

ОПОРНИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни «СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ»

Освітній рівень: фаховий молодший бакалавр

Спеціальність: G11 «Машинобудування»

Професійне спрямування: технологічна підготовка виробництва, системи автоматизованого проєктування (САПР) технологічних процесів, CAD/CAM та верстати з ЧПК.

Структура курсу лекцій формує послідовну логіку вивчення дисципліни: **поняття САПР → склад системи → вихідні дані → методи проєктування → документація → керуюча програма.**

УЗАГАЛЬНЮВАЛЬНА СХЕМА КУРСУ

Лекція	Ключове питання	Основний результат навчання
1	Що таке САПР і САПР ТП?	Розуміння призначення та місця САПР
2	Із чого складається САПР?	Розрізнення видів забезпечення та методів побудови
3	Які дані потрібні системі?	Уміння визначати вихідну інформацію та ознаки деталі
4	Як формується технологічний процес?	Розуміння методів адресації та синтезу
5	Як оформлюється результат?	Розрізнення маршрутної й операційної документації
6	Як перейти від технології до ЧПК?	Розуміння взаємодії САПР ТП, САМ і верстата з ЧПК

Тема. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ САПР

Понятійний апарат: проєктування, автоматизоване проєктування, автоматична система проєктування, система автоматизованого проєктування (САПР), **САПР** технологічних процесів (САПР ТП), технологічний процес, технологічна підготовка виробництва (ТПВ), **CAD** (COMPUTER-AIDED DESIGN), **CAM** (COMPUTER-AIDED MANUFACTURING), **CAE** (COMPUTER-AIDED ENGINEERING), **CAPP** (COMPUTER-AIDED PROCESS PLANNING), **PDM** (PRODUCT DATA MANAGEMENT), **PLM** (PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT).

ЛІТЕРАТУРА

1. Барандич К. С., Вислоух С. П., Філіппова М. В. САПР ТП: конспект лекцій. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. [Електронна версія](#).
Посібник містить основні поняття САПР ТП, склад і структуру систем, зв'язок із CAD, CAM, CAE, PDM і PLM, а також методи автоматизованого проєктування технологічних процесів. [\[ela.kpi\]](#)
2. Блиндюк В. С., Мартинов І. Е., Меркулов В. С. та ін. Автоматизація проєктно-конструкторської діяльності у вагобудуванні та вагонному господарстві. Харків, 2016. [Електронна версія](#).
Розглянуто принципи побудови, класифікацію САПР, компоненти систем та їхню роль у виробничому циклі. [\[lib.kart.edu\]](#)
3. Сиротинський О. А. Основи автоматизації проєктування машин. Рівне : УДУВГП, 2003. [Електронна версія](#).
4. Муляр Ю. І., Репінський С. В. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина І. Вінниця : ВНТУ, 2019. [PDF](#).

ПРИЗНАЧЕННЯ САПР

САПР застосовують для підвищення ефективності інженерної праці під час створення нових виробів і технологічних процесів. Її основне призначення полягає не просто в заміні ручного креслення комп'ютером, а в комплексній інформаційній підтримці проєктувальника.

Основними завданнями САПР є:

- скорочення термінів проєктування;
- зменшення трудомісткості конструкторських і технологічних робіт;
- підвищення точності проєктних рішень;
- зменшення кількості помилок;
- повторне використання типових і раніше розроблених рішень;
- автоматизація розрахунків;
- формування конструкторської та технологічної документації;
- моделювання і перевірка майбутнього виробу;
- підготовка даних для виготовлення на обладнанні з ЧПК.

Особливістю САПР є раціональний розподіл функцій між людиною та комп'ютером. Комп'ютер ефективно виконує обчислення, пошук, перевірку, зберігання та оформлення інформації. Проєктувальник приймає творчі, технологічні та техніко-економічні рішення, які важко повністю формалізувати.

ОСНОВНІ КЛАСИ САПР

САПР можна класифікувати за різними ознаками.

ЗА ПРИЗНАЧЕННЯМ

- **конструкторські САПР** — створення креслень, 3D-моделей, складальних одиниць;
- **розрахункові САПР** — міцнісний, тепловий, кінематичний та інший аналіз;
- **технологічні САПР** — проектування технологічних процесів;
- **виробничі системи** — підготовка програм для обладнання, керування виробництвом і моніторинг процесів.

ЗА ОБ'ЄКТОМ ПРОЄКТУВАННЯ

- САПР деталей;
- САПР складальних одиниць;
- САПР технологічних процесів;
- САПР оснащення;
- САПР виробничих систем;
- САПР програм для верстатів із ЧПК.

ЗА РІВНЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

- ручні або неавтоматизовані системи;
- автоматизовані системи;
- автоматичні системи.

Для сучасного машинобудування типовими є автоматизовані системи, у яких людина та комп'ютер працюють у діалозі.

ЗА МАСШТАБОМ

- локальні системи;
- системи рівня підрозділу;
- корпоративні системи;
- інтегровані системи підприємства.

ЗА ФУНКЦІОНАЛЬНИМ ОХОПЛЕННЯМ

- вузькоспеціалізовані;
- комплексні;
- інтегровані CAD/CAM/CAE/PDM/PLM-системи.

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК CAD, CAE, CAPP І CAM

Під час створення виробу інформація послідовно проходить кілька пов'язаних етапів:

1. **CAD** — створення конструкції виробу, деталі або складальної одиниці.
2. **CAE** — перевірка конструкції розрахунками та моделюванням.
3. **CAPP** — розроблення технологічного процесу виготовлення.
4. **CAM** — підготовка траєкторій інструмента та керуючих програм.
5. **CNC** — виконання технологічної операції на верстаті з ЧПК.
6. **PDM/PLM** — зберігання даних та керування інформацією про виріб протягом його життєвого циклу.

Наприклад, конструктор створює 3D-модель корпусу в CAD-системі. За допомогою CAE перевіряють його міцність. Технолог у CAPP визначає маршрут оброблення, обладнання, інструмент і режими різання. У CAM формується траєкторія фрези та керуюча програма для верстата з ЧПК.

