

УДК 656:004.75

Наскрізне проектування мехатронних промислових та автомобільних комп'ютерних систем

О.П. Алексієв¹, В.О. Алексієв², О.Б. Маций³, М.Є. Маций⁴

Алексієв Олег Павлович *д.т.н., професор; професор кафедри комп'ютерних технологій і мехатроніки Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого 25, м. Харків, 61002*
e-mail: o.p.alekseev@gmail.com;
<https://orcid.org/0000-0002-9503-825>

Алексієв Володимир Олегович *д.т.н., професор; професор, професор кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, проспект Науки, 9А, м. Харків, 61166*
e-mail: aleksiyev@gmail.com;
<https://orcid.org/0000-0001-6767-7524>

Маций Ольга Борисівна *к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних технологій і мехатроніки Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого 25, м. Харків, 61002*
e-mail: olga.matsiy@gmail.com;
<https://orcid.org/0000-0002-1350-9418>

Маций Михайло Євгенійович *аспірант кафедри комп'ютерних технологій і мехатроніки Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого 25, м. Харків, 61002*
e-mail: michael.matsiy@gmail.com;
<https://orcid.org/0000-0001-7143-4269>

Робота містить результати досліджень щодо наскрізного проектування мехатронних промислових та автомобільних комп'ютерних систем як цільової попередньо упорядкованої множини агрегатів зі зв'язками, що динамічно функціонує в часі і просторі і взаємодії із її середовищем існування як єдине ціле. Метою дослідження є створення програмного та апаратного забезпечення для віртуального управління, його інтелектуалізація на основі використання віртуальної логістики транспортних процесів, інструментів віртуального управління, свого роду віртуальної логістики транспортної системи.

Ключові слова: транспортна інфраструктура, мехатронна система, бортовий обчислювальний комплекс, комп'ютерні системи, автоматизоване проектування, веб-технології, навігація.

End-to-end design of mechatronic industrial and automotive computer systems

Aleksiev Oleh *Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Computer Technologies and Mechatronics Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslava Mudryho str, 25, Kharkiv, 61002*

Aleksiev Volodymyr *Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Cybersecurity and Information Technologies Semyon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine, 9A Nauki Avenue, Kharkiv, 61166, Ukraine*

Matsyi Olha *Ph.D. in Technology, Associate Professor of the Department of Computer Technologies and Mechatronics
Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslava Mudryho str, 25,
Kharkiv, 61002*

Matsyi Michael *Graduate student of the Department of Computer Technologies and Mechatronics
Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslava Mudryho str, 25,
Kharkiv, 61002*

Due to the constant development of society and industry, the modern transport systems and vehicles have reached a high level of information complexity. Accordingly, there is a discrepancy between the rapid development of tools and the methods of informatization of complex objects and systems, the development of transport telematics (internal for cars and other vehicles and external for the transport control systems) and the heterogeneous nature of current subsystems and the components of the Ukrainian transport system. Resolving this problem will allow improving quality of transport services, optimizing transport processes at all levels of transport infrastructure, as well as avoiding negative consequences such as, traffic disruptions, unsatisfactory road conditions, and irrational use of restoration funds. That will help to improve traffic safety, the quality of services to the city residents, and ensure people's comfort and cargo safety. The goal of the study is to create the software and hardware for virtual management of logistic processes. Developing intellectual system is based on the use of virtual logistics of transportation processes and the tools of virtual management. The problem of stating and proving new rules and concepts for providing knowledge and skills for the developers of the transport control applications has been considered. The process of acquiring knowledge and skills for the workers who want to improve their professional level in road transport management has been described. The obtained results can be used for road transport organizations in the interests of both personal and commercial users of Ukrainian transport system.

Keywords: *transport infrastructure, mechatronic system, on-board computing complex, computer systems, computer-aided design, web technologies, navigation.*

Комплексное проектирование мехатронных промышленных и автомобильных компьютерных систем

Алексієв Олег Павлович *д.т.н., професор, професор кафедри комп'ютерних технологій і мехатроніки
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул.
Ярослава Мудрого 25, м. Харків, 61002*

Алексеев Владимир Олегович *д.т.н., профессор, профессор кафедры кибербезопасности и
информационных технологий, Харьковский национальный экономический
университет имени Семена Кузнецца, проспект Науки, 9А., г. Харьков, 61166*

Маций Ольга Борисовна *к.т.н., доцент кафедры компьютерных технологий и мехатроники
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул.
Ярослава Мудрого 25, г. Харьков, 61002*

Маций Михаил Евгеньевич *аспирант кафедры компьютерных технологий и мехатроники
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул.
Ярослава Мудрого 25 г. Харьков, 61002*

Работа содержит результаты исследований сквозного проектирования мехатронных промышленных и автомобильных компьютерных систем как целевой предварительно упорядоченного множества агрегатов со связями динамично функционирует во времени и пространстве и взаимодействия с ее средой обитания как единое целое. Целью исследования является создание программного и аппаратного обеспечения для виртуального управления, его интеллектуализация на основе использования виртуальной логистики транспортных процессов, инструментов виртуального управления, своего рода виртуальной логистики транспортной системы.

