

УДК 621.01

А.О.Титарчук, к.т.н.

**МЕТОДОЛОГІЯ КОНСТРУЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МАШИНИ-АВТОМАТА**

Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, tsikanovska@mail.ru

*У статті запропоновано підхід до побудови методології конструювання на основі систематизації досвіду машинобудування зі створення об'єктів нової техніки.*

**Ключові слова:** методологія конструювання, вихідні вимоги, концептуальна модель, технічне завдання, технічна пропозиція, ескізний проект, технічний проект, інженерний аналіз.

**Вступ**

Розробка і впровадження систем автоматизації виробничого призначення на базі прогресивних інформаційних технологій сьогодні – один з пріоритетних напрямків розвитку машинобудування. Однією з задач автоматизації процесів конструювання є розробка методології конструювання.

**Аналіз досліджень і публікацій**

Питанням методів конструювання приділено багато уваги в працях таких фахівців, як Б. Бежанов, В. Борисов, В. Биков, Д. Діксон, Я. Дітріх, П.І. Орлов, Е.З. Розенталь [2-8] та ін. Водночас питання створення методології конструювання технологічної машини-автомата висвітлено недостатньо повно.

**Постановка завдання**

На основі систематизації досвіду машинобудування зі створення об'єктів нової техніки [1-12] розробити методи конструювання за етапами створення виробу, що дозволить сформувати методологію конструювання технологічної машини-автомата.

**Виклад основного матеріалу**

Послідовність етапів конструювання визначена нормативними документами Держстандарту України – ДСТУ, ГОСТами, в яких узагальнено вітчизняний та світовий досвід конструювання і які, по суті, є узагальненою методикою або технологією конструювання – упорядкованою послідовністю етапів, процесів створення виробу, при виконанні яких об'єкт конструювання послідовно висвітлюється, формалізується від початкового уявного до повного геометричного зображення конструкції:

**I. Системний аналіз потреби, завдання.** Формування вихідних вимог.

**II. Створення концептуальної моделі.** Створення функціональної схеми ТМ-А.

**III. Формування технічного завдання.** Встановлення основного призначення, технічних характеристик, показників якості (ГОСТ 15.011-87, ГОТСТ 15.014-87)

**IV. Створення технічної пропозиції.** Обґрунтування доцільності розробки. Вирішення завдання створення патентночистого рішення (ГОСТ 2.118-83)

**V. Розробка ескізного проекту.** Визначення принципових конструктивних рішень, конструкції машини, основних параметрів, габаритів (ГОСТ 2.119-83)

**VI. Розробка технічного проекту.** Визначення остаточних технічних рішень, які дають повне уявлення про конструкцію нової ТМ-А (ГОСТ 2.120-83)

**VII. Робочий проект.** Повне геометричне зображення конструкцій деталей, вузлів та ТМ-А.

**Методичний підхід до розробки вихідних вимог.** При конструюванні в рамках системи машин (СМ) необхідність конструювання нових конструкцій технологічного обладнання впливає з інженерного аналізу науково-технічного рівня СМ, рівня систематизації її технічних засобів, рішення завдань по досягненню оптимального складу технічних засобів СМ, ліквідації білих плям (немеханізованих діляниць технологічного процесу обробки сировини); уніфікації і т.д.

Початкове формулювання завдання створення технологічної машини-автомата (ТМ-А) дає лише загальний напрямок, який характеризується невизначеністю, – однозначні результати, шляхи і засоби досягнення поки не розглядаються. Конкретизація формулювань, розроблення вихідних вимог забезпечує процес виникнення конкретних шляхів і засобів вирішення проблеми.

