

**Топчій Н.В.**

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз  
Служби безпеки України

**Білевська О.С.**

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз  
Служби безпеки України

## АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СУМІСНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ

*Під час розроблення сучасної техніки та незалежно від галузі її застосування висувається все більше вимог до продукції, що випускається. Сучасні підприємства не зможуть існувати в умовах ринкової економіки, якщо не випускатимуть нові продукти кращої якості, нижчої вартості і за менший час. З огляду на це, використання електроніки в традиційних механічних пристроях швидко зростає. Усі електронні компоненти повинні бути фізично з'єднані між собою і пов'язані із загальною структурою виробу. Датчики встановлюються майже в усі види обладнання для об'єднання пристроїв у єдину систему. Сигнали від цих датчиків передаються дротами на вбудовані блоки, приводи й антени. Окремі дроти об'єднуються в джгути.*

*Як результат того, що електроніка і програмне забезпечення починають керувати механічними вузлами конструкції, збільшується складність електромеханічних систем. Найкращі з наявних процесів проектування за короткий час застарівають і стають неефективними, а конструкторам усе важче встигати за швидкозмінними вимогами ринку. Сьогодні вже не можна просто передати готовий проект на виготовлення досвідченому зразку, щоб перевірити, чи працює виріб так, як планувалося. Інженерам доводиться виходити за межі їх сфери спеціалізації. Так, наприклад, інженери-механіки досить часто мають справу з електроустаткуванням, а інженери-електрики – із механічними приладами.*

*За відсутності злагодженості робочих процесів інженери-електрики розробляють комплект схем електричних, специфікацій і креслень. Потім інженери-механіки повинні вивчити документацію і з'ясувати, які ланцюги вимагають трасування механічними вузлами. Ці роботи виконуються вручну, тому зростає ризик виникнення помилок. Проектування електричної частини рідко вдається завершити з першого разу. Найчастіше це циклічний процес за участі інженерів-електриків та інженерів-механіків, при цьому на кожному циклі фахівцеві доводиться знову вивчати внесені зміни.*

*Як наслідок, помилки проектування передаються на такі етапи, через що доводиться виконувати безліч циклів виготовлення та проведення випробувань дослідних зразків.*

*У сучасних умовах розрізнені відділи підприємства не можуть працювати ефективно. Електричну і механічну частини проекту необхідно об'єднувати.*

**Ключові слова:** продукція, життєвий цикл продукції, виріб, модель виробу, САПР.

**Постановка проблеми.** З огляду на відсутність скоординованого процесу проектування, об'єднання систем виробу виконується на кінцевому етапі виготовлення дослідних зразків, тобто вже під час завершення життєвого циклу розробки продукції. При цьому помилки, допущені на таких пізніх етапах, можуть бути досить дорогими. Якщо їх не вдається виявити до виготовлення і проведення випробувань дослідних зразків, то існує ризик виникнення істотних витрат (як фінансових, так і часових). Крім того, такі помилки здатні сильно затримати вихід нового виробу на ринок.

Таким чином, традиційний поділ процесів стає неефективним на тлі зростаючої складності

виробів, які перебувають на стадії проектування та розроблення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням проблемних питань координації та взаємодії процесів створення продукції займалися такі вітчизняні науковці, як О. Наумчук, О. Матвійків, С. Ткаченко, В. Хаханов та ін.

Серед закордонних досліджень варті уваги праці таких учених, як В. Муленко, Е. Дружинін, Д. Єлісеєв, П. Браун, К. Каспрзак та ін.

Незважаючи на значну кількість наукових публікацій, присвячених проблемам сумісного проектування під час створення продукції, стрімкий розвиток сучасних САПР зумовлює потребу подальших досліджень цієї тематики.

**Постановка завдання.** Метою статті є ідентифікація та аналіз дійсного стану процесів виробництва, систем автоматизованої розробки робочих креслень та геометричного моделювання. Для розуміння виконання процесу необхідно визначити різні завдання та операції, які вирішуються в процесі розроблення та виробництва продукції.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Перш ніж перейти до розгляду проблем сумісного проектування, слід визначити основні поняття у сфері розроблення та проектування, а також різні завдання й операції, які вирішуються у процесі розробки і виробництва продукції.

**Продукція** – матеріальний результат трудової діяльності або виробничих процесів, що має корисні властивості і призначений для використання споживачем [1].

**Життєвий цикл продукції** – сукупність взаємопов'язаних процесів послідовної зміни стану продукції від початку дослідження та обґрунтування розроблення до припинення експлуатації виробу, застосування (зберігання) матеріалу [1].

**Стадія життєвого циклу (продукції)** – частина життєвого циклу продукції, яка характеризується певним станом конкретної продукції, сукупністю видів передбачених робіт та їх кінцевими результатами [1].

