

УДК 621.01:004.4

## СУЧАСНИЙ КОМП'ЮТЕРНИЙ ІНЖИНІРИНГ У МАШИНОБУДУВАННІ

**К.В. Аврамов, завідувач відділу, д.т.н., Б.В. Успенський, м.н.с., к.т.н., ІПМаш,  
О.Я. Ніконов, професор, д.т.н., ХНАДУ**

***Анотація.** Розглянуто основні тенденції та підходи сучасного комп'ютерного інжинірингу, представлені етапи розвитку ключових груп технологій і ступінь їх впровадження в промисловість.*

***Ключові слова:** комп'ютерний інжиніринг, машинобудування, інформаційні технології, програмні засоби, штучний інтелект*

## СОВРЕМЕННЫЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ ИНЖИНИРИНГ В МАШИНОСТРОЕНИИ

**К.В. Аврамов, заведующий отделом, д.т.н., Б.В. Успенский, м.н.с., к.т.н., ИПМаш,  
О.Я. Никонов, профессор, д.т.н., ХНАДУ**

***Аннотация.** Рассмотрены основные тенденции и подходы современного компьютерного инжиниринга, представлены этапы развития ключевых групп технологий и степень их внедрения в промышленность.*

***Ключевые слова:** компьютерный инжиниринг, машиностроение, информационные технологии, программные средства, искусственный интеллект*

## MODERN COMPUTER ENGINEERING IN MACHINE-BUILDING

**K.V. Avramov, chief of department, dr. eng. sc., B.V. Uspenskiy, junior scientist  
researcher, cand. eng. sc., IPMach, O.Ya. Nikonov, professor, dr. eng. sc., KhNAHU**

***Abstract.** The main trends and approaches of modern computer engineering are considered, the stages of development of key technology groups and the degree of their implementation in industry are presented.*

***Keywords:** computer engineering, machine-building, information technology, software, artificial intelligence*

### Вступ

Основна задача сучасної промисловості – створення глобально-конкурентоспроможної та затребуваної продукції нового покоління в найкоротший термін. Для успішного вирішення цієї задачі необхідні постійна генерація, застосування, накопичення і трансфер нових знань, створення і розвиток наукоємних технологій з подальшим їх об'єднанням в технологічні ланцюжки нового покоління, розробка наукоємних інновацій і створення сучасного «розумного» виробництва.

Сучасний комп'ютерний інжиніринг являє

собою мультідисциплінарні, багатомасштабні (багаторівневі) і багатостадійні дослідження і інжиніринг на основі так званих «мультіфізичних» («MultiPhysics») знань і комп'ютерних технологій, в першу чергу, наукоємних технологій комп'ютерного інжинірингу (Computer-Aided Engineering).

Загальноосвітні умови розвитку інноваційної економіки знань:

- 1) глобалізація ринків і гіперконкуренція;
- 2) швидкий і інтенсивний розвиток інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) і наукоємних комп'ютерних технологій (НКТ), нанотехнологій;

- 3) надскладні і гіперскладні проблеми («мега-проблеми»);  
 4) «розмивання кордонів», поява і розвиток «Coopetition» – поєднання кооперації (Cooperation) і конкуренції (Competition).

### Аналіз досліджень та публікацій

У перше десятиліття ХХІ століття колективами, що складаються з багатопрофільних фахівців, виконані фундаментальні аналітичні дослідження, які багато в чому узагальнюють результати діяльності і розвитку прикладних, інженерних, обчислювальних наук і комп'ютерного інжинірингу на попередніх етапах і, з іншого боку, зумовлюють основні тренди розвитку обчислювальних наук і комп'ютерного інжинірингу, що розуміється як сукупність всіх компонентів, призначених для ефективного вирішення складних науково-технічних проблем шляхом математичного і суперкомп'ютерного моделювання. На основі вищезазначених розробок проведено цілу низку досліджень у машинобудівній галузі, наприклад [1-8], і т.і.

