of relevant tools within the framework of modern CAD systems. It has been established that virtual engineering provides the foundation for the effective collaborative development of complex systems. The digital data format allows specialists to easily exchange information, and the use of shared virtual spaces enables geographically dispersed teams to simultaneously explore and refine a digital prototype.

Keywords: Geometric modeling, finite element analysis, convergence, redesign, concept of virtual engineering, digital model, geometric collisions.

Динамічність та високий ступінь диверсифікації сучасного ринку зумовлюють тенденцію до суттєвого скорочення життєвого циклу промислової продукції, що висуває жорсткі вимоги до темпів її розробки. Традиційні підходи, засновані на багаторазових ітераціях проєктування та створенні високовартісних фізичних прототипів, уже не здатні забезпечити необхідну конкурентоспроможність. У зв'язку з цим перехід до методів розробки на базі комплексного комп'ютерного моделювання став об'єктивною необхідністю для сучасної інженерії.

Розвиток автоматизованих систем проєктування призвів до формування нової парадигми аналізу, де сучасні засоби геометричного моделювання дозволяють оперувати об'єктами надскладної топології. Це дає можливість оцінювати та модифікувати вузли як цілісні системи, симулюючи їхню кінематику з точністю, що раніше була доступна лише під час випробувань реальних зразків. Важливим етапом цієї еволюції є метод скінченних елементів, який виступає ефективним інструментом віртуальної перевірки надійності та функціональності виробу. За умови підвищення обчислювальної потужності до рівня реального часу, цей метод дозволяє з високою достовірністю прогнозувати напружено-деформований стан, вібраційні характеристики, температурні режими та інші критичні параметри складних технічних систем.

Сучасні тенденції в галузі САПР спрямовані на глибоку інтеграцію геометричного моделювання з аналітичними інструментами скінченно-елементного аналізу. Така конвергенція забезпечує безперервність циклу проектування, дозволяючи приймати обґрунтовані рішення на ранніх етапах розробки, що мінімізує витрати ресурсів на подальше перепроєктування. Зазначені процеси формують концепцію віртуальної інженерії, в основі якої лежить розробка продукту виключно на базі цифрових моделей. Досягнення в чисельному моделюванні фізичних властивостей та автоматичне виявлення геометричних колізій у режимі реального часу роблять віртуальну інженерію ключовим компонентом промислового виробництва, що дозволяє радикально скоротити терміни виходу продукту на ринок та оптимізувати витрати на його створення. З досягненням технологічної зрілості цей підхід має стати базовим стандартом у глобальному процесі розробки складних інженерних рішень.

1. Визначення віртуальної інженерії.

Віртуальне проектування – віртуальне проектування розглядається як прогресивний метод моделювання, призначений для надання інженерному персоналу інструментарію для прийняття обґрунтованих рішень та ефективного управління ними.

Віртуальне середовище – під віртуальним середовищем розуміють спеціалізовану обчислювальну структуру, яка забезпечує прецизійне відтворення геометричних і фізичних характеристик реальних технічних систем.

Методологія віртуальної інженерії передбачає комплексне моделювання різноманітних аспектів інженерної діяльності, що включає механічну обробку компонентів, процеси складання, моніторинг виробничих ліній, а також процедури перевірки, оцінки та безпосереднього проектування. Таким чином, цей підхід охоплює повний цикл розробки продукції та її подальшого виготовлення. На практиці після побудови цифрової моделі деталі здійснюється імітація її обробки та інтеграції у вузол. Зібраний у такий спосіб віртуальний прототип піддається

всебічній перевірці, за результатами якої в конструкцію вносяться необхідні корективи. Лише після остаточного затвердження прототипу проводиться моделювання всієї виробничої системи та її функціонування, а також прогнозуються економічні показники та графіки постачання. Кінцевим продуктом такого моделювання стає оптимізований прототип і детальні виробничі регламенти, що слугують фундаментом для створення фізичної системи.