Ключевые слова: *транспортная инфраструктура, мехатронная система, бортовой вычислительный комплекс, компьютерные системы, автоматизированное проектирование, веб-технологии, навигация.*

1 Постановка проблемы

Сьогодні завдяки широкому застосуванню результатів досліджень з мехатроніки на автотранспорті можна визначити, як спеціальний напрям розвитку цієї області науки, саме автомобільну мехатроніку (automotive mechatronics). Вона присвячена аналізу проблем сполучення та організації взаємодії автомобільних електромеханічних, електронних вузлів, агрегатів та інформаційних приладів у процесі експлуатації та безпосередньо руху автомобіля для отримання синергетичного ефекту. Слід визначити мехатронний об'єкт, що синтезується завдяки синергетичному об'єднанню вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними і комп'ютерними компонентами, які забезпечують проектування і виробництво якісно нових

модулів, систем, машин з інтелектуальним керуванням їх функціональними станами. Мехатронний об'єкт – це узагальнююче поняття, що містить у собі мехатронні систему, агрегат, модуль або вузол. Мехатронний модуль – це уніфікований мехатронний об'єкт, що має автономну документацію і призначений, як правило, для реалізації рухів по одній координаті. При цьому мають на увазі мехатронний модуль руху. Виділимо мехатронний вузол, який принципово відрізняється від мехатронного модуля тим, що він не є уніфікованим. Інше поняття – мехатронний агрегат, він складається з декілька модулів.

Таким чином, можна виділити мехатронну систему (mechatronic system) – яка складається з декількох агрегатів або агрегату і ряду окремих модулів, тобто з об'єктів однакових або різних нижчих рівнів. Система – сукупність компонентів, деяким чином зв'язаних між собою: підлеглих визначеному відношенню, залежності або закономірності; діючих як одне ціле. Мехатронна система цілком відповідає цьому визначенню як сукупність механічних, електронних і управляючих компонентів, що утворюють синергетичну єдність, що діє як одне ціле. Розглянемо її наскрізне проектування як цільової попередньо упорядкованої множини агрегатів з зв'язками, що динамічно функціонують в часі і просторі і взаємодії із середовищем їх існування як єдине ціле.

2 Аналіз літератури

У дослідженнях [1, 2] пропонується розвинуте трактування поняття мехатроніки – як галузь науки, що присвячена аналізу виконавчих станів мехатронних об'єктів і функціональної взаємодії механічних, енергетичних і інформаційних процесів між ними та з зовнішнім середовищем. Отримання при цьому синергетичного ефекту або синергія цієї галузі науки знайшла ретельне відбиття у статтях [3, 4]. У монографіях [5, 6] висвітлено саме наукове, термінологічне уявлення трактування мехатроніки на промисловому рівні.

У автомобільній мехатроніці до мехатронних технологій, перш за все, слід віднести так звану технологію X-by-Wire. Згідно простого перекладу «управління по проводам» можна затверджувати, що це є звичайна сучасна автомобільна електронна технологія [7-9]. Поєднує механічну і електронну (електричну) технології, процеси взаємодії механічних і електричних пристроїв [10, 11]. модифікації, аналіз або оптимізації проектних рішень [12-15]. Безпосередньо програмний пакет описано у таких статтях та роботах (http://www.ci.ru/inform01_02/p_22-23.htm) [16, 17]. Сучасні системи саме наскрізного проектування дозволяють розробити схему не тільки електронного пристрою, а і виконати моделювання, тестування та валідацію роботи мехатронної системи взагалі [18-20]. У XXI сторіччі керування промисловим та технологічним процесами вийшло на новий рівень за рахунок використання технологій IoT та Industry 4.0. Web-орієнтовані SCADA-системи [21] є актуальною архітектурою для традиційних АСУ та АСУ ТП за рахунок використання поширеного обладнання із промисловим діапазоном параметрів, але при цьому охоплює ринок середнього та малого бізнесу, для яких традиційні АСУ є недоступними за своєю вартістю. Також поширенню подібних систем сприяє розвиток хмарних технологій і можливість відмови від використання власної інфраструктури серверного обладнання. Перед прийняттям рішення про використання подібних систем потрібно мати моделі та інструменти для аналізу можливих ризиків, пов'язаних із забезпеченням питань конфіденційності та безпеки [22].