При формуванні вихідних вимог доцільно провести дослідження суспільної потреби у виробі за алгоритмом:

*Системний аналіз потреби, завдання:* визначити, в яку систему входить виріб; визначити надсистему, підсистему та навколишнє середовище; проаналізувати, чи не можна ліквідувати потребу шляхом ліквідації причин її виникнення; порівняти потребу з тенденціями в світовій практиці; визначити головну суцільну потребу у виробі; визначити, які інші потреби при цьому задовольняються; визначити, чи буде потреба у виробі після реалізації проекту; визначити знайомі і незнайомі (нові) елементи у виробі; визначити проблеми (завдання), що виникають при освоєнні виробництва виробу; з'ясувати розвиток проблем у минулому і майбутньому; виконати аналіз логічної структури проблем; ознайомитись з методами рішення аналогічних проблем у даній галузі (системі, суміжних галузях та в світовій практиці); оцінити принципову можливість рішення проблем на основі сучасного розвитку науки, техніки, виробництва; з'ясувати, яку більш загальну проблему (обхідну) необхідно вирішити, щоб отримати бажаний результат; порівняти задане завдання з обхідним, визначити пріоритети в рішеннях; на основі проведених досліджень дати нове формулювання проблеми, визначити головні, другорядні завдання; визначити вимоги до нового виробу, встановити найбільш раціональні та оптимальні його властивості (матеріал, форми, розміри і т. ін.); визначити вимоги до продукції надсистеми; провести патентні дослідження.

*На основі проведеного аналізу визначають:* необхідні властивості виробу; значення основних показників якості; умови ефективного використання виробу; потребу в даному виробі і формують вихідні вимоги. Як правило, вихідні вимоги розробляються замовником і являють собою пропозицію (замовлення) на створення виробу. На цьому етапі, а також при розробці технічного завдання обов'язково в думках, ескізах створюється концептуальна модель ТМ-А.

Після з'ясування на першому етапі перетворень предмета праці, вирішують, за допомогою якого технологічного процесу чи з використанням яких фізичних законів можна виконати ці перетворення. Вибір оптимального технологічного процесу є найбільш важливим кроком, він повинен мати такі властивості: бути безвідхідним, замкнутим (без взаємодії з навколишнім середовищем), з найменшими витратами енергії, тощо, залежно від конкретного предмета праці та умов перетворень. Далі проводять системний аналіз вихідних вимог до створення ТМ-А, інженерний аналіз проблеми, на основі яких створюють концептуальну модель ТМ-А [9].

*Системний аналіз вихідних вимог до створення ТМ-А, інженерний аналіз проблеми:*

1. Визначити та провести дослідження галузі, для технологічного комплексу якої призначений ТМ-А, що створюється: визначити цілі галузі, її ієрархічну структуру та тенденції розвитку; визначити технічні засоби, її складові (куповані вироби, уніфіковані елементи) та системи керування; визначити умови експлуатації обладнання; сформулювати вимоги до технологічного обладнання галузі.

2. Провести дослідження галузі машинобудування, в якій планується виготовлення ТМ-А, що створюється: визначити цілі галузі, тенденції її розвитку; визначити науково-технічний та технологічний рівень галузі; сформулювати вимоги до обладнання, що виготовляється галуззю – технологічності, повузлового складання машини; що пов'язані з уніфікацією, нормалізацією, стандартизацією; використанням існуючих конструктивних рішень.

3. Провести дослідження вітчизняних та зарубіжних аналогів: виявити фірми, галузі, держави, що спеціалізуються на виготовленні аналогічного обладнання; виявити фірми, які лідирують на світовому ринку по продажу аналогічного обладнання; охарактеризувати науково-технічний рівень цього обладнання; проаналізувати конструкції аналогів, виявити нові технічні рішення (ТР); визначити, які саме досягнення науки, техніки, технології визначають світовий науково-технічний рівень.

4. Провести патентні дослідження з метою виявлення ТР, які захищені патентами: визначити напрямки по створенню патентно чистої продукції, цілі і завдання патентування.

5. Провести інженерний аналіз: визначитися з напрямками конструювання, шляхами забезпечення новими матеріалами, комплектуючими, обладнанням, технологічними процесами; визначити необхідність застосування нових матеріалів, комплектуючих, обладнання, технологічних процесів. провести техніко-економічні дослідження на доцільність придбання ліцензії по виробництву даної технічної системи (ТС), нових матеріалів і комплектуючих та окремих патентів.