**Виріб** – одиниця промислової продукції, кількість якої обчислюють у штуках (екземплярах) [2].

**Модель виробу** – виріб, який відтворює або імітує конкретні властивості цього виробу, виготовлений для перевірки принципу його дії і визначення характеристик [1].

Процес виробництва починається з технічних вимог і завершується постачанням готових виробів.

Якщо раніше нормативною базою для перевірки конструкторської документації слугували стандарти Єдиної системи конструкторської документації (далі – ЄСКД), у яких були чітко визначені всі правила оформлення та структурування креслень (аж до товщини ліній), то нині аналогічних стандартів зі створення і структурування 3Dмоделей не існує. Певною кількістю великих виробників продукції формуються корпоративні правила, які поширюються тільки на створення електронної документації всередині корпорації і не є обов'язковими для виконання іншими користувачами. Водночас такі правила стають актуальними для великих проектів і визначають ідеологічну побудову систем керування життєвим циклом (PLM – Product lifecycle management).

Важливим складником інформаційної структури є інформація про технічні умови, які може

використовувати технолог виробництва для виготовлення моделі виробу. Сама модель без технічних умов виконує тільки допоміжну функцію та становить геометрію деталі, відповідно до якої можна оцінити масу і габарити, а також спроектувати оснащення, підготувати програми керування для верстата з числовим програмним керуванням (далі – ЧПК). Основна проблема виробництва із застосуванням автоматизованих та роботизованих комплексів полягає в тому, що нанесення на модель допусків, посадок, шорсткості та інших необхідних даних здійснюється безпосередньо на кресленик. До технолога надходить кресленик, який виконаний відповідно до моделі виробу, тому фахівець вносить зміни в нього. Як наслідок, кресленик накопичує всі зміни, при цьому вихідна модель, як правило, не піддається змінам та не містить технологічної інформації і (залежно від накопичення змін) утрачає зв'язок із креслеником. Технологів доводиться знову і знову створювати тривимірну модель відповідно до актуальних креслеників, щоб підготувати програму для верстата з ЧПУ. Таким чином, ідеологія PMI (Product Manufacturing Information) принципово змінює підхід до проектування, роблячи прив'язку інформації до моделі та позиціонуючи кресленик як допоміжний об'єкт проектування, який створюється для сторонніх постачальників і фахівців, та не має можливості працювати безпосередньо з моделлю в програмному середовищі розробки.

Під час проектування виробів головна проблема полягає в традиційному поділі проекту на електричну та механічну частини. Забезпечення спільної роботи користувачів електричних та механічних систем автоматизованого проектування (далі – САПР) досить складне завдання. Як правило, інженери-електрики й інженери-механіки користуються різними інструментами.

Основна проблема полягає в тому, що структура одного і того ж виробу для проектування електричної і механічної частин презентується в САПР по-різному. У будь-якій механічній САПР електронний блок – це специфікація у вигляді кріплення, корпусу, друкованої плати і роз'ємів. При цьому в електричній САПР той самий модуль – це функціональна або електрична схема, тобто зображення більш високого рівня, ніж просто фізична структура об'єкта. Для виконання низки функцій електрообладнання можуть задіюватися одразу кілька друкованих плат і роз'ємів, що не дозволяє однозначно пов'язати конкретну функцію з конкретним фізичним елементом виробу. Щоб забезпечити необхідну функціональність електричної

частини, потрібно задіяти значні трудовитрати. У процесі проектування інженери підбирають відповідні роз'єми, клеми, екрани, матеріали проводів тощо. Також під час розроблення електричних систем доводиться вирішувати чимало завдань із конструювання механічних вузлів, тому необхідно ретельно виконати трасування електропроводки виробом, враховуючи при цьому питання електромагнітної сумісності. Процес трасування повинен виключати фізичний перетин електропроводки з деталями, правильно розраховувати довжини проводів (на основі реальних радіусів згину) і враховувати інші чинники, як-от коректний вибір точок кріплення проводки.

Як наслідок, щоб створити електросистему, інженери-електрики і інженери-механіки виконують безліч циклів проектування. Їм необхідно обмінюватися проектними даними та працювати в режимі тісної взаємодії.

Під час проектування електричних систем використовують комбінацію з універсального редактора для побудови схем, електронних таблиць і 2D-САПР, проте при цьому виникає чимало ризиків. Елементи, які розробляються в цих системах, ніяк не пов'язані між собою. Якщо в електричну схему вносяться зміни, кресленник і специфікації не будуть відображати нові проектні рішення. Усі елементи схеми, специфікації кресленник – це тільки лінії і символи. Виконати чисельне моделювання і перевірку функціональності систем за їх допомогою абсолютно не є можливим. Якщо помилково обрано занадто малий номінальний струм запобіжника, про це не буде відомо до проведення випробувань дослідного зразка.