МІСЦЕ САПР ТП У ПІДГОТОВЦІ ВИРОБНИЦТВА

САПР ТП є складовою частиною технологічної підготовки виробництва. Її вхідною інформацією можуть бути:

- креслення або 3D-модель деталі;
- технічні вимоги;
- матеріал і вид заготовки;
- річна програма випуску;
- тип виробництва;
- вимоги до точності та шорсткості;
- наявне обладнання;
- доступний інструмент і технологічне оснащення.

Результатами роботи САПР ТП є:

- маршрут технологічного процесу;
- операційна технологія;
- вибір обладнання;
- вибір пристосувань та інструменту;
- розрахунок припусків і режимів оброблення;
- норми часу;
- комплект технологічної документації;
- дані для САМ-системи;
- керуюча програма для верстата з ЧПК.

Отже, САПР ТП пов'язує конструкторську інформацію з реальним виробництвом.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Що таке САПР і яке її основне призначення?
2. Чим відрізняється автоматизоване проектування від автоматичного?
3. Які функції виконують CAD, CAE, CAPP і CAM?
4. Яке місце займає САПР ТП у структурі технологічної підготовки виробництва?
5. Яку інформацію отримує САПР ТП і які результати вона формує?

ТЕСТОВІ ПИТАННЯ

ТЕСТ 1 — ОДНА ПРАВИЛЬНА ВІДПОВІДЬ
САПР ТП призначена для:

- А. автоматизованого проектування технологічних процесів;
- Б. бухгалтерського обліку підприємства;
- В. керування електричною мережею.

ТЕСТ 2 — ОДНА НЕПРАВИЛЬНА ВІДПОВІДЬ
Укажіть неправильне твердження:

- А. CAD застосовують для автоматизованого конструювання;
- Б. CAE використовують для інженерного аналізу;
- В. CAPP призначена винятково для керування складськими запасами.

ТЕСТ 3 — КІЛЬКА ПРАВИЛЬНИХ ВІДПОВІДЕЙ
До результатів роботи САПР ТП можуть належати:

- А. маршрутний технологічний процес;
- Б. технологічна документація;
- В. керуюча програма для верстата з ЧПК;
- Г. рекламний відеоролик виробу.

ТЕСТ 4 — КІЛЬКА ПРАВИЛЬНИХ ВІДПОВІДЕЙ
Які системи можуть бути пов'язані із САПР ТП?

- А. CAD;
- Б. CAM;
- В. PDM/PLM;
- Г. текстовий редактор як обов'язкова складова виробничої системи.

Тема. ТЕХНІЧНЕ, ПРОГРАМНЕ ТА ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР. КЛАСИФІКАЦІЯ САПР ТП

Понятійний апарат: забезпечення САПР; технічне забезпечення; програмне забезпечення; інформаційне забезпечення; математичне забезпечення; методичне забезпечення; лінгвістичне забезпечення; організаційне забезпечення; діалогове проєктування; автоматичне проєктування; метод аналогії; метод синтезу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Барандич К. С., Вислоух С. П., Філіппова М. В. **САПР ТП: конспект лекцій.** [PDF](#). Розділ 2 присвячений складу, структурі та компонентам САПР. [\[ela.kpi\]](#)
2. Войтенко В. І. **Системи автоматизованого проєктування технологічних процесів машинобудування.** Матеріали КПІ. [Електронний ресурс.](#) [\[ela.kpi\]](#)
3. Блиндюк В. С. та ін. **Автоматизація проєктно-конструкторської діяльності у вагонобудуванні та вагонному господарстві.** [PDF.](#) [\[lib.kart.edu\]](#)

СКЛАД САПР

САПР не обмежується комп'ютерною програмою. Це комплексна людино-машинна система, до складу якої входять:

- персонал;
- технічні засоби;
- програмні засоби;
- інформаційні ресурси;
- математичні моделі та алгоритми;
- методики проєктування;
- мови взаємодії;
- організаційні документи.

Тому навіть найсучасніше програмне забезпечення не забезпечить якісного результату без кваліфікованого технолога, актуальних баз даних і правильно сформованої методики проєктування.

ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

До технічного забезпечення САПР ТП належать:

- персональні комп'ютери та робочі станції;
- сервери;
- локальні та корпоративні мережі;
- монітори та графічні дисплеї;
- клавіатури, миші, 3D-маніпулятори;
- сканери та пристрої оцифрування;
- принтери і плотери;
- пристрої резервного копіювання;
- засоби зв'язку та мережевого захисту.

Для САПР ТП важливі не лише швидкодія комп'ютера, а й надійність зберігання даних, можливість роботи з базами даних, сумісність форматів і стабільність мережевого обміну.

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Програмне забезпечення поділяють на:

1. **системне** — операційна система, драйвери, мережеві компоненти;
2. **загальносистемне** — системи керування базами даних, засоби адміністрування;
3. **прикладне** — CAD, CAM, CAPP, CAE, PDM, PLM;
4. **спеціалізоване** — модулі для конкретного підприємства, виду виробництва або обладнання.

У складі САПР ТП можуть працювати модулі для:

- введення даних про деталь;
- класифікації деталей;
- формування маршруту;
- вибору обладнання;
- призначення інструменту;
- розрахунку режимів різання;
- нормування;
- формування документів;
- передавання даних до САМ-системи.

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Інформаційне забезпечення є одним із найважливіших компонентів САПР ТП. Воно містить:

- геометричні моделі деталей;
- класифікатори;
- коди конструктивно-технологічних ознак;
- дані про матеріали;
- дані про заготовки;
- довідники обладнання;
- бібліотеки інструменту;
- дані про пристосування;
- нормативи режимів різання;
- норми часу;
- типові технологічні процеси;
- шаблони технологічної документації.