**Методичні положення щодо формування технічного завдання (ТЗ).** Можлива логічна схема опрацювання технічного завдання зображена на рис. 1. При вивченні вихідних вимог до ТЗ необхідно виявити всі дані, які можуть бути використані до створення ТМ-А.

Процес створення ТМ-А починається з одержання технічного замовлення, в якому наведені

основні параметри майбутнього виробу. Перш за все, конструктору необхідно переконатись у необхідності створення нового виробу – провести системний аналіз потреби, сформулювати завдання.

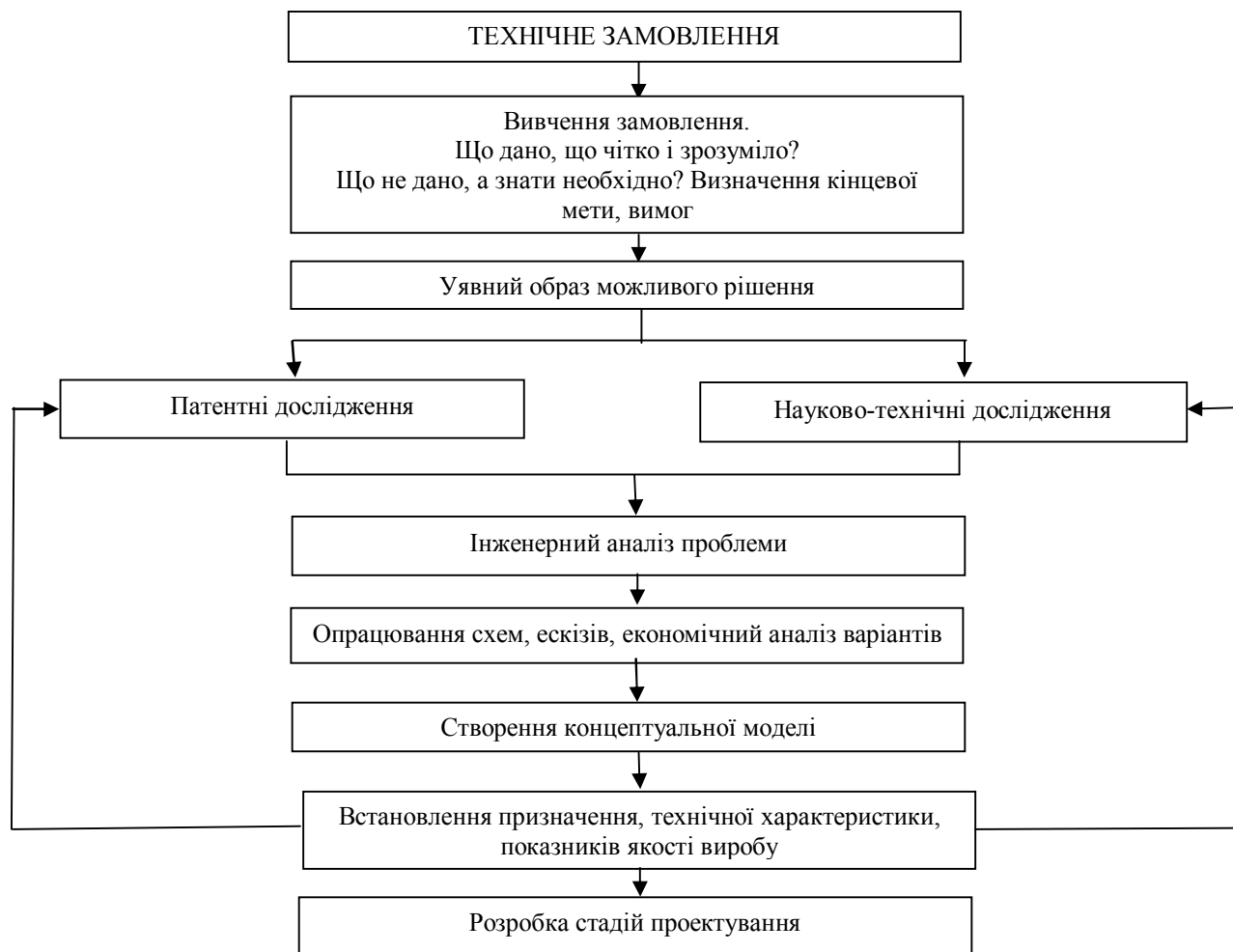


Рис. 1. Можлива логічна схема опрацювання технічного завдання

Після ознайомлення з завданням у конструктора виникає перший уявний образ можливого рішення конструкції, прагнення одразу зайнятись пошуками готового рішення. При такому підході готове рішення може бути придатним, але не найкращим. Тому необхідно спочатку продумати завдання, провести ретельні дослідження варіантів відповідно до сучасних наукових досягнень. Конструктор робить заявки в патентний відділ та відділ науково-технічної документації. Слід з'ясувати, що дано в завданні, що чітко і зрозуміло, чого нема в завданні, а знати необхідно; визначити цілі, загальну характеристику виробу, скласти перелік даних і параметрів, які забезпечують досягнення поставлених цілей.

Необхідно також визначити вимоги, які повинні бути виконані обов'язково: жорсткі вимоги, рішення по яких повинні відповідати їм без будь-яких відхилень; мінімальні вимоги, виконання яких не обов'язкове, але може зробити рішення більш вагомим; побажання – їх виконання може призвести до збільшення витрат; цілі, досягнення яких не є обов'язковим в деякому завданні.

На стадії технічного завдання визначають показники надійності для машини в цілому і для складальних одиниць.

Технічним завданням встановлено основне призначення, технічні характеристики, показники якості і техніко-економічні вимоги до ТМ-А що розробляється.

**Методичний підхід до створення технічної пропозиції.** Можливу схему опрацювання технічної пропозиції наведено на рис. 2. Технічна пропозиція повинна обґрунтувати технічну і техніко-економічну доцільність розробки нової ТМ-А на основі аналізу технічного завдання замовника і різних альтернативних варіантів конструкцій машин, вибору найбільш раціонального з них, а також з врахуванням вимог патентного законодавства.