3 Мета статті

Мехатронна система об'єднує властивості електромеханічних компонентів з новітньою силовою електронікою, керування якими ведеться за допомогою мікроконтролерів, комп'ютерів або інших обчислювальних пристроїв. При цьому система в істинно мехатронному підході, незважаючи на використання стандартних компонентів, базується як можна більш монолітно. Наприклад, застосування убудованих безпосередньо в мікроконтролери аналого-цифрового перетворювача, інтелектуальних силових перетворювачів й дає скорочення ваго-габаритних показників, підвищення надійності системи та інші переваги. Саме це і є метою проведення такого наукового дослідження безперервного процесу створення. Відповідна цільова настанова передбачає прискорення та аналітичні, цифрові підходи до своєрідної цифровізації створення мехатронних систем, перш-за-все у автомобільній галузі, автомобільному трансфері пасажирів та вантажу. Це і є метою наскрізного проектування мехатронних промислових та автомобільних комп'ютерних систем – АКС.

4 Automotive mechatronic system

Для автомобільної галузі можна стверджувати, що автомобільна мехатронна система (automotive mechatronic system) – спеціальна упорядкована множина агрегатів, які умонтовуються в автомобіль як сукупність електромеханічних, електронних та мікропроцесорних приладів та пристроїв, які забезпечують його рух.

Мехатронна система об'єднує властивості електромеханічних компонентів з новітньою силовою електронікою, керування якими ведеться за допомогою мікроконтролерів, комп'ютерів або інших обчислювальних пристроїв. При цьому система в істинно мехатронному підході, незважаючи на використання стандартних компонентів, базується як можна більш монолітно. Наприклад, застосування убудованих безпосередньо в мікроконтролери аналого-цифрового перетворювача, інтелектуальних силових перетворювачів й дає скорочення ваго-габаритних показників, підвищення надійності системи та інші переваги.

У автомобільній мехатроніці до мехатронних технологій перш за все слід віднести так звану технологію X-by-Wire. Згідно простого перекладу «управління по проводам» можна затверджувати, що це є звичайна сучасна автомобільна електронна технологія [7-9].

Технологія X-by-Wire пропонується для розробки електронних систем забезпечення безпеки на автомобілі без використання механічних систем резервування. За літерою – «x» у «x-by-wire» розуміються системи забезпечення безпеки, наприклад, рульове керування (steering), гальмування (braking), автоматична трансмісія (power train control), управління підвіскою (suspension control), або системи подушок-безпеки (multi-airbag systems). На прикладі системи забезпечення керування автомобілем – Steering-by-Wire можна зрозуміти концепцію «управління по проводам» (рис. 1). (<http://www.vmars.tuwien.ac.at/projects/xbywire/projects/tuwien.html>. X-By-Wire. Safety Related Fault Tolerant Systems in Vehicles. Final Report. Project No. BE 95/1329. Authors: X-By-Wire Team., 1998).