Якість автоматизованого проєктування безпосередньо залежить від актуальності та несуперечності інформаційної бази. Якщо у базі даних відсутній потрібний інструмент або наведені застарілі режими різання, система може сформулювати формально правильне, але практично непридатне рішення.

КЛАСИФІКАЦІЯ ЗА РІВНЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

ДІАЛОГОВІ СИСТЕМИ

У діалоговій системі користувач послідовно відповідає на запити програми, вибирає варіанти та коригує рішення.

Переваги:

- врахування досвіду технолога;
- можливість змінювати рішення;
- придатність до нестандартних деталей;
- контроль проміжних результатів.

Недоліки:

- залежність від кваліфікації користувача;
- більша тривалість проєктування;
- можливість суб'єктивних помилок.

АВТОМАТИЧНІ СИСТЕМИ

Автоматична система формує результат за заданим алгоритмом і набором початкових даних. Вона ефективна для типових деталей, усталених умов і добре формалізованих процесів.

Переваги:

- висока швидкість;
 - повторюваність результатів;
 - мінімізація рутинної роботи;
- однаковий порядок прийняття рішень.

Недоліки:

- потреба у повній формалізації;
 - обмежена придатність до нових і складних об'єктів;
- залежність від повноти бази даних.

КЛАСИФІКАЦІЯ ЗА ПРИНЦИПОМ ПОБУДОВИ**МЕТОД АНАЛОГІЇ**

Система знаходить у базі даних подібну деталь або технологічний процес. Технолог використовує знайдений аналог, змінює його параметри та адаптує до нової деталі.

Цей метод особливо ефективний у серійному виробництві, де повторюються конструктивні елементи та технологічні рішення.

МЕТОД СИНТЕЗУ

Технологічний процес створюють із окремих елементів. Система аналізує поверхні деталі, визначає способи їх оброблення, вибирає операції, обладнання, інструмент і режими різання.

Метод синтезу більш універсальний, але потребує складніших моделей, алгоритмів і баз знань.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Які види забезпечення входять до складу САПР?
2. Чим відрізняються технічне, програмне та інформаційне забезпечення?
3. Які переваги та обмеження мають діалогові системи?
4. У чому полягає метод аналогії?
5. Чим метод синтезу відрізняється від методу аналогії?

ТЕСТОВІ ПИТАННЯ**ТЕСТ 1 — ОДНА ПРАВИЛЬНА ВІДПОВІДЬ**

Що належить до інформаційного забезпечення САПР ТП?

- А. база даних інструментів і нормативів;
- Б. монітор;
- В. операційна система.

ТЕСТ 2 — ОДНА НЕПРАВИЛЬНА ВІДПОВІДЬ

Укажіть неправильне твердження:

- А. діалогова система передбачає взаємодію користувача із програмою;
- Б. метод аналогії використовує раніше створені технологічні рішення;
- В. метод синтезу завжди виключає використання бази даних.

ТЕСТ 3 — КІЛЬКА ПРАВИЛЬНИХ ВІДПОВІДЕЙ

До технічного забезпечення САПР можуть належати:

- А. сервер;
- Б. плотер;
- В. мережеве обладнання;
- Г. класифікатор деталей.

ТЕСТ 4 — КІЛЬКА ПРАВИЛЬНИХ ВІДПОВІДЕЙ

Перевагами методу аналогії є:

- А. повторне використання перевірених технологічних рішень;
- Б. скорочення часу проєктування;
- В. повна незалежність від бази даних;
- Г. зручність для типових деталей.

Тема. ВИХІДНА ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ: КЛАСИФІКАТОРИ ДЕТАЛЕЙ І КОДУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОЗНАК

Понятійний апарат: вихідна інформація; конструктивна ознака; технологічна ознака; класифікатор деталей; класифікаційний код; конструкторсько-технологічний код; клас деталей; групова технологія

ЛІТЕРАТУРА

1. Барандич К. С., Вислоух С. П., Філіппова М. В. **САПР ТП: конспект лекцій.** [PDF](#). У посібнику розглянуто вихідну інформацію про деталь, формалізацію технологічного проєктування та конструкторсько-технологічні коди. [\[ela.kpi\]](#)
2. Барандич К. С., Вислоух С. П., Філіппова М. В. **САПР ТП: конспект лекцій.** [Дзеркало PDF](#). У джерелі зазначено, що класифікаційна характеристика описує призначення та геометрію деталі, а технологічний код уточнює матеріал, заготовку й термічне оброблення. [\[kgemt.org\]](#)
3. Щербина К. К. Системи автоматизованого проєктування технологічних процесів: методичні вказівки. [PDF](#).

ЗНАЧЕННЯ ВИХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

САПР ТП не може сформувати технологічний процес без достатньої кількості початкових даних. Вихідна інформація визначає, яку деталь потрібно виготовити, з якого матеріалу, у яких виробничих умовах і з якими вимогами до якості.

Основні групи вихідних даних:

КОНСТРУКТОРСЬКІ ДАНІ

- найменування деталі;
- креслення або 3D-модель;
- габаритні розміри;
- розміри поверхонь;
- допуски;
- шорсткість;
- матеріал;
- технічні вимоги;
- термічне оброблення.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ДАНІ

- тип виробництва;
- річна програма;
- вид заготовки;
- припуски;
- доступне обладнання;
- пристосування;
- інструмент;
- допустимі режими оброблення;
- вимоги до контролю.

ОРГАНІЗАЦІЙНІ ТА НОРМАТИВНІ ДАНІ

- виробнича діляниця;
- маршрут переміщення деталі;
- нормативи часу;
- правила оформлення документації;
- внутрішні стандарти підприємства.

ПРИЗНАЧЕННЯ КЛАСИФІКАТОРІВ

Класифікатори забезпечують:

- систематизацію деталей;
- пошук аналогів;
- групування деталей;
- повторне використання технологічних процесів;
- скорочення обсягу введення даних;
- формування групових технологічних процесів;
- уніфікацію позначень.

Без класифікатора пошук аналога здійснювався б за назвою або номером креслення.