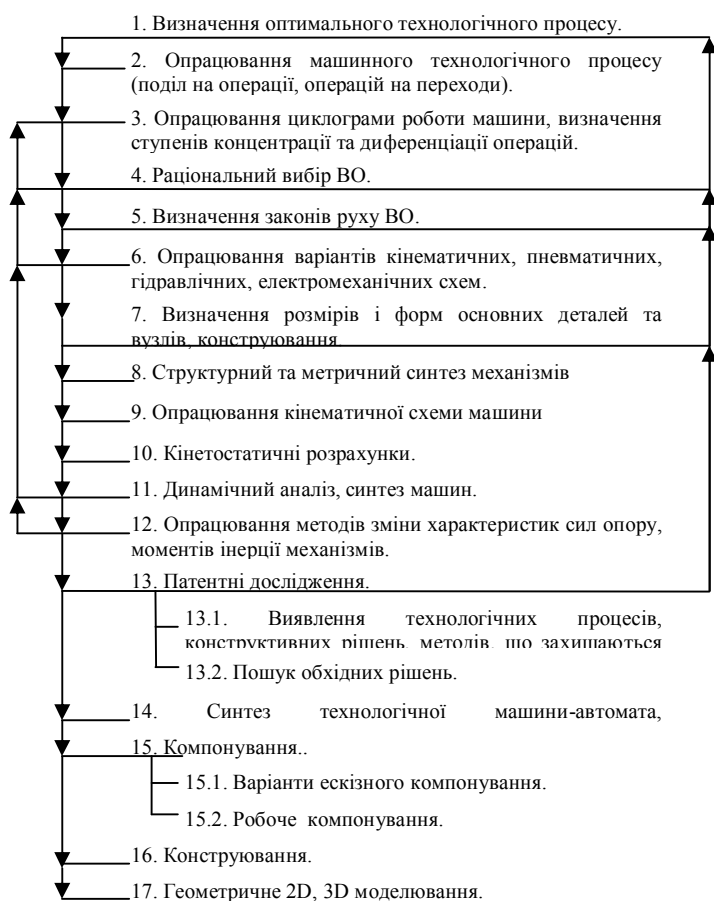


Рис. 2. Можлива схема опрацювання технічної пропозиції

визначають транспортні засоби, які можуть бути застосовані.

За вибраним варіантом машинного технологічного процесу, функціональною схемою, розробляють циклограму роботи машини, визначають ступені концентрації та диференціації операцій. Раціональний вибір виконавчих органів та циклограма роботи машини, головним чином, визначають динаміку роботи машини – коефіцієнти нерівномірності ходу та динамічності. Необхідно так сконструювати машину, щоб зведені моменти сил опору та інерції були постійними або наближались до цього, що забезпечує якість та довговічність обладнання.

Далі проводять розрахунки кінематичних показників, розробляють варіанти кінематичних, пневматичних, гідравлічних, електромеханічних схем; розраховують та визначають розміри і форми основних деталей та вузлів; виконують синтез та конструювання.

Розрахунки кінематичних показників виконують на основі проектування кінематичних схем механізмів, що забезпечують задані закони руху ВО машини за вибраними структурними схемами.

За своєю суттю, ці завдання є синтезом механізмів. При створенні механізму вирішуються два основні завдання: перше, завдання структурного синтезу, – визначає правильну побудову механізму (кількість кінематичних пар, класів цих пар та їх геометричних характеристик); друге завдання полягає у визначенні таких форм і розмірів ланок, щоб забезпечити задані закони руху ВО. Це завдання є завданням метричного синтезу механізму.

Методи рішення завдань синтезу поділяють на точні і наближені. При рішенні застосовують геометричні, алгебраїчні та комбіновані методи, в яких методи кінематичної геометрії поєднуються з використанням різних методів алгебраїчного аналізу і теорії функцій. Вагомими засобами в рішенні практичних завдань проектування механізмів є методи прикладної математики (таблиці, номограми, графіки), довідники по механізмах, експериментальні моделі механізмів. Основні методи синтезу механізмів, що використовуються конструкторами в своїй роботі, наведені в монографії «Синтез плоских механізмів» авторів І. І. Артоболовського, М. І. Левітського, С. А. Чекудінова [1].

При наявності розмірів ланок механізмів ВО і циклограми роботи, яка забезпечує необхідну

Практично вирішується завдання створення патентно чистого рішення.

Вихідні дані для синтезу конструктивної схеми машини повинні бути такими: вид продукції; матеріал; технологічний процес перетворень; продуктивність ТМ-А.

Створення технічної пропозиції починається з визначення оптимального технологічного процесу. При виборі оптимального технологічного процесу необхідно ретельно вивчити властивості матеріалу предмета праці та властивості виконавчих органів, що будуть застосовуватись. При цьому слід враховувати вплив додаткових: теплових, звукових, електромагнітних та інших явищ, які можуть виникнути в ході виконання процесу.

Далі розробляють машинний технологічний процес – поділ технологічного процесу на окремі операції і операцій – на переходи, розглядають можливість концентрації операцій обробки та

послідовність в роботі окремих механізмів, будують кінематичну схему машини.

Кінематична схема є *структурою функціональних властивостей машини* – визначає взаємодію всіх елементів системи, що забезпечують її функціонування та їхні кінематичні характеристики. Структурна і кінематична схеми машини значною мірою визначають конструкцію деталей, вузлів, експлуатаційних характеристик, є найбільш важливим етапом при конструюванні машини.