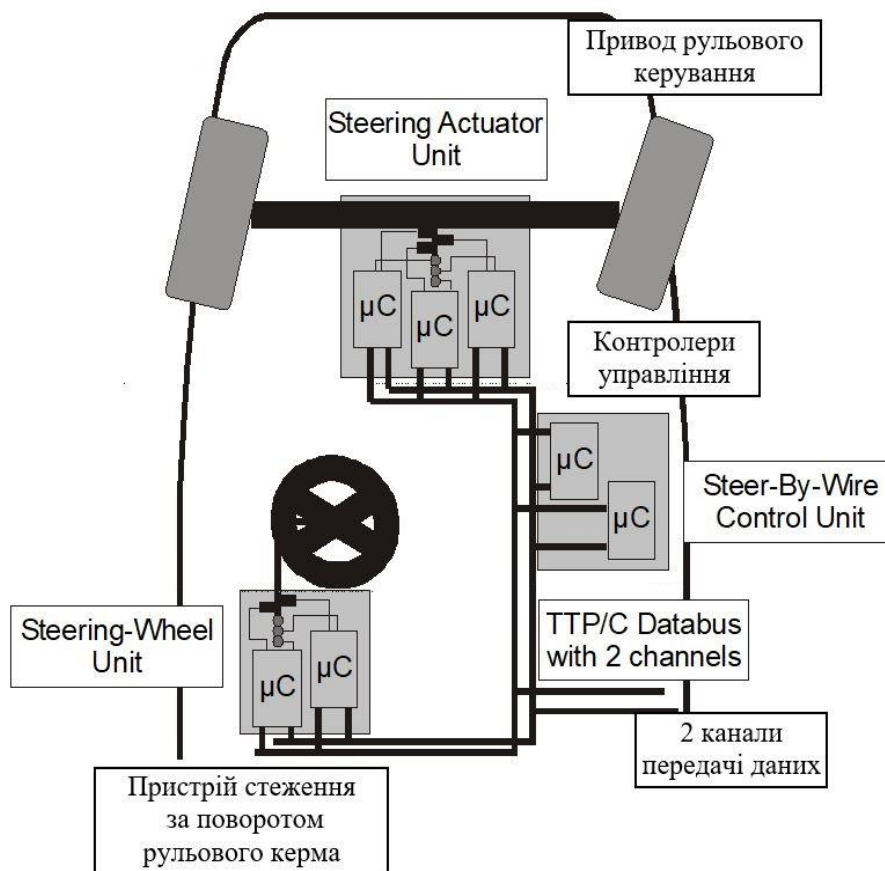


Рис. 1. Рульове керування (Steer)-by-Wire

На рис 1. мікроконтролерні системи позначені символами « μC » – від скорочення мікроконтролер (microcontroller). Всі системи об'єднує послідовна шина передачі даних (вона може резервуватися). Зараз у якості шин передачі даних на автомобілях частіше використовують інтерфейс- CAN (controller area network). Але в продовження технології X-Bu-Wire, де розглядається управління мережі контролерів тільки в обмеженні певної системи, можна запропонувати об'єднання всіх мереж систем X-Bu-Wire на автомобілі до єдиної. Це надасть можливості розглядати автомобіль дійсно, як мережевий транспортний засіб (network vehicle). Але на рівні сучасних технологій можна говорити тільки про передачу телеметричних даних від системи до системи. Це продиктовано складністю організації взаємодії інформаційно-керуючих потоків та необхідністю надання найвищого рівня безпеки для людей, що будуть експлуатувати цей транспортний засіб, та навколишнього середовища.

Таким чином, мехатронні системи, що базуються на реалізації технології X-Bu-Wire, призначені для вирішення задач підтримки безпеки на автомобілі та стають підставою для втілення мережевих транспортних засобів.

4 Мехатроніка промисловості та транспортних застосувань

Теоретичними підставами мехатроніки промисловості та транспортних застосувань служать такі дисципліни як теорія систем, теорія керування, які на інформаційній основі дозволяють узагальнити, виконати моделювання і досліджувати схемотехнічні рішення по створенню конкретного мехатронного комплексу. Мехатроніка на транспорті є продовженням автоматизації керування, удосконалювання підсистем і ланок транспортних засобів, втілення гнучких комп'ютеризованих систем транспортного комплексу. Зараз транспортний засіб і транспортна система ґрунтуються на використанні як механічних, так і електронних та інформаційних технологій. Тому рішення задач аналізу і синтезу транспортного комплексу в цілому, складових його елементів повинні ґрунтуватися саме на транспортній мехатроніці: науці, що розглядає основні принципи раціонального сполучення цих трьох складових практично всіх сучасних транспортних машин та систем.

Транспортний комплекс складається з різних складових. Однак, його основною частиною є транспортний засіб, що забезпечує переміщення людей і вантажів у просторі, а в загальному випадку і часі. Сучасний транспортний засіб є своєрідним транспортним роботом, відмінною особливістю якого є наявність гнучкої комп'ютеризованої системи, що забезпечує навігацію і власне керування процесом руху транспортних засобів.

Тому основна проблема аналізу і синтезу транспортного комплексу в цілому і його підсистем і ланок полягає в раціональному сполученні різних за своєю фізичною природою складових частин: складних динамічних механізмів, електромеханічних, електронних приборів і пристроїв, різних чутливих елементів, датчиків, бортової обчислювальної мережі.

Мехатронні системи знаходять широке застосування на транспорті. Це відноситься, насамперед, до удосконалювання транспортних засобів, розвиткові транспортних комплексів і роботизації промислового виробництва транспортних засобів. Відмінною рисою всякої мехатронної системи є те, що вона спрямована на удосконалювання робочих процесів машин і механізмів, що призначені для реалізації механічних технологій.

Для транспортного засобу – це процес переміщення в просторі. Для автомобіля – рух по автомобільній дорозі з метою перевезення людей і вантажів. Для того щоб забезпечити механічне пересування транспортного засобу, роботу його механізмів і агрегатів не можна обійтися без електротехнологій. Особливо це відноситься до сучасних транспортних засобів, у яких робота різних агрегатів і вузлів пов'язана з використанням електричних, електромеханічних і електронних приладів і пристроїв. Для автотранспортних засобів електротехнологія є основою, як електронних систем автомобільних двигунів, так і інших агрегатів автомобілів, зчеплення, коробки передач, кермових приводів, гальмових пристроїв, підвіски. Поєднує механічну і електронну (електричну) технології, процеси взаємодії механічних і електричних пристроїв [9-11]. Ця взаємодія ґрунтується на реалізації процесів керування, застосуванні обчислювальних пристроїв, мікрокомп'ютерів.

Практично раціональне сполучення механічних і електротехнологій знаходить своє відбиття в інформаційній технології на логічному і фізичному рівні керування агрегатами, підсистемами і ланками транспортних засобів. Так, бортовий обчислювальний комплекс сучасного автомобіля

(АБОК) дозволяє визначити необхідні терміни обслуговування його вузлів і агрегатів, забезпечує діагностику несправностей відповідної транспортної машини. Маршрутний комп'ютер і навігаційна система, що входять до складу сучасного АБОК, дозволяють раціонально керувати рухом автомобіля.