Класифікатор дає змогу шукати деталі за геометрією, матеріалом, способом отримання заготовки та іншими ознаками.

СТРУКТУРА КОДУ

Типовий код може мати кілька позицій, кожна з яких відповідає певній ознаці:

Позиція коду	Приклад ознаки
1	клас деталі
2	конструктивний тип
3	форма основної поверхні
4	співвідношення розмірів
5	наявність отворів
6	матеріал
7	вид заготовки
8	точність
9	термічне оброблення

Конкретна структура коду залежить від прийнятого на підприємстві класифікатора. Тому один і той самий набір цифр у різних системах може мати різне значення.

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОЗНАКИ

До конструктивних ознак належать:

- форма деталі;
- циліндричні, конічні, плоскі та фасонні поверхні;
- отвори;
- канавки;
- різьби;
- уступи;
- пази;
- шпонкові канавки;
- криволінійні поверхні;
- співвідношення довжини та діаметра;
- точність і шорсткість.

До технологічних ознак належать:

- матеріал;
- твердість;
- вид заготовки;

- маса;
- припуски;
- тип виробництва;
- необхідні способи оброблення;
- можливість базування;
- потрібне обладнання;
- вимоги до термічного оброблення.

ПРИКЛАД ФОРМУВАННЯ ОПИСУ

Для ступінчастого вала можна сформулювати такий словесний опис:

Деталь класу тіл обертання, виготовлена з конструкційної сталі, заготовка — круглий прокат, має зовнішні циліндричні поверхні різних діаметрів, торці, фаску, шпонкову канавку та різьбову ділянку.

На підставі цього опису САПР ТП може:

- віднести деталь до класу валів;
- знайти аналогічні деталі;
- запропонувати типову послідовність операцій;
- визначити необхідне токарне та фрезерне обладнання;
- запропонувати інструмент;
- сформулювати попередній маршрут.

ВИМОГИ ДО КОДУВАННЯ

Код має бути:

- однозначним;
- компактним;
- розширюваним;
- придатним для машинного оброблення;
- зрозумілим за структурою;
- пов'язаним із базою даних;
- стабільним під час зміни назв деталей.

Водночас код не повинен замінювати повний опис деталі. Він є засобом класифікації та пошуку, а не повною геометричною моделлю.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Які дані належать до вихідної інформації для САПР ТП?
2. Для чого використовують класифікатори деталей?
3. Чим конструктивні ознаки відрізняються від технологічних?
4. Яке призначення конструктивно-технологічного коду?
5. Чому одного коду недостатньо для повного опису деталі?

ТЕСТОВІ ПИТАННЯ

ТЕСТ 1 — ОДНА ПРАВИЛЬНА ВІДПОВІДЬ Що є прикладом конструктивної ознаки?

- А. наявність шпонкової канавки;
- Б. марка верстата;
- В. норма часу.

ТЕСТ 2 — ОДНА НЕПРАВИЛЬНА ВІДПОВІДЬ Укажіть неправильне твердження:

- А. класифікатор спрощує пошук аналогів;
- Б. код може містити інформацію про матеріал і заготовку;
- В. класифікатор повністю замінює креслення або 3D-модель.

ТЕСТ 3 — КІЛЬКА ПРАВИЛЬНИХ ВІДПОВІДЕЙ До вихідної інформації для САПР ТП належать:

- А. матеріал деталі;
- Б. креслення або 3D-модель;
- В. тип виробництва;
- Г. пароль користувача як технологічна характеристика деталі.

ТЕСТ 4 — КІЛЬКА ПРАВИЛЬНИХ ВІДПОВІДЕЙ Конструктивно-технологічний код може характеризувати:

- А. форму деталі;
- Б. вид заготовки;
- В. матеріал;
- Г. колір інтерфейсу САПР.

Тема. МЕТОДИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ: МЕТОД АДРЕСАЦІЇ ТА МЕТОД СИНТЕЗУ

Понятійний апарат: метод адресації; типовий технологічний процес; груповий технологічний процес; метод синтезу; елементне проєктування; маршрут оброблення поверхні; адаптація технологічного процесу

ЛІТЕРАТУРА

1. Барандич К. С., Вислоух С. П., Філіппова М. В. **САПР ТП: конспект лекцій.** [PDF](#). Розділи 3 і 5 розкривають технологічні основи САПР ТП, метод адресації та синтез маршрутних процесів. [\[ela.kpi\]](#)
2. Системи автоматизованого проєктування технологічних процесів машинобудування. КПІ ім. Ігоря Сікорського. [Електронний ресурс.](#) [\[ela.kpi\]](#)
3. Щербина К. К. Системи автоматизованого проєктування технологічних процесів. [PDF](#). [\[dspace.kntu.kr\]](#)

ЗАГАЛЬНА СХЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ

Незалежно від методу автоматизоване проєктування зазвичай містить такі етапи:

1. введення вихідних даних;
2. класифікація деталі;
3. аналіз конструктивно-технологічних ознак;
4. вибір методу проєктування;
5. формування маршруту;
6. вибір операцій;
7. вибір обладнання та інструменту;
8. розрахунок технологічних параметрів;
9. формування документації;
10. перевірка та коригування результату.

МЕТОД АДРЕСАЦІЇ

Метод адресації ґрунтується на використанні заздалегідь розроблених технологічних рішень. За кодом деталі система визначає, до якої групи вона належить, і звертається до відповідного типового або групового процесу.

Послідовність роботи:

1. визначають клас і групу деталі;
2. формують її код;
3. знаходять аналог або типову деталь;
4. викликають типовий технологічний процес;
5. порівнюють його з реальною деталлю;
6. вилучають зайві операції;
7. додають відсутні операції;
8. уточнюють розміри, інструмент і режими;
9. формують остаточний процес.

ПЕРЕВАГИ

- простота реалізації;
- висока швидкість;
- використання перевірених рішень;
- зручність для серійного виробництва;
- скорочення обсягу роботи технолога.