На основі кінетостатичного розрахунку визначають реакції в кінематичних парах, урівноважувальний момент (силу) на ведучій ланці, сили, що діють на окремі ланки механізмів. Визначення цих зусиль необхідне для проведення розрахунків ланок на міцність і визначення їх раціональних конструктивних форм.

Далі проводять динамічний аналіз, синтез машини. Для цього визначають коефіцієнт нерівномірності ходу машини. При необхідності переглядають доцільність використання тих чи інших типів механізмів, циклограму роботи машини, застосовують методи зміни характеристик сил опору, моментів інерції ланок механізмів, методи статичного урівноваження механізмів, моментного урівноваження, статичне та динамічне балансування роторів.

Створення патентночистого рішення можливе на основі виконання патентних досліджень. Проведення патентних досліджень регламентується різними нормативними документами (ГОСТ 2.102–68 «Виды и комплектность конструкторской документации», ГОСТ 2.110–68 «Патентный формуляр», ГОСТ 2.116–71 «Карта технического уровня и качества продукции» та ін.). При проведенні патентних досліджень використовують патентну документацію, патентну інформацію, каталоги, рекламу і т.д.

Вивчення і узагальнення отриманих в результаті пошуків матеріалів проводять з метою виявлення нових технологічних процесів, конструкторських рішень, методів, що захищаються патентами, виявляють унікальні властивості об'єктів. Проводять пошук «обхідних» (відмінних від відомих) рішень, виявляють нові сфери застосування відомих способів і пристроїв, нові можливі способи їх реалізації. Порівнюють різні можливі варіанти технічних рішень, які повинні бути враховані, використані або замінені іншими, новоствореними.

Після визначення схем та основних розмірів елементів конструкції виконують синтез ТМ-А.

*Синтез ТМ-А визначається вибором:* а) типу технологічної машини, що входить до поточно-механізованої, автоматизованої лінії; б) циклограми; в) силової схеми машини; г) конструкцій транспортно-постачальних та транспортно-передавальних пристроїв; д) типу приводів транспортного чи робочого рухів (загального чи індивідуального, електромеханічного чи пневматичного); е) компоновання; ж) конструкції станини.

Основним завданням синтезу схем машин є відтворення необхідних законів руху ВО.

Синтез ТМ-А повинен забезпечити параметри руху ВО робочого і транспортного рухів; кількість робочих органів, розмірні параметри складових елементів машини (діаметр ротора, кут повороту, довжину стрічки конвеєра).

Якісне виконання технологічного процесу; компактність конструкції, високий коефіцієнт використання робочого простору; зручність обслуговування; можливість установки машини в лінію; нормалізацію, уніфікацію і стандартизацію основних вузлів, пристроїв.

Схему машини вибирають шляхом зіставлення декількох варіантів після ретельного їх порівняння за досконалістю кінематичної та силової схем, за вартістю виготовлення, надійністю, технологічністю, габаритними розмірами, металостійкістю і масою, зручністю обслуговування, налагодженням, регулюванням та іншими властивостями.

При порівнянні параметрів машини керуються головними факторами, що визначають економічну ефективність машини.

Процес створення (конструювання) полягає у використанні сполучень прийомів компоновання з наділенням властивостями складових частин та машин в цілому шляхом використання елементарних конструктивних властивостей.

*Компоновання* — це процес створення, складання з окремих деталей вузлів машин, з вузлів машин – машин в цілому. Компоновання звичайно складається з двох етапів: ескізного і робочого [7]. При ескізному компонованні розробляють декілька варіантів основної схеми і загальної конструкції ТМ-А. На підставі аналізу варіантів ескізного компоновання і вибору оптимального складають робоче компоновання, що уточнює конструкцію виробу і служить вихідним матеріалом для подальшого конструювання.

На основі компоновання створюють ескізний, технічний і робочий проекти.