За відсутності автоматизації під час переходу від електротехнічного проектування до трасування електропроводки механічними вузлами інженери-механіки змушені вручну розбиратися з документацією на електричну систему, щоб з'ясувати, де і які джгути дротів потрібно прокласти. Проте з'явилися нові процеси автоматизованого проектування, які успішно впорюються із зазначеними труднощами.

Чисельне моделювання прогнозує характеристики електричної системи, що дозволяє перевіряти й оптимізувати проектне рішення, а перехресна перевірка конструкції в різних додатках посилює інтеграцію.

Проектування сучасних електромеханічних систем – непросте завдання, що становить циклічний процес із широким переліком обмежень. Підприємствам потрібні автоматизовані та інтелектуальні рішення, які забезпечують спільну роботу фахівців.

Якість електричної частини значно впливає на успіх або невдачу нового виробу, а чисельне моделювання і розрахунки є основою ефективного контролю проектних рішень на ранніх етапах. Чисельне моделювання електричних систем на початку розробки здатне виявити проблеми, які вимагають повної переробки всієї базової архітектури електричної частини.

Електрична система тісно пов'язана з механічними вузлами, тому зміни в електричній частині найчастіше вимагають унесення корегувань і в механічну. Подібні зміни (як в електриці, так і в механіці) набагато простіше і дешевше проводити на найбільш ранніх етапах створення виробу.

Упровадження нових інтелектуальних систем проектування надає розробникам повний доступ до всієї інформації про виріб. На основі такої інформації виконується чисельне моделювання – основа процесів проектування інтегрованих електромеханічних систем, за допомогою якого скорочується потреба в дослідних зразках, значно економляться час і гроші.

Комп'ютерні методи моделювання і контролю проектних рішень електричної частини є значним кроком уперед у частині перевірки цілісності конструкції. Можливості такого підходу значно ширші, ніж під час використання традиційних дослідних зразків.

Інженер-електрик розробляє специфікацію на елементи електричної системи, яку потім інтегрує в ефективне середовище тривимірного проектування. Подібна інтеграція дозволяє під час проектування електричної частини враховувати обмеження, які накладаються механічною конструкцією, вказує на наявність місць із підвищеною вологістю, температурою та іншими небезпечними факторами. З іншого боку, під час проектування механічної частини конструктор буде залишати достатньо місця для проводки, а також забезпечувати необхідні радіуси вигинів джгутів. Завдяки наявності міждисциплінарного контексту інженери-електрики й інженери-механіки швидко виявляють невідповідності між електричною та механічною частинами проекту.

Інженер-механік повинен гарантувати, що джгут з усіма необхідними проводами вдасться прокласти в наявному просторі. Проте моделювання цих проводів у механічній САПР – занадто складне і трудомістке завдання. Якщо джгут оснащений хомутами, ізолювальними втулками та усадочними трубками, то для обліку їх впливу також потрібна міждисциплінарна взаємодія фахівців. Такі об'єкти найкраще створювати в

3D-механічних САПР, а потім додавати до них дані щодо електричної частини, які отримані з електричних САПР. Такий зв'язок дозволяє автоматично проектувати джгути-дроти і точно визначати їх параметри. Після звершення спільної розробки кожен інженер отримує чітке уявлення про те, як розроблена ним частина проекту буде функціонувати в складі всього виробу загалом.

Перехресна перевірка і візуалізація забезпечують контроль проходження сигналів безпосередньо на 3D-моделі, що допомагає в підборі оптимальної траси, виключає появу електромагнітних перешкод. Якщо інженер вносить зміни у свою частину конструкції, то їх відразу бачать інші учасники розробки, що мінімізує кількість проектних помилок.

Інтелектуальні графіки, специфікації та кресленики – це різні уособлення одних і тих же елементів, роз'ємів або дротів. Будь-яка зміна в одному з них тягне автоматичне відображення цієї зміни в інших матеріалах. Інженери-електрики виконують чисельне моделювання і розрахунки, перевіряючи належне функціонування розробленої системи. Чисельне моделювання здатне виявити стан електричної системи, яке призведе до перегорання запобіжника, причому задовго до випробувань дослідного зразка.

Проектна інформація передається у вигляді списку завдань для інженера-механіка, що займається трасуванням електропроводки виробом.

**Висновки.** Електрична система тісно пов'язана з механічними вузлами. У перших системах проектування і розрахунків електричної частини довжини дротів указувалися вручну. Залежно від ускладнення електричного обладнання ручні процеси пішли в минуле, виникла тісна інтеграція етапів розробки електричної і механічної частин із єдиними міждисциплінарними моделями. Зараз для цього застосовується двосторонній інтер-

фейс – електрично-механічна САПР. Електрична САПР повідомляє про всі необхідні атрибути, включаючи точки, які з'єднуються кожним провідником. Потім механічна САПР виконує трасування дротів, кабелю або джгута в 3D і відправляє фактичні довжини назад в електричну САПР. Такий міждисциплінарний процес скорочує терміни проектування.