НЕДОЛІКИ

- залежність від наявності якісної бази;
- складність роботи з нетиповими деталями;
- можливість механічного перенесення недоліків аналога;
- потреба в адаптації.

ТИПОВІ ТА ГРУПОВІ ПРОЦЕСИ

Типовий процес розробляють для класу деталей. Наприклад, для ступінчастих валів типовий маршрут може містити:

1. відрізання заготовки;
2. торцювання;
3. центрування;
4. чорнове точіння;
5. чистове точіння;
6. нарізання різьби;
7. фрезерування шпонкової канавки;
8. термічне оброблення;
9. шліфування;
10. контроль.

Для конкретної деталі частина операцій може бути непотрібною. Груповий процес може містити так звані альтернативні або змінні переходи.

МЕТОД СИНТЕЗУ

Метод синтезу використовують тоді, коли готовий аналог відсутній або його недостатньо.

Основою методу є розкладання деталі на окремі поверхні та конструктивні елементи:

- торці;
- зовнішні циліндричні поверхні;
- внутрішні циліндричні поверхні;
- кінчні поверхні;
- отвори;
- канавки;
- різьби;
- пази;
- фасонні поверхні.

Для кожного елемента визначають:

- спосіб отримання;
- спосіб чорнового оброблення;
- спосіб чистового оброблення;
- базування;
- обладнання;
- інструмент;
- режими різання;
- контроль.

Після цього окремі рішення об'єднують в операції та маршрут.

ЕЛЕМЕНТНЕ ПРОЄКТУВАННЯ

Елементне проєктування можна представити як послідовність:

$\text{\text{поверхня}} \rightarrow \text{\text{метод оброблення}} \rightarrow \text{\text{перехід}} \rightarrow \text{\text{операція}} \rightarrow \text{\text{маршрут}}$

Наприклад, для отвору точністю IT7:

1. свердління;
2. зенкерування;
3. розгортання;
4. контроль калібром або вимірювальним інструментом.

Для зовнішньої циліндричної поверхні:

1. чорнове точіння;
2. напівчистове точіння;
3. чистове точіння або шліфування.

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ

Ознака	Метод адресації	Метод синтезу
Основа	Аналог або типовий процес	Окремі технологічні елементи
Швидкість	Висока	Нижча
Вимоги до бази даних	Значні	Високі, але іншого типу
Придатність	Типові деталі	Нові та складні деталі
Роль технолога	Адаптація готового рішення	Прийняття та перевірка рішень
Основний ризик	Некритичне копіювання аналога	Неповний або неправильний синтез

У практичних системах часто застосовують комбінований підхід: спочатку знаходять аналог, а відсутні частини процесу синтезують.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. У чому полягає метод адресації?
2. Чим типовий процес відрізняється від групового?
3. Які переваги та недоліки методу адресації?
4. Як реалізують метод синтезу?
5. Чому на практиці використовують комбінування методів адресації та синтезу?

ТЕСТОВІ ПИТАННЯ

ТЕСТ 1 — ОДНА ПРАВИЛЬНА ВІДПОВІДЬ

Який метод ґрунтується на використанні готового аналога?

- А. метод адресації;
- Б. метод синтезу;
- В. метод статистичного контролю.

ТЕСТ 2 — ОДНА НЕПРАВИЛЬНА ВІДПОВІДЬ

Укажіть неправильне твердження:

- А. типовий процес призначений для групи подібних деталей;
- Б. метод синтезу формує процес із технологічних елементів;
- В. метод адресації не потребує жодної бази даних.

ТЕСТ 3 — КІЛЬКА ПРАВИЛЬНИХ ВІДПОВІДЕЙ

Під час синтезу технологічного процесу визначають:

- А. способи оброблення поверхонь;
- Б. технологічні переходи;
- В. обладнання та інструмент;
- Г. рекламний бюджет підприємства.

ТЕСТ 4 — КІЛЬКА ПРАВИЛЬНИХ ВІДПОВІДЕЙ

Перевагами методу адресації є:

- А. висока швидкість;
- Б. використання перевірених рішень;
- В. повна придатність для будь-якої унікальної деталі без адаптації;
- Г. зручність для типових деталей.

Тема. АВТОМАТИЗОВАНЕ ФОРМУВАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ЗАСОБАМИ САПР ТП

Понятійний апарат ЄСТД; технологічна документація; маршрутна карта; операційна карта; карта ескізів; технологічна інструкція; технологічний документ; комплект технологічної документації

ЛІТЕРАТУРА

1. Барандич К. С., Вислоух С. П., Філіппова М. В. **САПР ТП: конспект лекцій**. [PDF](#). Посібник розглядає автоматизацію проектування маршрутних технологічних процесів, операцій та переходів. [\[ela.kpi\]](#)
2. Єдина система технологічної документації. Форми та правила оформлення маршрутних карт. [Матеріали](#). Джерело описує призначення маршрутних та операційних карт. [\[irbis-nbuv.gov\]](#)
3. Єдина система технологічної документації: загальні положення. [Огляда](#). Матеріал містить загальну характеристику ЄСТД та призначення технологічних документів. [\[studfile\]](#)
4. СОУ НАН 72.1-003.2:2011. Технологічна документація. [Документ](#). [\[techcenter.kyiv\]](#)

ПРИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Технологічна документація забезпечує передавання технологічної інформації між конструкторським, технологічним і виробничим підрозділами. Вона повинна бути однозначною, повною, зрозумілою виконавцю та придатною для контролю.

Документація використовується для:

- організації виробництва;
- навчання персоналу;
- планування та нормування;
- контролю виконання операцій;
- обліку матеріалів та оснащення;
- підготовки програм для верстатів із ЧПК;
- аналізу витрат і трудомісткості;
- супроводу та зміни технологічного процесу.