### Методичний підхід до розробки ескізного, технічного та робочого проєктів

При розробці *ескізного проєкту* з конструкції виділяють головне, що визначає новизну, науково-технічний рівень нової конструкції, проводять конструктивне опрацювання варіантів можливих рішень, при необхідності виготовляють макети, перевіряють принципи роботи. Опрацьовують рішення, що забезпечують якість та необхідні властивості виробу. Практично, опрацювання виконують за схемою алгоритму – рис 2.

*Ескізний проєкт* встановлює принципові конструктивні рішення, які визначають конструкцію і принцип роботи машини, основні параметри і габаритні розміри.

Складну задачу конструювання декомпонують на конструювання її складових – виконавчих органів, передаточних та допоміжних пристроїв, систем управління та ін. з подальшим синтезом виробу в цілому, компонованням.

*Технічний проєкт* служить основою для опрацювання робочого проєкту, що завершує розробку, тому на цьому етапі визначають остаточні технічні рішення, які дають повне уявлення про конструкцію нової ТМ-А.

Доопрацьовують конструктивні рішення виробу та його основних частин, перевіряють та виконують необхідні розрахунки; показники надійності на стадії технічного проєкту уточнюють для складальних одиниць і розраховують для кожної з деталей; перевіряють відповідність нової конструкції всім нормативно-технічним вимогам.

На стадії *робочого проєкту* встановлюють вимоги до показників надійності деталей машин для забезпечення заданих ймовірностей неруйнування цих деталей у конкретних умовах експлуатації за встановленими режимами навантаження. У разі необхідності виконують коректування значень нормованих показників надійності.

На цих етапах відбуваються процеси створення конструкцій вузлів та деталей.

### Висновки

Систематизація методик конструювання за етапами створення виробу дозволяє створити методологію конструювання технологічної машини – автомата, виявити проблеми, задачі в процесах конструювання, алгоритми вирішення та розробити їх інформаційне забезпечення, що є складовою комп'ютерного конструювання.

### Список літературних джерел

1. Артоболевский И.И. Синтез плоских механизмов / И.И. Артоболевский, Н.И. Левитский, С.А. Чекудинов – М.: Физматгиз, 1959. – 1083 с.
2. Бежанов Б.Н. Производственные машины-автоматы / Б.Н. Баженов, В.Т. Бушунов. – Л.: Машиностроение, 1973. – 360 с.
3. Борисов В.И. Общая методология конструирования машин / В.И. Борисов. – М.: Машиностроение, 1978. – 360 с.
4. Быков В.П. Методика проектирования объектов новой техники / В.П. Быков. – М.: Высшая школа, 1990 – 168 с.
5. Диксон Д. Проектирование систем: изобретательство, анализ, принятие решений / Д. Диксон, пер. с англ. – М.: Мир, 1969. – 440 с.
6. Дитрих Я. Проектирование и конструирование. Системный подход / Я. Дитрих, пер с польского. – М., 1981 – 456 с.
7. Орлов П.И. Основы конструирования: справочно-методическое пособие: в 2 кн. Кн. 1 / под ред. П.Н. Учаева. – М.: Машиностроение, 1988. – 560 с.
8. Розенталь Э.З. Основы методики конструирования / Э.З. Розенталь. – Рига: Рижск. политехн. ин-т, 1976. – 50 с.
9. Титарчук А.О. Основы методики створення концептуальної моделі технологічної машини (автомата) / А.О. Титарчук // Вісник ЧПІ. – 1998. – № 3. – С. 162-165.
10. Титарчук А.О. Інформаційне забезпечення рішення задач автоматизованого конструювання технологічного обладнання / А.О. Титарчук // Тези доповідей VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці» (ІТОНТ–2010). Т. 1. – Черкаси, 2010. – С. 88.
11. Ханзен Ф. Основы общей методики конструирования. Систематизация конструирования / Ф. Ханзен, пер. с нем. – Л.: Машиностроение, 1969.
12. Хилл П. Наука и искусство проектирования / П. Хилл, пер. с англ. – М.: Мир, 1973.