Віртуальна інженерія пропонує принципово нову парадигму вирішення складних інженерних завдань. Застосування імітаційного моделювання дозволяє повністю відмовитися від створення високовартісних матеріальних прототипів та проведення натурних експериментів. Це веде до радикального скорочення часових витрат на розробку, надає можливість тестувати значно ширший спектр альтернативних варіантів дизайну та забезпечує вищу якість фінального виробу. Крім того, віртуальна інженерія створює ефективний інтерфейс для взаємодії з клієнтом, дозволяючи заздалегідь демонструвати тривимірну модель майбутнього продукту та оперативно вносити зміни за бажанням замовника. Такий підхід робить можливим побудову прототипів об'єктів, створення яких у реальності є технічно недоступним, надто небезпечним або економічно недоцільним. Зазначені можливості мають виняткову цінність для авіаційної та автомобільної промисловості, де виготовлення фізичних макетів є надзвичайно дорогим, цикли розробки тривалими, а продукція характеризується високою складністю та потребою у детальному врахуванні відгуків користувачів.

2. Компоненти віртуальної інженерії. Попри стрімкий розвиток, термінологічна база та визначення віртуальної інженерії на сьогодні ще не є остаточно встановленими. У сфері промислового виробництва ключовим компонентом цього напрямку вважається віртуальне виробництво, яке визначається як інтегроване синтетичне середовище, спрямоване на вдосконалення процесів прийняття рішень на всіх управлінських рівнях. Його прийнято класифікувати на проектно-орієнтоване, що фокусується на оцінці виробничої доцільності виробу;

виробничо-орієнтоване, призначене для планування технологічних циклів; та управлінське, що симулює роботу безпосередньо виробничих підрозділів. З точки зору життєвого циклу виробу віртуальне виробництво структурується на віртуальне проєктування, цифрове моделювання, віртуальне прототипування та віртуальну фабрику. Цифрове моделювання дозволяє оцінювати продуктивність без фізичних зразків, тоді як віртуальне прототипування полягає у створенні комп'ютерного аналога, що за геометрією та фізичною поведінкою ідентичний реальному виробу. Віртуальна фабрика, у свою чергу, представляє собою повну імітацію виробничої лінії підприємства.

Класифікацію віртуального виробництва в контексті життєвого циклу продукції доцільно здійснювати за такими напрямками, як віртуальне проєктування, цифрове моделювання, віртуальне прототипування та віртуальна фабрика. Віртуальне проєктування базується на використанні засобів віртуальної реальності, тоді як цифрове моделювання забезпечує можливість тестування та верифікації експлуатаційних характеристик виробу без виготовлення фізичних зразків. У межах створення віртуального прототипу формується комп'ютерний аналог, що повністю відтворює геометрію та фізичну поведінку реального об'єкта. Поняття віртуальної фабрики, у свою чергу, охоплює комплексну імітацію функціонування всієї виробничої лінії підприємства.

Реалізація віртуального проєктування відбувається у спеціалізованому середовищі із залученням інструментарію віртуальної реальності, що дозволяє зосередитися на формуванні альтернативного інтерфейсу взаємодії в процесі розробки. Завдяки зануренню у віртуальний простір проєктанти отримують можливість безпосередньо створювати та модифікувати компоненти, керувати технічними пристроями та взаємодіяти з цифровими об'єктами. Візуалізація здійснюється через стереоскопічні зображення, що супроводжуються просторово реалістичним звуковим оточенням. Взаємодія з моделлю ініціюється рухами рук дизайнера, які транслуються на віртуальні маніпулятори, а тактильний зворотний

зв'язок забезпечує відчуття фізичного контакту з об'єктами. Такий підхід сприяє ефективному втіленню інженерного задуму та дозволяє оперативно перевіряти функціональну відповідність конструкції.

Пріоритетною метою віртуального дизайну є забезпечення максимально інтуїтивного та природного способу діяльності інженера. Незважаючи на значні обчислювальні можливості сучасних систем автоматизованого проєктування, рівень взаємодії між розробником і моделлю в традиційних САПР залишається обмеженим. Сприйняття інформації лімітується площиною монітора, а введення даних зводиться до маніпуляцій мишею, що метафорично робить конструктора обмеженим у засобах сприйняття та дії. Натомість технології віртуальної реальності пропонують більш органічну взаємодію, що розширює творчий потенціал та надає більшу свободу при формуванні моделі.