ЄСТД визначає види документів, їхні форми, правила заповнення та порядок використання. Маршрутна карта описує процес на рівні операцій, а операційна карта — на рівні переходів і технологічних параметрів. [\[irbis-nbuv.gov\]](#)

МАРШРУТНА КАРТА

Маршрутна карта містить:

- номер операції;
- назву операції;
- код операції;
- назву обладнання;
- інформацію про пристосування;
- основний інструмент;
- короткий опис операції;
- нормативи часу;
- розряд роботи;
- особливі вказівки.

Типова структура маршруту для вала:

Номер	Операція	Обладнання
005	Заготівельна	Відрізний верстат
010	Токарна чорнова	Токарний верстат
015	Токарна чистова	Токарний верстат з ЧПК
020	Фрезерна	Фрезерний верстат
025	Контрольна	Контрольне місце

ОПЕРАЦІЙНА КАРТА

Операційна карта містить детальний опис:

- устанавлення та базування;
- послідовності переходів;
- інструменту;
- режимів різання;
- розмірів;
- допусків;
- шорсткості;
- допоміжних дій;
- контрольних операцій;
- норм часу.

Наприклад, для операції точіння можуть бути зазначені:

1. установити заготовку в патроні;
2. підрізати торець;
3. обточити ділянку діаметром 30 мм;
4. обточити ділянку діаметром 25 мм;
5. зняти фаску;
6. перевірити діаметри та довжини.

АВТОМАТИЗОВАНЕ ФОРМУВАННЯ ДОКУМЕНТАЦІЇ

САПР ТП використовує структуровані дані про технологічний процес. Після завершення проєктування система автоматично:

- нумерує операції;
- формує позначення;
- підставляє назви обладнання;
- вибирає форми документів;
- заповнює графи;
- переносить режими різання;
- розраховує норми часу;
- створює маршрутні та операційні карти;
- формує відомості оснащення;
- забезпечує повторне виведення документа після редагування.

Автоматизація оформлення зменшує кількість механічних помилок, але не скасовує технологічного контролю.

ПОРЯДОК ФОРМУВАННЯ ДОКУМЕНТАЦІЇ

1. Увести дані про виріб.
2. Визначити вид і матеріал заготовки.
3. Сформувати маршрут.
4. Визначити операції.
5. Вибрати обладнання та оснащення.
6. Визначити переходи.
7. Увести режими оброблення.

8. Розрахувати норми часу.
9. Вибрати форми документів.
10. Сформувати комплект.
11. Перевірити повноту та відповідність вимогам.
12. Затвердити або передати на коригування.

КОНТРОЛЬ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Під час перевірки необхідно з'ясувати:

- чи відповідає маршрут кресленню;
- чи всі поверхні деталі обробляються;
- чи правильна послідовність операцій;
- чи відповідає обладнання операції;
- чи узгоджені інструмент і режими;
- чи немає суперечностей у розмірах;
- чи зазначені необхідні контрольні операції;
- чи всі документи мають правильні реквізити.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Яке призначення ЄСТД?
2. Чим маршрутна карта відрізняється від операційної?
3. Які дані зазначають в операційній карті?
4. Які операції з оформлення документації може виконувати САПР ТП?
5. Чому автоматично сформовану документацію необхідно перевіряти?
- 6.

ТЕСТОВІ ПИТАННЯ

ТЕСТ 1 — ОДНА ПРАВИЛЬНА ВІДПОВІДЬ
Який документ містить послідовність операцій технологічного процесу?

- А. маршрутна карта;
- Б. паспорт верстата;
- В. рахунок-фактура.

ТЕСТ 2 — ОДНА НЕПРАВИЛЬНА ВІДПОВІДЬ
Укажіть неправильне твердження:
А. операційна карта деталізує технологічну операцію;
Б. ЄСТД визначає правила оформлення технологічних документів;
В. маршрутна карта містить повний опис кожного мікропереходу як обов'язкова вимога.

ТЕСТ 3 — КІЛЬКА ПРАВИЛЬНИХ ВІДПОВІДЕЙ
Операційна карта може містити:

- А. послідовність переходів;
- Б. режими різання;
- В. інструмент;
- Г. список студентів групи.

ТЕСТ 4 — КІЛЬКА ПРАВИЛЬНИХ ВІДПОВІДЕЙ
САПР ТП може автоматично:
А. нумерувати операції;
Б. формувати маршрутні карти;
В. підставляти дані про обладнання;
Г. гарантувати правильність технологічного рішення без перевірки технолога.

Тема. ІНТЕГРАЦІЯ САПР ТП ІЗ САМ-СИСТЕМАМИ. АВТОМАТИЗОВАНА ПІДГОТОВКА КЕРУЮЧИХ ПРОГРАМ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ ІЗ ЧПК

Понятійний апарат: САМ-система; керуюча програма (КП); постпроцесор; траєкторія інструмента; верифікація; симуляція; постпроцесування; NC-код; нульова точка деталі

ЛІТЕРАТУРА

1. Системи автоматизованого програмування верстатів з ЧПК : навчальний посібник. [PDF](#). У джерелі розглянуто автоматизоване програмування, симуляцію та верифікацію оброблення. [\[web.kpi.kharkov\]](#)
2. Технологічні процеси для верстатів з ЧПК. [PDF](#). Навчальний матеріал присвячений підготовці технологічних процесів і керуючих програм для верстатів із ЧПК. [\[khntusg.com\]](#)
3. Методичні вказівки до розроблення керуючих програм для верстатів з ЧПК за допомогою CAD/CAM-систем. [PDF](#). Джерело містить теоретичні та лабораторні матеріали з підготовки керуючих програм у CAD/CAM-системах. [\[ir.lib.vntu.edu\]](#)
4. Барандич К. С., Вислоух С. П., Філіппова М. В. **САПР ТП: конспект лекцій**. [PDF](#). Посібник показує взаємодію САПР ТП з іншими системами автоматизованого проектування та системами інформаційної підтримки життєвого циклу виробу. [\[ela.kpi\]](#)

МІСЦЕ САМ У ТЕХНОЛОГІЧНІЙ ПІДГОТОВЦІ

САПР ТП формує опис технологічного процесу на рівні маршруту, операцій і переходів. САМ-система використовує ці дані для конкретизації оброблення:

- аналізує геометрію деталі;
- визначає установлення;
- вибирає інструмент;
- задає режими;
- формує траєкторію;
- створює технологічні проходи;
- виконує симуляцію;
- генерує керуючу програму.