### Мета та постановка задачі

Метою статті є аналіз основних тенденцій та підходів сучасного комп'ютерного інжинірингу, що використовуються у машинобудівній галузі. Для ефективного комп'ютерного інжинірингу необхідно використання сучасних інформаційно-комунікаційних технологій на основі систем штучного інтелекту.

### Дослідження основних тенденцій та підходів сучасного комп'ютерного інжинірингу

1. Інноваційна  $M^3$ -концепція – інжиніринг на основі між- / мульті- / і трансдисциплінарних знань і комп'ютерних технологій, в першу чергу, наукомістких технологій комп'ютерного інжинірингу (Computer-Aided Engineering).
2. Концепція «Simulation-Based Design» – комп'ютерне проектування конкурентоспроможної продукції, засноване на ефективному і всебічному застосуванні САД-систем (Computer-Aided Design) світового рівня і кінцево-елементного моделювання (Finite Element Simulation) в рамках програмних CAE-систем.
3. CAD/CAM-технології (Computer-Aided Design/Manufacturing), які інтегрують САД- і

САМ-системи і забезпечують інтегроване рішення задач конструкторського і технологічного проектування.

4. Concurrent Engineering (CE) – «конкурентне» проектування / паралельне проектування / спільне проектування – спільна робота фахівців з різних функціональних підрозділів підприємства на як можливо більш ранній стадії розробки продукту з метою досягнення високої якості, функціональності і технологічності за коротший час з мінімальними витратами.

5. PDM-системи (Product Data Management, PDM) – системи управління даними про виріб, іноді звані системами для колективної роботи з інженерними даними (Collaborative PDM, cPDM).

6. Research Knowledge Management – менеджмент, генерація, капіталізація і тиражування формалізованих і, що принципово більш важливо, неформалізованих знань – основне джерело конкурентоспроможності.

7. 3D Visualization & Virtual Reality & Global Visual Collaboration – системи організації глобального співробітництва між розосередженими по всьому світу, які ефективно взаємодіють командами на основі комп'ютерних технологій візуалізації, віртуальної реальності та створення «Ефекту присутності».

Надзвичайно важливо відзначити, що багато з вищевказаних підходів, технологій і тенденцій сучасного комп'ютерного інжинірингу представляють собою надгалузеві технології – технології, що застосовуються в багатьох галузях промисловості, що сприяють міжгалузевому трансферу передових «інваріантних» технологій, надгалузевому трансферу мультидисциплінарних комп'ютерних технологій.

Наприклад, дизайнери компанії Ford вже бачать тривимірні голографічні зображення деталей так, немов вони вже є частиною автомобіля за допомогою технології Microsoft HoloLens. Це дозволяє їм швидко оцінювати дизайн, вносити зміни і визначати стиль майбутньої моделі на більш ранніх стадіях розробки. Технологія HoloLens також дозволила дизайнерам Ford активніше співпрацювати з інженерами. Це допомагає творцям зовнішності автомобіля краще розуміти клієнтський досвід використання транспортного засобу. Наприклад, дизайнер і інженер за допомогою HoloLens можуть практично в реальному часі оцінити, як виглядають нові ко-

рпуси бічних дзеркал з естетичної точки зору, а також відразу зрозуміти, чи не ускладнять вони огляд з автомобіля (рис. 1).