Автомобільний парк нашої країни досить різноманітний і вимагає спеціальних заходів щодо удосконалення його експлуатації. Задача раціональної навігації, створення гнучких комп'ютеризованих комплексів для вирішення задач управління рухом автомобілів різних типорозмірів актуальні для України. Тому сьогодні усі виробники автомобільних електронних приладів і пристроїв розробляють нові автомобільні комп'ютери.

Вони умонтовуються в автомобільні керуючі системи, які можна визначити як гнучкі комп'ютеризовані комплекси. Такі комплекси іноді називають телематичними (telematics) системами (<http://www.computerra.ru/online/firstpage/newsofday/8602/>). Вони доповнюють саме мехатронні системи та забезпечують своєрідний зв'язок між автомобільними механікою, електронікою, інформатикою. Телематичні системи є засіб організації телекомунікаційних зв'язків як усередині так і поза автомобілю. Завдяки телематиці сучасний транспортний засіб стає ланцюгом як транспортної інфраструктури міста або регіону, так і її промислової складової.

Для мехатронного пристрою дуже важливим є використання САПР та систем моделювання. Так, від правильного вибору необхідних засобів проектування буде залежати подальша доля виробу. Так грамотне вибране середовище проектування дозволить виконати розробку мехатронної системи в найкоротші строки. Що надасть економію як ресурсів на розробку виробу так і надасть належної якості за рахунок моделювання роботи пристрою ще до впровадження у виробництво. Тому розглянемо більш детально САПР для автомобільної галузі та безпосередньо для проектування мехатронних систем.

5 Автомобільна телематика CAD/CAM/CAE

Автоматизоване проектування (Computer-Aided Design, CAD) – застосування обчислювальної техніки для проектування певних виробів або для проектування взагалі. Автоматизоване проектування можна визначити як технологію використання обчислювальних систем для надання допомоги проектувальникам у виробництві, модифікації, аналізі або оптимізації проектних рішень [12, 13]. Безпосередньо програмний пакет САПР (http://www.ci.ru/inform01_02/p_22-23.htm) [14, 15].

Сучасні системи автоматизованого проектування в електроніці (EDA – Electronic Design Automation) дозволяють розробити схему електронного пристрою, виконати моделювання його роботи й розробити друковану плату [18]. Системи автоматизованого проектування (САПР) є програмно-апаратними комплексами, призначеними для рішення задач проектування.

Апаратна платформа таких систем будується на базі потужних робочих станцій і, як правило, є розподіленою обчислювальною мережею. До апаратної частини необхідно додати пристрої виводу результатів проектування, наприклад: принтери, плоттери, фотоплоттери або тривимірні принтери (апаратні засоби, що дозволяють шляхом дії лазерного променя на спеціальний фото-чуйний пластик створити тривимірну копію механічного пристрою, що розроблено із-за допомогою САД-систем) і т. п.

Програмна платформа САПР базується на стандартних операційних системах, наприклад: Unix або Windows та безпосередньо на пакеті прикладних програм (тобто самої САД-системи). Таким чином, можна виділити дві складові комплексу: платформа – апаратна реалізація до якої (певною мірою) можна включити й операційну систему, і безпосередньо програмний пакет САПР (http://www.ci.ru/inform01_02/p_22-23.htm) [16, 17].

Інший напрямок – САПР для розробки електронних пристроїв. Сучасні системи автоматизованого проектування в електроніці (EDA – Electronic Design Automation) дозволяють розробити схему електронного пристрою, виконати моделювання його роботи й розробити друковану плату [18].

Але варто виділити, як складову програмної частини САПР – службове програмне забезпечення, наприклад системи управління базами даних (СУБД), системи керування конструкторської документації. У залежності від масштабів проектних робіт, що виконуються для кінцевого розроблювача основним критерієм вибору необхідного інструмента проектування, може стати безпосередньо програмний пакет САПР. При розгортанні САПР в масштабах

підприємства, важливим стає крім апаратної й програмної складових системи, взаємодія відділу виконання проектних робіт із системою керування на рівні підприємства – з одного боку, а з іншого боку – інтегрування проектних робіт з автоматизованим процесом виробництва.

Системи автоматизованого проектування можна розділити на наступні типи по сфері застосування. САПР – машинобудівного профілю. Наприклад, перелічимо деякі системи цього профілю: система конструкторської графіки й автоматизованого проектування AutoCAD фірми Autodesk, Inc. (<http://www.autodesk.com/>).