Додатковим завданням віртуального проєктування є інтеграція досвіду кінцевого користувача на ранніх етапах розробки продукту. Це дозволяє ще в процесі проєктування повноцінно проаналізувати такі критичні параметри, як ергономічна доступність та зручність керування. Окрім цього, система віртуального дизайну стає інструментом для залучення неявних знань експертів зі складання або маніпулювання деталями. Хоча такий досвід складно піддається формалізації, занурення в імітаційне середовище дозволяє наочно визначити оптимальну позицію оператора, специфіку його взаємодії з вузлами та раціональну послідовність технологічних операцій монтажу.



Рис. 1. Віртуальне проєктування за допомогою апаратури віртуальної реальності

Впровадження віртуального дизайну вимагає фундаментального перегляду підходів до моделювання тривимірної геометрії. Традиційні інтерфейси з меню та кнопками поступаються місцем технологіям розпізнавання мови та жестів, що робить процес взаємодії більш природним. Наприклад, для зміни масштабів чи розмірів об'єкта дизайнеру не потрібно вводити числові параметри – достатньо фізично «підняти» модель у віртуальному просторі та «розтягнути» її до потрібних габаритів. Очевидно, що розвиток віртуального проєктування неминуче призведе до виникнення принципово нових методик інженерного моделювання та схем побудови складних об'єктів.

Цифрове моделювання. Одним із ключових завдань цифрового моделювання є ретельна верифікація технологічних процесів. Перед запуску реального обладнання необхідно провести повну перевірку його роботи, оскільки будь-яка помилка в керуючому коді може стати причиною критичних пошкоджень дорогої техніки. Завдяки цифровому моделюванню користувач отримує можливість детально проаналізувати траєкторію руху інструмента ЧПК, щупа координатно-вимірювальної машини або маніпулятора робота ще до початку фізичних операцій.

Графічне керування процесом обробки дозволяє відтворити роботу віртуального верстата з ЧПК у реальному часі. Система зчитує стандартні інструкції та візуалізує всі переміщення: від руху інструментів і пристосувань до роботи укладальників та переміщення деталей. Постійний моніторинг процесу видалення матеріалу дає змогу оперативно виявляти потенційні проблеми, такі як вібрації, ризики поломки інструмента, поява зазубрин або критичних відхилень. Крім того, імітаційне моделювання є надійним засобом прогнозування та усунення зіткнень між робочим інструментом, технологічною оснасткою та самою деталлю.