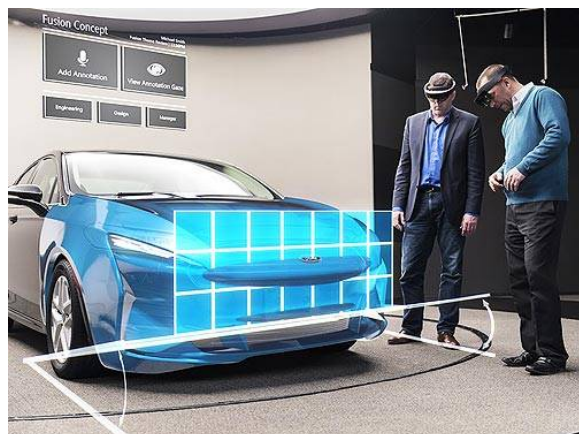


Рис. 1 – Дизайнери компанії Ford в гарнітурах Microsoft HoloLens

Microsoft HoloLens – окуляри змішаної реальності, розроблені Microsoft і випущені в 2016 році. Гаджет використовує 32-розрядну операційну систему Windows Holographic (версія Windows 10). На відміну від більшості інших пристроїв віртуальної, доповненої або змішаної реальності, HoloLens автономні і не вимагають підключення до ПК, смартфона або ігрової консолі.

Також технології віртуальної реальності використовуються і в загальному машинобудуванні, при створенні двигунів, корпусів машин, роботів і т.і. (рис. 2).



Рис. 2 – Віртуальний макет двигуна

Розглянемо більш детально CAD-технології. В даний час розрізняють три основних підгрупи CAD: машинобудівні CAD (MCAD - Mechanical CAD), CAD друкованих плат (ECAD – Electronic CAD/EDA – Electronic Design Automation) і архітектурно-будівельні CAD (CAD/AEC – Architectural, Engineering and Construction). Найбільш розвиненими є

MCAD-технології.

В даний час для розробки різноманітної продукції промислові підприємства широко використовують такі комп'ютерні технології – програмні засоби автоматизації:

- CAD / CAM-системи (Computer-Aided Design / Manufacturing), які забезпечують інтегроване рішення задач конструкторського і технологічного проектування. Серед усього різноманіття CAD / CAM-систем, найбільш широко представлених на ринку, виділимо:

- «важкі системи» («3-D high-end»), що з'явилися в 1980-х роках і володіють широкими функціональними можливостями і високою продуктивністю: CATIA від Dassault Systèmes (яка в жовтні 2009 року за 600 млн. доларів викупила PLM-бізнес у IBM), NX (інтеграція Unigraphics і SDRC-рішення I-DEAS під егідою Siemens PLM Software, розробка платформи High Definition PLM / HD-PLM, яка покращує інформаційну підтримку, підвищує ефективність і достовірність процесу прийняття рішень на всіх етапах життєвого циклу виробу) і Creo Elements (ребрендинг-інтеграція в кінці 2010 року Pro/ENGINEER і CoCreate на основі моделі даних і користувацького інтерфейсу);

- «середні системи» («3-D middle range»). В першу чергу відзначимо SolidWorks, Solid Edge, Autodesk Inventor, в яких при їх виникненні в середині 1990-х років були об'єднані можливості 3-D твердотілого моделювання, невисока в порівнянні з «важкими» системами ціна і орієнтацію на платформу Windows. Серед вітчизняних CAD/CAM-систем цього рівня відзначимо, в першу чергу, КОМПАС і T-Flex;

- «легкі системи» (2-D системи), які є найбільш поширеними продуктами автоматизації проектування, серед безлічі яких, перш за все, слід назвати AutoCAD.

- CAE-системи (Computer-Aided Engineering, CAE) – системи автоматизації інженерних розрахунків, найпередовіші з яких представляють собою мультидисциплінарні надгалузеві CAE-системи. За допомогою (в рамках) CAE-систем розробляють і застосовують раціональні математичні моделі, що володіють високим рівнем адекватності реальним об'єктам і реальним фізико-механічним процесам, і виконують ефективне рішення багатовимірних дослідних і промислових задач, що описуються нестационарними нелінійними диференціальними рівняннями з частинними похідними в просторових областях складної