Розробка російської фірми АСКОН (<http://www.ascon.ru/>) КОМПАС 5 – інтегроване середовище проектування різних виробів, що включає вискоєфективний креслярсько-конструкторський редактор, готові бібліотеки для різних сфер застосування, а також могутні інструментальні параметричні засоби розробки додатків.

Параметризація означає заміну конкретного розміру або координат у геометричній моделі деталі на символічне ім'я або «параметр», що дозволяє породжувати безліч деталей зміною одного розміру-параметра.

SolidWorks є системою що дозволяє створювати керовані розмірами твердотільні моделі і може служити ядром для рішення множини різних інженерних задач. Вона здатна автоматично створювати креслення асоційовані з моделлю так, що зміни зроблені в моделі відбивають і в кресленні, або навпаки за бажанням конструктора. SolidWorks підтримує режим формування складальних одиниць по посиланнях на складову зборку деталі і дозволяє редагувати ці деталі в контексті зборки.

Результатом роботи системи SolidWorks є просторова твердотільна параметрична модель деталі або зборки, що потім передається до систем інженерних розрахунків, проектування технологічного оснащення або системи генерації керуючих програм для верстатів із ЧПУ (числове програмне управління), також саме закінчене робоче креслення деталі або повний опис складальної одиниці. Розроблювачем системи SolidWorks є американська корпорація SolidWorks Corp. (<http://www.solidworks.com>, <http://www.solidworks.ru>), що з 1997 року є частиною французької компанії Dassault Systemes, що розробляє відому CAD/CAM систему CATIA (<http://www.catia.com>). Компанія SolidWorks має свою незалежну технічну політику стосовно Dassault Systemes і EDS.

Фірма Parametric Technology Corporation (США) розробляє систему ProEngineer (<http://www.ptc.com>) – САПР моделювання великомасштабних складальних виробів з параметризацією на всіх рівнях моделювання.

6 Розумний будинок

Наступним напрямком можна вважати САПР для будівництва й архітектури. Деякі системи машинобудівного профілю, наприклад AutoCAD або КОМПАС можуть використовуватися в цій сфері, як засоби виконання креслярських робіт. Однак існує цілий клас САПР для рішення задач будівництва й архітектури, наприклад деякі продукти фірми Autodesk, Inc. (<http://www.autodesk.com/>).

Зазначимо, що зараз є актуальним поняття – «розумний будинок». Це має на увазі інтеграцію до єдиної інфраструктури всіх електричних, електронних та електро – механічних систем будинку в єдину комп'ютерну мережу.

Таким чином дім стає мехатронною системою. Для автотранспортної галузі це стає більш важливішим, якщо розглядати диспетчерські центри та інші споруди, що мають високий рівень інтеграції як електронних так і механічних складових. Але не тільки архітектурні САПР грають останню роль при проектуванні «розумного дому» тут стають потрібні і системи для проектування електронної начинки споруди.

Інший напрямок – САПР для розробки електронних пристроїв. Сучасні системи автоматизованого проектування в електроніці (EDA – Electronic Design Automation) дозволяють розробити схему електронного пристрою, виконати моделювання його роботи й розробити друковану плату [18].

Так само, існує велике число програмного забезпечення, що реалізує ряд додаткових можливостей. Наприклад, програми перенесення даних про розташування компонентів на друкованій платі в САПР механічних пристроїв, для наступної розробки конструктивного

виконання пристрою; системи аналізу цілісності ланцюгів на друкованій платі, системи розрахунку теплових характеристик пристрою і т.п. (<http://www.rodnik.ru>).

Наприклад, одним з найпотужніших та дорогих рішень для проектування друкованих плат є пакет компанії Cadence – PCB Design Studio (www.pcb.cadence.com). У якості редактора друкованої плати в ньому використовується програма Allegro, що дозволяє виконувати розробку багатопарових й високошвидкісних плат з високою щільністю розміщення компонентів. У якості штатного модуля авторозміщення компонентів на платі й автотрасування ланцюгів друкованої плати використовується програма SPECCTRA (www.specctra.com).

Власних засобів аналізу цілісності сигналів в пакеті немає – цю функцію виконує окремий модуль SPECCTRAQuest SI, що постачається окремо. У якості засобів побудови проектів пропонується: OrCAD Capture CIS для порівняно простих задач Concept HDL для складних ієрархічних або багатоваріантних проектів [19]

Інший, менш потужний пакет наскрізного проектування компанії Cadence є OrCAD – система моделювання і наскрізного проектування аналого-цифрових електронних (www.orcad.com). Основним модулем OrCAD є редактор схем електричних принципових. Проектування в системі починається з введення принципової схеми, її моделювання й оптимізації і закінчується розробкою друкованої плати і виводом керуючих файлів для технологічного обладнання.

7 Висновки

Таким чином, системи наскрізного проектування можна розділити на дві великі групи: механічні (CAD) і САПР електронних пристроїв (EDA). Слід зазначити, що для спеціальних галузей застосування розроблено САПР для вирішення архітектурних задач, або спеціалізовані пакети розробки електронних пристроїв і т. п.