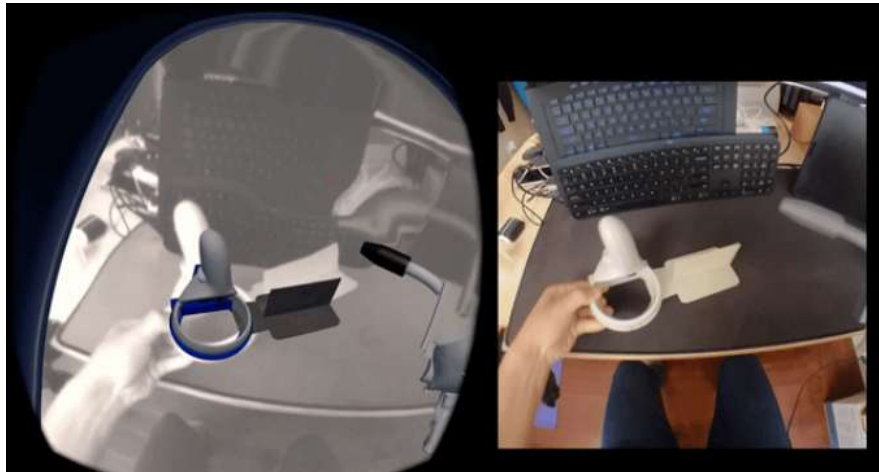


Рис. 2. Цифрова імітація зварювання

Візуалізація виступає потужним інструментом, що допомагає інженерам глибше осягнути структуру та логіку роботи системи. Це дозволяє не лише наочно представити дизайнерську ідею, а й завчасно верифікувати її працездатність. На сучасному етапі для цих цілей переважно застосовується кінематична симуляція твердих тіл. Однак перехід до моделювання систем вищого рівня, таких як потоки рідин, поведінка людей або складні середовища, потребує врахування широкого спектра фізичних ефектів, включаючи динамічні навантаження, вібраційні процеси, акустику та деформаційні зміни. Попри складність таких розрахунків, використання віртуальних прототипів дозволяє значно пришвидшити перевірку продуктивності системи та суттєво мінімізувати супутні витрати.

Віртуальне макетування – це процес формування цифрового прототипу вузла шляхом об'єднання геометричних моделей його окремих компонентів. Такий віртуальний зразок часто визначають як цифровий макет або цифрове попереднє складання. Системи цифрового прототипування надають можливість візуалізувати кожен етап монтажного процесу та перевірити відповідність проєктних одиниць чинним виробничим обмеженням. Завдяки процедурі віртуального складання стає можливим виявлення прихованих конструктивних недоліків та оперативне

внесення коректив. Це гарантує, що подальше реальне виготовлення та фізичне збирання виробу буде успішно завершено з першої спроби.

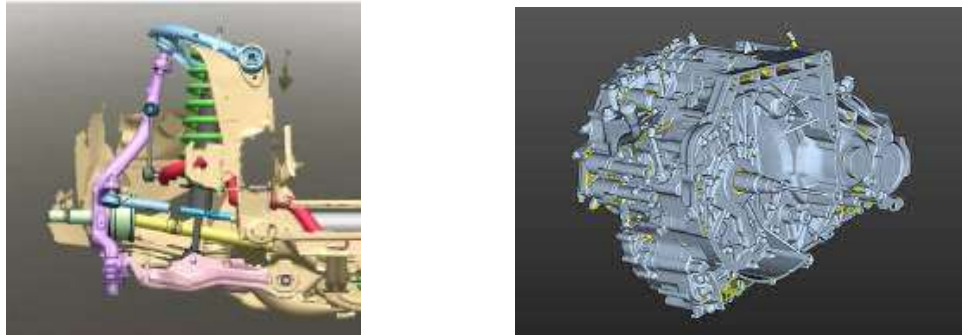


Рис. 3. Віртуальний прототип двигуна і підвіски

Ключовою функцією віртуального прототипування є верифікація можливості здійснення монтажних операцій. Система аналізує коректність сполучення деталей, враховуючи встановлені обмеження складання та вимоги до точності допусків. Завдяки алгоритмам виявлення колізій програма автоматично ідентифікує компоненти, що перетинаються або заважають встановленню інших частин. Також детально перевіряється черговість складання та траєкторії переміщення елементів, що дозволяє визначити найбільш раціональні шляхи монтажу. Сучасні розширені системи забезпечують проведення комплексного структурного та функціонального аналізу цифрового прототипу за допомогою інтегрованих аналітичних модулів, що часто включає кінематичне та динамічне моделювання механізмів.

На основі отриманих даних віртуального прототипування інженери мають можливість приймати обґрунтовані конструкторські рішення. Оптимізація виробу досягається через послідовне вдосконалення цифрової моделі, а з підвищенням деталізації прототипу зростає точність структурного та функціонального аналізу. Кінцевою метою є створення ситуації, за якої віртуальний зразок за всіма характеристиками буде еквівалентним фізичному. Це дозволить повністю

виключити етап створення високовартісних і трудомістких натурних макетів із циклу розробки.

Віртуальний завод представляє собою цілісну виробничу систему, відтворену в цифровому середовищі. Така модель імітує архітектуру виробничих майданчиків, технологічні процеси та логістику складських систем. Крім того, у межах віртуальної фабрики можна програмувати роботу автоматизованого обладнання: робототехнічних комплексів, конвеєрних ліній та верстатів. Система відтворює функціонування накопичувачів, зон навантаження, виробничих ділянок, а також моделює регламентовані процедури — від маршрутів переміщення до послідовності технологічних операцій. Фінальна модель виробництва піддається детальному аналізу для розрахунку витрат на оплату праці, обсягів запасів, експлуатаційних витрат, витрат на логістику та загальної тривалості виробничого циклу.