форми; для ефективного вирішення цих задач застосовуються, як правило, різноманітні варіанти сучасного і найбільш потужного і універсального чисельного методу – методу скінченних елементів (МСЕ; Finite Element Analysis, FEA). FEA (звичайно-елементний аналіз; КЕ аналіз), в першу чергу, застосовується для ефективного вирішення задач механіки деформованого твердого тіла, статички, коливальні, стійкості, динаміки і міцності машин, конструкцій, приладів, апаратури, установок і споруд, тобто всього спектру продуктів і виробів, що випускаються різними галузями промисловості; за допомогою різних варіантів МСЕ ефективно вирішують задачі механіки конструкцій, теплообміну, електромагнетизму і акустики, будівельної механіки, технологічної механіки (в першу чергу, назвемо задачі пластичної обробки металів, задачі зварювання і термообробки, лиття металів, лиття пластмас під тиском), задачі механіки контактної взаємодії і руйнування, задачі механіки композитів і композиційних структур.

В області комп'ютерного інжинірингу та віртуального моделювання проблем механіки деформованого твердого тіла і механіки конструкцій, безумовними лідерами є такі CAE-технології – програмні системи кінцево-елементного аналізу – як ANSYS, SIMULIA / Abaqus (розробника цієї CAE-системи – Abaqus Inc. – в 2005 році купила Dassault Systèmes), MSC Software, Altair Engineering, ESI Group, LMS Int., LS-DYNA і NX CAE (Siemens PLM Software).

### Висновки

Проаналізовано основні тенденції та підходи сучасного комп'ютерного інжинірингу, що використовуються у машинобудівній галузі. Для ефективного комп'ютерного інжинірингу необхідно використання сучасних інформаційно-комунікаційних технологій на основі систем штучного інтелекту, наприклад, технології віртуальної, доповненої або змішаної реальності. Сучасний комп'ютерний інжиніринг, це надгалузеві технології, що застосовуються в багатьох галузях промисловості, що сприяють міжгалузевому трансферу передових «інваріантних» технологій, надгалузевому трансферу мультидисциплінарних комп'ютерних технологій.

Публікація містить результати досліджень, проведених при грантовій підтримці Державного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом Ф76/92-2017.

### Література

1. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков, В.Я. Двандненко. – Х.: ХНАДУ, 2011. – 236 с.
2. Алексієв В.О. Мехатроніка, телематика, синергетика у транспортних додатках / В.О. Алексієв, О.П. Алексієв, О.Я. Ніконов. – Харків: ХНАДУ, 2012. – 212 с.
3. Никонов О.Я. Роботизированные автомобили: современные технологии и перспективы развития / О.Я. Никонов, Т.О. Полосухина // Автомобиль и Электроника. Современные технологии. – Харьков: ХНАДУ, 2013. – № 5. – С. 38-42.
4. Avramov K.V. Vibrations of shallow shells rectangular in the horizontal projection with two freely supported opposite edges / K.V. Avramov, I.D. Breslavsky // Mechanics of Solids, 2013, Vol.48. – P. 186-193.
5. Uspensky B. Nonlinear modes of essential nonlinear piecewise linear systems under the action of periodic excitation / B. Uspensky, K. Avramov // Nonlinear Dynamics (2014) V.76. – P. 1151-1156.
6. Uspensky B. On nonlinear normal modes of piecewise linear systems free vibrations / B. Uspensky, K. Avramov // Journal of Sound and Vibration, Vol.333, 2014. – P. 3252-3256.
7. Avramov K.V. Self-sustained vibrations of one disk rotor in two arbitrary length journals bearing / K.V. Avramov, A. Borisuk // Mechanism and Machine Theory. – 2013. – Vol.70. – P. 474-486.
8. Shuliakov V. Application of Adaptive Neuro-Fuzzy Regulators in the Controlled System by the Vehicle Suspension / V. Shuliakov, O. Nikonov, V. Fastovec // International Journal of Automation, Control and Intelligent Systems. – Vol. 1, № 3, 2015. – P. 66-72.

Рецензент: В.П. Волков, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 20 листопада 2017 р.