Також зазначимо, що розробка тільки друкованої плати в сучасних умовах бурхливого розвитку ринку електронних пристроїв частіше виконується не окремо, а при взаємодії як розробників електронної начинки пристрою, так і дизайнерів та інженерів, що працюють над корпусом електронного пристрою. Так розробив друковану плату, наприклад, у OrCad Layout інженер-електронник імпортує параметри габаритних розмірів плати, та елементів, що встановлені на неї в пакет САПР – машинобудівного профілю, наприклад, ProEngineer або SolidWorks – де інженери та дизайнери будуть проводити розробку тривимірної моделі корпусу пристрою.

Таким чином, при використанні САПР значно скорочується шлях від ідеї та проектування пристрою до створення його моделі, тестового зразка та безпосередньо випуску готової продукції. В цьому циклі САПР займає основну позицію, навколо котрої виконуються інші проектні роботи: виконання інженерних розрахунків, моделювання роботи пристрою, що розробляється та безпосередньо підготовка його до виробництва.

Слід зазначити, що сучасні програмні пакети САПР, у своєму складі містять засоби, що дозволяють виконувати інженерні розрахунки міцності конструкцій, проводити моделювання й оптимізацію роботи систем, що проектуються і т. п. Так само, існує спеціалізовані засоби, призначені для рішення задач автоматизації інженерних розрахунків і аналізу проектних рішень. Такі засоби звичайно називають Computer-Aided Engineering (CAE). Зараз збільшилася тенденція сумісного використання засобів автоматизованого проектування і виконання інженерного аналізу (CAD/CAE), що завершується етапом автоматизованого виробництва [20].

ЛІТЕРАТУРА

1. Алексієв В. О., Волков В. П., В.І. Калмиков В. І. Мехатроніка транспортних засобів та систем: Навчальний посібник. Харків: ХНАДУ, 2004. 176 с.
2. Шалобаєв Е. В. Теоретические и практические проблемы развития мехатроники. Современные технологии. СПб, 2001. С. 46-67.
3. Alekseyev O.P., Matsiy M.E. Monitoring of transport communications. Автомобиль и электроника. Современные технологии. 14/18, 2018. С. 44-48. DOI: 10.30977/VEIT.2018.14.0.44.
4. Алексеев В.О. Информационный анализ и синтез мехатронных систем. Вестник ХГАДТУ. №12-13, 2000. С. 199-201.

5. Исии Т., Симояма И., Иноуэ Х. и др. Мехатроника. Москва: Мир, 1988. 318 с.
6. Сига Х., Мидзутани С. Введение в автомобильную электронику. Москва: Мир, 1997. 232 с.
7. Автомобильный справочник Bosh. Москва: За рулем, 1999. 896 с.
8. Зубинский А. Автомобиль в сети или сеть в автомобиле. Компьютерное обозрение. №37, 1998. С. 29-31.
9. Данов Б. А., Титов Е. И. Электронное оборудование иностранных автомобилей. Системы управления оборудованием салона. Москва: Транспорт, 1998. 59 с.
10. Алексеев В.О. Информационный анализ и синтез мехатронных систем. Вестник ХГАДТУ. №12-13, 2000. С. 199-201.
11. Matsiy M., Voronova Ye. Interactive Monitoring of Vehicle Traffic. Conditions. Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Сборник научных трудов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». № 79, 2018, С. 105-108.
12. Грувер М., Зиммерс Э. САПР и автоматизация производства. М.: Мир, 1987. 528 с.
13. Толковый словарь по вычислительным системам / Под ред. В. Иллинуорта и др.: Пер. с англ. А.К. Белоцкого и др.; Под ред. Е.К. Масловского. М.: Машиностроение, 1991. 560 с.
14. Matsiy O. V., Morozov A. V., Panishev A. V. Recurrent Method to Solve the Assignment Problem. Cybernetics and Systems Analysis. November. 51(6), 2015. P. 939-946.
15. О.Б. Маций. Перестановочно-матричный подход к построению оптимального назначения. Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". № 28 (1353), 2019. С. 69 – 77. DOI: 10.20998/2411-0558.2019.28.04.
16. Маслов Е., Зубинский А. Аппаратно-программная платформа САПР. Компьютерное обозрение. №39, 1998. С. 17-20
17. Зубинский А. Программные комплексы САПР. Компьютерное обозрение. № 39, 1998. С. 21-24.
18. Стешенко В. Б. EDA. Практика автоматизированного проектирования радиоэлектронных устройств. М.: Издатель Молгачева С.В. Издательство «Нолидж», 2002. 768 с.
19. Потапов Ю. Российский рынок САПР печатных плат. Электронные компоненты. №5, 2001. С. 58-60.
20. Alekseyev O., Klets D., Khabarov V. Development of automotive computer systems based on the virtualization of transportation processes management. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 6. N 3 (90), 2017. P. 14-25.
21. Savchenko V. and Mnushka O., High-Sensitive Sensors Based on QCR for Smart Devices. 2020 IEEE XVI-th International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). Lviv. Ukraine, 2020. P. 72-75. DOI: 10.1109/MEMSTECH49584.2020.9109435.
22. Мнушка О. В. Архітектура веб-орієнтованої SCADA-системи. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інформатика та моделювання. Харків: НТУ «ХПІ». № 24 (1300), 2018. С. 117-128. DOI: 10.20998/2411-0558.2018.24.10.