Сучасні системи автоматизованого проектування й інтелектуальні інструменти допомагають інженерам синхронізувати дані і спільно працювати над найважливішими міждисциплінарними питаннями проекту. Завдяки цьому вдається найкраще реалізовувати задум конструктора і з першого разу досягати успіху. Система електромеханічного проектування, Solid Edge Wiring and Harness Design забезпечує міждисциплінарну спільну роботу, позбавляючи інженерів необхідності постійно проводити наради, обговорюючи помилки, які виникли під час ручного вводу змін.

Модулі Solid Edge для проектування електричних систем орієнтовані на підприємства середнього розміру, для яких особливо важливі такі параметри, як легкість упровадження та низька загальна вартість. Широкі можливості цієї системи виходять далеко за межі традиційних функцій зі створення електромеханічних вузлів. Модулі виконують чисельне моделювання струмів і напруг, виявляють такі помилки, як короткі замикання, розраховують номінали запобіжників. У разі спільного використання САПР Solid Edge 3D-модуль Solid Edge Wiring and Harness Design забезпечує ефективну спільну роботу інженерів-електриків і інженерів-механіків.

Інтелектуальна методика проектування дозволяє оцінювати наслідки змін для електричної і механічної частин у єдиному середовищі. Завдяки цьому в інженерів залишається більше часу на їх основне завдання – створювати інноваційні технології.

#### Список літератури:

1. ДСТУ 3278—95 Система розроблення та поставлення продукції на виробництво Основні терміни та визначення.
2. ДСТУ 2391:2010 Система технологічної документації. Терміни та визначення основних понять.
3. Наумчук О.М. Основи систем автоматизованого проектування: Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. Рівне : НУВГП, 2008. 136 с.
4. Improving Electromechanical Design Collaboration. URL: <http://solidedge.siemens.com>
5. Муленко В.В., Компьютерные технологии и автоматизированные системы в машиностроении, Москва 2015, 73 с.
6. Solid edge с синхронной технологией – революция в области САПР, 2008, Siemens Product Lifecycle Management Software, Inc URL: <http://sapr.ru>
7. Проектирование электрических схем/ URL: <http://solidedge.siemens.com>
8. Дружинин Е.А., Елисеев Д.Н., Развитие систем автоматизированного проектирования. Научно-технический журнал «Двигатель», 2006, № 3 (45), С. 56–59.

9. Браун П., Каспрзак К., Синхронная технология – революция в проектировании, САПР и графика, 2012, № 3, С. 57–59.
10. Матвійків О., Ткаченко С., Хаханов В., Інженерне проектування складних об'єктів і систем / НУ «Львівська політехніка», 2016, 261 с.

#### **Topchii N.V., Bilevska O.S. ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF JOINT DESIGN IN THE MANUFACTURE OF PRODUCTS**

*In the development of modern technology, regardless of the industry of its application, more and more requirements are put forward for the products. Modern enterprises will not be able to exist in a market economy if they do not produce new products of better quality, lower cost and in a shorter period of time. As a result, the use of electronics in traditional mechanical devices is increasing rapidly. All electronic components must be physically interconnected and linked to the overall structure of the product. Sensors are installed in almost all types of equipment to combine devices into a single system. Signals from these sensors are transmitted via wires to built-in units, nodes and antennas. Individual wires are bundled together.*

*As a result of the fact that electronics and software begin to control the mechanical components of a structure, the complexity of electromechanical systems increases. The best design processes available quickly become obsolete and ineffective, and designers are finding it increasingly difficult to keep up with rapidly evolving market demands. Today it is no longer possible to simply transfer a finished project to the manufacture of a prototype in order to check whether the product works as planned. Engineers have to go beyond their area of expertise. For example, mechanical engineers often deal with electrical equipment, while electrical engineers often deal with mechanical equipment.*

*In the absence of coordination of work processes, electrical engineers develop a set of electrical circuits, specifications and drawings. Mechanical engineers then need to review the documentation and figure out which circuits require mechanical routing. These works are performed manually, therefore, the risk of errors increases. Electrical design is rarely complete the first time. Most often, this is a cyclical process with the participation of electrical engineers and mechanical engineers, while at each cycle the specialist has to re-examine the changes made.*

*As a result, design errors are transferred to the next stages, in connection with which it is necessary to carry out many cycles of manufacturing and testing prototypes.*

*In modern conditions, different departments of the enterprise cannot work efficiently. The electrical and mechanical parts of the project must be combined.*

**Key words:** products, product life cycle, product, product model, CAD.