Рис. 4. Віртуальна імітація автомобільного заводу

Зазначені можливості дозволяють використовувати концепцію віртуального заводу як потужний інструмент для стратегічного планування виробництва. Це включає комплексну оцінку проєктів виробничих систем та проведення порівняльного аналізу альтернативних методів виготовлення продукції. З досягненням технологічної зрілості віртуальна фабрика зможе імітувати функціонування всього ланцюжка постачання. Це дозволить здійснювати наскрізну оцінку та оптимізацію процесів управління ресурсами та виробничими потужностями на глобальному рівні.

3. Застосування віртуальної інженерії. Процес віртуального проєктування базується на послідовному розвитку моделі: він бере початок із формування геометричних параметрів, продовжується імітацією роботи виробничої системи та завершується створенням повноцінного віртуального прототипу або продукту. Попри те, що результатом цього циклу не є фізичні об'єкти, було б помилково вважати такі дії лише теоретичними. Віртуальна інженерія є надзвичайно ефективним прикладним інструментом, який дозволяє верифікувати різноманітні конфігурації дизайну та обрати найбільш раціональний варіант ще до початку фактичних виробничих процесів. Окрім ролі в проєктуванні, віртуальна інженерія знаходить широке застосування в безпосередній операційній діяльності підприємств, забезпечуючи цифрову підтримку на всіх етапах життєвого циклу виробу.

Інструмент дизайну. Віртуальна інженерія як інноваційний інструмент дизайну пропонує докорінно новий підхід до процесу конструювання. Завдяки специфічному інтерфейсу користувача створюється імерсивне середовище, що забезпечує глибоке занурення в проєкт та високий рівень інтерактивності. Це дозволяє розробникам детальніше досягнути специфіку об'єкта, стимулює креативність та дає змогу інтегрувати людський фактор у концепцію виробу вже на початкових етапах.

Цифрове моделювання та віртуальне прототипування відіграють ключову роль у верифікації та оптимізації проєктних рішень. Експлуатаційні параметри обраної концепції оцінюються за допомогою віртуальних аналогів, а технологічна доцільність конструкції перевіряється шляхом симуляції виробничого циклу в умовах віртуальної фабрики. Наявність віртуального прототипу дозволяє вносити прецизійні корективи в дизайн, застосовуючи метод скінченних елементів та інші аналітичні підходи. Повна імітація функціональності продукту допомагає вчасно виявити конструктивні недоліки та визначити вектори для вдосконалення. Системний аналіз продуктивності та виробничих потужностей сприяє прийняттю

обґрунтованих інженерних рішень, а ітераційна процедура прототипування забезпечує комплексну оптимізацію проєкту.

Важливим аспектом, що реалізується за допомогою віртуальної інженерії, є методологія проєктування «зверху вниз». На відміну від традиційного підходу, де окремо розроблені компоненти згодом об'єднуються у вузол, ця стратегія базується на пріоритетності глобальних функціональних вимог, які стають основою для подальшої деталізації. Концептуальний проєкт виступає відправною точкою, а результатом стає детальна розробка окремих елементів. Перевагою віртуального середовища є можливість складання прототипу навіть за умови неповної опрацьованості деталей. Після проведення загальної оцінки конструкції на базі структури віртуального прототипу розробляються остаточні проєкти компонентів, що робить процес конструювання більш інтуїтивним на ранніх стадіях.

Оцінка доцільності виробництва. Віртуальна інженерія також забезпечує ефективну оцінку доцільності виробництва різних варіантів конструкції. Такий аналіз надає вичерпну інформацію щодо тривалості обробки, операційних циклів, очікуваних витрат та якості майбутньої продукції. Крім того, це дозволяє прогнозувати час на підготовку робіт, терміни виконання та необхідні трудовитрати. Для отримання достовірних результатів використовуються комплексні моделі виробничих процесів, на основі яких приймається рішення про придатність конструкції до виготовлення. Можлива також якісна оцінка технологічності, що характеризує легкість виробництва. У разі невідповідності проєкту виробничим вимогам система дозволяє ідентифікувати проблемні атрибути дизайну для їх подальшого дослідження та корегування.