Спрощено взаємодію можна подати так:

`\text{CAD-модель} \rightarrow \text{САПР ТП/САПР} \rightarrow \text{САМ}`
`\rightarrow \text{постпроцесор} \rightarrow \text{ЧПК}`

ДАНІ, ЩО ПЕРЕДАЮТЬСЯ ІЗ САПР ТП ДО САМ

До САМ-системи можуть передаватися:

- ідентифікатор деталі;
- 3D-модель;
- креслення;
- матеріал;
- вид заготовки;
- система координат;
- нульова точка;
- послідовність операцій;
- тип обладнання;
- інструмент;
- режими різання;
- припуски;
- точність і шорсткість;
- вимоги до контролю.

Що повніша та структурованіша інформація, то менше ручного введення та ризику помилок.

ОСНОВНІ ЕТАПИ ПІДГОТОВКИ ПРОГРАМИ

1. Імпорт моделі або креслення.
2. Вибір верстата та системи ЧПК.
3. Визначення заготовки.
4. Визначення нульової точки.
5. Формування системи координат.
6. Вибір інструмента.
7. Формування операцій.
8. Задання режимів різання.
9. Розрахунок траєкторій.
10. Перевірка переміщень.
11. Симуляція зняття матеріалу.
12. Верифікація зіткнень.
13. Вибір постпроцесора.
14. Генерування NC-коду.
15. Передавання програми на верстат.
16. Перевірка програми на обладнанні.

ПОСТПРОЦЕСОР

Внутрішнє подання траєкторії в САМ-системі не є готовою програмою для конкретного верстата. Один і той самий рух може бути записаний по-різному для систем Fanuc, Siemens Sinumerik, Heidenhain або інших систем ЧПК.

Постпроцесор враховує:

- формат кадру;
- систему координат;
- одиниці вимірювання;
- структуру команд;
- цикли;
- корекції;
- способи виклику інструмента;
- команди охолодження;
- порядок завершення програми.

Тому неправильний постпроцесор може призвести до помилкової або небезпечної керуючої програми.

ВЕРИФІКАЦІЯ ТА СИМУЛЯЦІЯ

Симуляція дає змогу перевірити:

- послідовність операцій;
- правильність траєкторії;
- залишковий припуск;
- якість оброблення;
- зіткнення інструмента із заготовкою;
- вихід за межі робочої зони;
- неправильне встановлення нуля;
- помилки у виборі інструмента.

Верифікація не замінює перевірки на реальному верстаті. Перед запуском програми необхідно перевірити систему координат, корекції інструмента, обмеження подачі та швидкості, затискання заготовки й безпечні відстані.

ПЕРЕВАГИ ІНТЕГРАЦІЇ

Інтеграція САПР ТП і САМ забезпечує:

- єдине джерело технологічних даних;
- зменшення повторного введення інформації;
- зниження кількості помилок;
- скорочення часу підготовки виробництва;

- швидке внесення змін;
- повторне використання технологічних операцій;
- зв'язок між документацією та NC-програмою;
- можливість цифрової перевірки до виготовлення деталі.

ТИПОВІ ПОМИЛКИ

Найпоширеніші помилки під час інтеграції:

- неправильний формат моделі;
- невідповідність одиниць вимірювання;
- неправильна нульова точка;
- неправильний напрямок осей;
- невідповідний постпроцесор;
- помилковий діаметр інструмента;
- відсутність корекції;
- неправильні режими різання;
- відсутність безпечних відводів;
- неперевірена програма.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Яке призначення САМ-системи?
2. Які дані передаються із САПР ТП до САМ?
3. Для чого потрібен постпроцесор?
4. Чим симуляція відрізняється від верифікації?
5. Які перевірки потрібно виконати перед передаванням програми на верстат?

ТЕСТОВІ ПИТАННЯ

ТЕСТ 1 — ОДНА ПРАВИЛЬНА ВІДПОВІДЬ

Для чого призначений постпроцесор?

- А. для перетворення траєкторії САМ у формат конкретної системи ЧПК;
- Б. для вимірювання твердості матеріалу;
- В. для створення специфікації складальної одиниці.

ТЕСТ 2 — ОДНА НЕПРАВИЛЬНА ВІДПОВІДЬ

Укажіть неправильне твердження:

- А. САМ може формувати траєкторії інструмента;
- Б. симуляція допомагає виявити зіткнення;
- В. після успішної симуляції перевірка нуля деталі вже не потрібна.

ТЕСТ 3 — КІЛЬКА ПРАВИЛЬНИХ ВІДПОВІДЕЙ

До етапів підготовки керуючої програми належать:

- А. визначення заготовки;
- Б. вибір інструмента;
- В. формування траєкторії;
- Г. оформлення бухгалтерської накладної.

ТЕСТ 4 — КІЛЬКА ПРАВИЛЬНИХ ВІДПОВІДЕЙ

Перевагами інтеграції САПР ТП і САМ є:

- А. зменшення повторного введення даних;
- Б. скорочення часу підготовки виробництва;
- В. можливість симуляції;
- Г. повне усунення відповідальності технолога.

ГЛОСАРІЙ

Проектування — процес створення опису об'єкта, достатнього для його виготовлення, експлуатації, ремонту або утилізації.

Автоматизоване проектування — проектування, під час якого окремі функції виконує людина, а інші, формалізовані та алгоритмізовані, — комп'ютерна система.

Автоматична система проектування — система, що виконує проектні процедури без безпосередньої участі людини. У виробничій практиці переважають саме автоматизовані, а не повністю автоматичні системи.