REFERENCES

1. V. O. Alekseyev, V. P. Volkov, V. I. Kalmikov. *Mechatronics of transport systems: Navchalnyy posibnik*. Kharkiv: KhNADU, 2004, 176 p. [in Ukrainian]
2. E. V. Shalobaev. *Theoretical and practical problems of mechatronics development*, Modern technologies, St. Petersburg, 2001, P. 46-67. [in Russian]
3. O. P. Alekseyev, M. E. Matsiy. *Monitoring of transport communications*, Automobile and electronics. Modern technologies. 14/18, 2018, P. 44-48. DOI: 10.30977 / VEIT.2018.14.0.44. [in English]
4. V. O. Alekseev. *Information analysis and synthesis of mechatronic systems*, Bulletin of KhSADTU. No. 12-13, 2000, P. 199-201. [in Russian]
5. T. Ishii, I. Shimoyama, H. Inou, et al. *Mechatronics*, Moscow: Mir, 1988, 318 p. [in Russian]
6. H. Shiga, S. Mizutan. *Introduction to automotive electronics*. Moscow: Mir, 1997, 232 p. [in Russian]
7. Automobile directory Bosh Moscow: Behind the wheel, 1999, 896 p. [in Russian]

8. A. Zubinsky. *Car in a network or a network in a car*. Computer review. No. 37, 1998, P. 29-31. [in Russian]
9. B. A. Danov, E. I. Titov. *Electronic equipment of foreign cars. Cabin equipment control systems*. Moscow: Transport, 1998, 59 p. [in Russian]
10. V. O. Alekseyev. *Information analysis and synthesis of mechatronic systems*. Bulletin of KSADTU. No. 12-13, 2000, P. 199-201. [in Russian]
11. M. Matsiy, Ye. Voronova. *Interactive Monitoring of Vehicle Traffic. Conditions*, Open information and computer integrated technologies. Collection of scientific papers of the National Aerospace University Zhukovsky «KhAI». No. 79, 2018, P. 105-108. [in English]
12. M. Grover, I. E. Zimmers. *CAD and production automation*. M.: Mir, 1987, 528 p. [in Russian]
13. Ed. V. Illingworth and al. *Explanatory Dictionary of Computing Systems*, Moscow: Mashinostroenie, 1991, 560 p. [in English]
14. O. B. Matsiy, A. V. Morozov, A. V. Panishev. *Recurrent Method to Solve the Assignment. Cybernetics and Systems Analysis*. 51(6), 2015, P. 939-946. [in English]
15. O. B. Matsiy. *Permutation-matrix approach to constructing the optimal assignment*. Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series of «Informatics and Modeling». Kharkiv: NTU «KhPI». № 28 (1353), 2019, P. 69-77. DOI: 10.20998/2411-0558.2019.28.04. [in Ukrainian]
16. E. Maslov, A. Zubinsky. *Hardware and software platform CAD*. Computer review. No. 39, 1998, P. 17-20. [in Russian]
17. A. Zubinsky. *Software systems CAD*, Computer review. No. 39, 1998, P. 21-24. [in Russian]
18. V. A. Steshenko. *EDA. The practice of computer-aided design of electronic devices*. M.: Publisher Molgacheva S.V. Publishing House «Knowledge», 2002, P. 768. [in Russian]
19. Y. Potapov. *Russian market of CAD of printed circuit boards*, Electronic components. No. 5, 2001, P. 58-60. [in Russian]
20. O. Alekseyev, D. Klets, V. Khabarov. *Development of automotive computer systems based on the virtualization of transportation processes management*. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 6, N 3 (90), 2017, P. 14-25. [in English]
21. V. Savchenko, O. Mnushka. *High-Sensitive Sensors Based on QCR for Smart Devices*, 2020 IEEE XVIth International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), Lviv. Ukraine, 2020, P. 72-75. DOI: 10.1109/MEMSTECH49584.2020.9109435. [in English]
22. O. Mnushka. *The architecture of a web-based SCADA system*. Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series of «Informatics and Modeling». Kharkiv: NTU «KhPI». № 24 (1300), 2018, P. 117–128. DOI: 10.20998/2411-0558.2018.24.10. [in Ukrainian]