Оцінка та контроль якості. Моделювання процесу тестування та експлуатації, що дозволяє детально проаналізувати продуктивність виробу ще на етапі розробки. Моделювання робочих циклів дає змогу провести серію статистичних випробувань цифрової моделі для визначення її чутливості до змін у конструкції або технології виготовлення. На основі цих даних розраховується

індекс якості, який відображає здатність системи функціонувати в межах заданих допусків, що забезпечує об'єктивну оцінку продукту до початку його фізичного виробництва.

Під час аналізу якості ідентифікуються ключові чинники, що мають на неї безпосередній вплив. Отримана інформація стає підґрунтям для вдосконалення проєкту шляхом корегування факторів, визначених як деструктивні. Паралельно з цим якість продукції може бути підвищена завдяки модернізації параметрів виробничого обладнання в цифровій моделі. Оскільки ітерації у віртуальному просторі потребують значно менших фінансових витрат, інженери мають можливість дослідити повний спектр альтернативних рішень для пошуку оптимального варіанта. Поєднання оцінки виробничої доцільності та оптимізації конструкції дозволяє максимально ефективно налаштувати реальний випуск продукції, мінімізуючи кількість дефектів.

Оцінка та оптимізація виробничого процесу. Важливим аспектом є цифрова оцінка та оптимізація безпосередньо виробничих операцій. Моделювання дозволяє верифікувати програми для верстатів з ЧПК, алгоритми роботи робототехнічних комплексів та траєкторії зондів координатно-вимірювальних машин. Візуалізація руху інструмента або маніпулятора робота допомагає виявити та запобігти потенційним зіткненням чи іншим помилкам у керуючому коді. Як альтернатива, система може автоматично генерувати безпечні траєкторії руху, що виключає ризик дороговартісних поломок обладнання під час фактичної експлуатації. Окрім глобального аналізу процесу, детальна оцінка таких елементів, як фіксація та подача деталей, забезпечує раціональне планування кожного етапу обробки.

Планування виробництва та продукції. Здійснюється шляхом імітації окремих подій, що дозволяє розрахувати пропускну здатність ліній, ефективність використання обладнання, операційні витрати та логістику матеріальних потоків. Аналізу піддаються також статичні характеристики системи: тривалість виробничого циклу, межі робочих зон машин, їхнє просторове розміщення, а також

доступність вузлів для обслуговування. Імітаційне планування демонструє найвищу ефективність на потокових лініях із повторюваними операціями, тоді як моделювання діляниць із дрібносерійним виробництвом складних виробів потребує застосування більш досконалих аналітичних систем.

Іншим стратегічним напрямом застосування віртуального інжинірингу є планування продукції в умовах динамічного ринку. Високі вимоги до швидкості постачання змушують компанії скорочувати періоди підготовки виробництва. Симуляційні методи дозволяють миттєво оцінити собівартість, тривалість виготовлення та графіки відвантаження без залучення реальних потужностей. Використання такого інструментарію надає підприємствам можливість гнучко та ефективно реагувати на будь-які зміни ринкової кон'юнктури.

Інтерфейс для клієнта. Віртуальна інженерія дозволяє гнучко адаптувати продукт під індивідуальні вимоги замовника та з високою точністю прогнозувати терміни постачання. Створення віртуальної моделі дає змогу не лише продемонструвати зовнішній вигляд виробу, а й симулювати його функціонування в реальних умовах. Важливою перевагою є можливість інтерактивного внесення коректив у прототип безпосередньо під час обговорення із замовником. Ці зміни оперативно передаються до інженерного відділу та на виробництво, що значно прискорює загальний цикл виготовлення. Таким чином, побажання клієнта трансформуються у прямий зворотний зв'язок, а віртуальна інженерія стає інструментом для швидкої та точної фіксації потреб ринку, підвищуючи ефективність виробника за показниками вартості та оперативності.