Система автоматизованого проектування (САПР) — організаційно-технічна система, яка складається з комплексу засобів автоматизації проектування та взаємодіє з проектувальниками під час виконання проектних робіт.

САПР технологічних процесів (САПР ТП) — система, призначена для автоматизованого проектування технологічних процесів виготовлення, складання, контролю або ремонту виробів.

Технологічний процес — частина виробничого процесу, яка містить дії зі зміни або визначення стану предмета праці.

Технологічна підготовка виробництва (ТПВ) — сукупність заходів, що забезпечують технологічну готовність підприємства до виготовлення нового або модернізованого виробу.

CAD (COMPUTER-AIDED DESIGN) — автоматизоване конструювання та проектування.

CAM (COMPUTER-AIDED MANUFACTURING) — автоматизована підготовка та підтримка виробництва.

CAE (COMPUTER-AIDED ENGINEERING) — автоматизовані інженерні розрахунки, моделювання та аналіз.

CAPP (COMPUTER-AIDED PROCESS PLANNING) — автоматизоване проектування технологічних процесів.

PDM (PRODUCT DATA MANAGEMENT) — керування даними про виріб.

PLM (PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT) — керування життєвим циклом виробу.

Забезпечення САПР — сукупність засобів і ресурсів, необхідних для функціонування системи.

Технічне забезпечення — комп'ютери, мережі, пристрої введення-виведення, засоби зберігання та передавання інформації.

Програмне забезпечення — операційні системи, системні програми, прикладні комплекси та програми користувача.

Інформаційне забезпечення — бази даних, нормативні документи, довідники, класифікатори, бібліотеки моделей і технологічних рішень.

Математичне забезпечення — математичні моделі, методи розрахунку, алгоритми оптимізації та оброблення даних.

Методичне забезпечення — методики, інструкції, правила та рекомендації щодо виконання проектних процедур.

Лінгвістичне забезпечення — мови опису об'єктів, команд, запитів і взаємодії користувача із системою.

Організаційне забезпечення — документи, що визначають структуру підрозділів, розподіл функцій і порядок експлуатації САПР.

Діалогове проєктування — проєктування в режимі постійної взаємодії користувача із системою.

Автоматичне проєктування — виконання проєктної процедури за формалізованим алгоритмом без поточного втручання користувача.

Метод аналогії — формування нового технологічного процесу на основі вже існуючого аналога.

Метод синтезу — побудова технологічного процесу з окремих елементів: операцій, переходів, поверхонь, інструментів та умов оброблення.

Вихідна інформація — сукупність даних, які вводять у САПР ТП перед початком проєктування.

Конструктивна ознака — характеристика форми, розмірів, точності або взаємного розташування елементів деталі.

Технологічна ознака — характеристика деталі або виробничих умов, що визначає спосіб її виготовлення.

Класифікатор деталей — систематизований перелік класів, груп і підгруп деталей за певними ознаками.

Класифікаційний код — умовне цифрове або буквено-цифрове позначення, яке описує належність деталі до певного класу.

Конструкторсько-технологічний код — код, що містить інформацію про конструкцію деталі та особливості її технологічного виготовлення.

Клас деталей — сукупність деталей із подібною геометрією та спільними технологічними ознаками.

Групова технологія — організація виготовлення групи деталей, подібних за конструкцією або технологією.

Метод адресації — метод проєктування, за якого система звертається до бази даних і вибирає готовий або типовий технологічний процес.

Типовий технологічний процес — процес, призначений для групи деталей зі спільними конструктивними та технологічними ознаками.

Груповий технологічний процес — процес виготовлення групи деталей, який містить спільні операції та переходи для всієї групи.

Метод синтезу — метод формування технологічного процесу з окремих технологічних елементів.

Елементне проєктування — проєктування, під час якого окремо визначаються маршрути оброблення поверхонь, операції, переходи, інструмент і режими різання.

Маршрут оброблення поверхні — послідовність способів оброблення, необхідних для досягнення заданої точності та шорсткості поверхні.

Адаптація технологічного процесу — внесення змін до типового або аналогового процесу відповідно до конкретної деталі та виробничих умов.

ЄСТД — єдина система технологічної документації, комплекс нормативних документів, що визначає види, комплектність, правила оформлення та обігу технологічної документації.

Технологічна документація — сукупність документів, що описують технологічний процес виготовлення, складання, контролю або ремонту виробу.

Маршрутна карта — документ, у якому подають послідовність операцій технологічного процесу із зазначенням основних даних про обладнання, оснащення та нормативи.

Операційна карта — документ із детальним описом технологічної операції, переходів, режимів оброблення та засобів технологічного оснащення.

Карта ескізів — документ із графічним зображенням заготовки, деталі або схеми установки під час виконання операції.

Технологічна інструкція — документ із правилами та вказівками щодо виконання технологічних операцій.

Технологічний документ — окремий документ, що містить частину опису технологічного процесу.

Комплект технологічної документації — сукупність документів, необхідних для реалізації технологічного процесу.

САМ-система — програмна система для автоматизованої підготовки виробництва, зокрема розрахунку траєкторій інструмента та формування керуючих програм.

Керуюча програма (КП) — сукупність команд для керування верстатом із ЧПК під час виготовлення деталі.

Постпроцесор — програмний модуль, який перетворює внутрішній опис траєкторії інструмента у формат, зрозумілий конкретній системі ЧПК.

Траєкторія інструмента — геометрично й технологічно визначена лінія руху інструмента відносно заготовки.

Верифікація — перевірка правильності керуючої програми, траєкторій, відсутності зіткнень і перевищення допустимих меж.

Симуляція — комп'ютерне моделювання процесу оброблення.

Постпроцесування — перетворення розрахованої САМ-системою траєкторії у текст керуючої програми для конкретного верстата.

НС-код — текст керуючої програми для обладнання з числовим програмним керуванням.

Нульова точка деталі — початок системи координат, відносно якого задають положення елементів деталі в керуючій програмі.