База знань. Формування інтелектуальної бази знань стає можливим завдяки систематизації та аналізу інформації про виробничі процеси, що генерується у віртуальному середовищі. Управління цією інформацією передбачає обробку комплексних даних про циркуляцію моделей та технологічних інструкцій протягом усього життєвого циклу розробки. На відміну від традиційного фізичного середовища, де експертний досвід часто важко формалізувати, віртуальна

інженерія дозволяє накопичувати обширні масиви інженерних знань. Згодом ці бази даних та результати їх візуалізації слугують стратегічним керівництвом для аналітиків та конструкторів, забезпечуючи спадкоємність досвіду та врахування помилок минулих поколінь при розробці нових продуктів.

Паралельна робота в контексті єдиних виробничих вимог сприяє глибшому розумінню особливостей продукту, підвищенню його якості та суттєвому скороченню термінів виходу на ринок. Забезпечення коректності дизайну на початкових етапах мінімізує потребу у високовартісних доопрацюваннях на пізніх стадіях виробничого циклу. Крім того, така співпраця може виходити за межі одного підприємства, залучаючи постачальників та партнерів до єдиного інформаційного простору, що зміцнює інтеграційні зв'язки та оптимізує процеси створення інноваційної продукції.

Список використаних джерел

1. Мацулевич О. Є. Застосування спеціалізованої PLM-системи Technologi CS при розробці автоматизованої системи ведення конструкторсько-технологічних баз даних підприємства сільськогосподарського машинобудування. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т. 1 <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-13>
2. Мацулевич О.Є., Вершков О.О. Вдосконалення методики контролю якості розробки управляючої програми із застосуванням симулятора роботи токарного верстата з ЧПУ. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т. 2. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-2-12>
3. Мацулевич О. Є., Гавриленко Є. А., Мірошніченко М. Ю., Гешева Г. В. Набуття навичок комп'ютерної обробки аудіо сигналів з використанням програмного забезпечення AdobeAudition. *Розвиток сучасної науки та освіти* : (Запоріжжя, 29-31 травня 2023 р.). Запоріжжя : ТДАТУ, 2023. С. 80-86.
4. Вершков О. О., Мацулевич О. Є., Дереза О. О. Загальні налаштування системи MASTERCAM для виконання завдань з розробки управляючих програм токарної обробки валів. *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації* : матеріали V Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (м. Запоріжжя, 29-31 травня 2024 р.). Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. С. 100-105.
5. Alrefo I.F., Rawashdeh M.O., Matsulevych O., Vershkov O., Halko S., Suprun O. Designing the functional surfaces of camshaft cams of internal combustion engines. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2024. Vol. 3. P. 72–78. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-3/072>

6. Alrefo I.F., Matsulevych O., Vershkov O., Halko S., Suprun O., Miroshnyk O. Designing the working surfaces of rotary planetary mechanisms. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. Vol. 4. P. 82-88. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/082>
7. Дереза О. О., Антонова Г. В., Тетервак І. Р., Валієва К. М. Аналітичні дослідження методики інтелектуального аналізу даних / *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації*: матеріали IV Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (м. Запоріжжя, 29-31 травня 2023 р.) / [за наук. ред. С. В. Кюрчев, В. О. Радкевич, В. М. Кюрчев та інш.]. Запоріжжя : ТДАТУ, 2023. С. 147-153
8. Вершков О.О., Мацулевич О.Є., Тетервак І.Р., Супрун М.В. Моделювання кулачків зубозаточувальних верстатів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2025. Вип. 25, т. 2. С. 106-110
9. Мацулевич О. Є., Вершков О. О., Чаплінський А. П., Супрун М. В. Моделювання зубного мосту в пакеті програм DENTCAD. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2025. Вип. 25, т. 2. С. 134-140
10. Мацулевич О. Є., Щербина В. М., Залевський С. В. Автоматизація процесу геометричного моделювання робочих поверхонь насадок для фонтанів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. Вип. 8, Т. 1. С. 55–68.