

В.М. Тигарєв, канд. техн. наук, В.М. Тонконогий, д-р техн. наук,
В.О. Вайсман, д-р техн. наук, Ю.І. Бабіч, канд. техн. наук,
В.І. Салій, Одеса, Україна

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СТВОРЕННЯ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ В СЕРЕДОВИЩІ СУЧАСНИХ САПР З УРАХУВАННЯМ ПРОЦЕСІВ ФОРМОУТВОРЕННЯ РІЗАННЯМ

Анотація. *Наведено послідовність розвитку комп'ютерних технологій по створенню моделі деталі з використанням різноманітних підходів. Розглянуто параметричне проектування, пряме моделювання, (без дерева побудови та жорстких зв'язків між конструктивними елементами), варіаційне моделювання. Подібні рішення застосовувалися виключно для 2D-ескізу і побудови зв'язків «зверху вниз» для складальних вузлів, які не охоплювали тривимірне моделювання. Ситуація змінилась з появою синхронної технології, яка змогла поширити варіаційний підхід до моделювання на весь ланцюжок проектування виробу. Тобто синхронна технологія дозволяє змінювати функціонал прямого моделювання безпосередньо в параметричному середовищі. Розроблено алгоритм створення тривимірної моделі деталі в синхронному середовищі. Розглянуто технологію створення тривимірної моделі деталі типу "Корпус" в синхронному середовищі проектування сучасної САПР Solid Edge. Докладно наведено особливості створення та редагування тривимірної моделі деталі та її елементів з урахуванням особливостей технологічних процесів формоутворення різанням. Проведено порівняльний аналіз проектування у синхронному та параметричному середовищах з поясненням переваг та недоліків.*

Ключові слова: *комп'ютерна модель, алгоритм, параметричне проектування, синхронне проектування.*

Вступ. Скорочення термінів проектування і виготовлення нового обладнання, впровадження його у виробництво забезпечується застосуванням комплексів CAD / CAM / CAE / PDM-системи. Окремі модулі цих систем в рамках одного підприємства дозволяють здійснювати управління проектом (PDM-системи), інженерні розрахунки, аналіз, моделювання та оптимізацію проектних рішень (CAE-системи), дво- і тривимірне проектування деталей і складальних одиниць (CAD-системи), розробка технологічних процесів, синтез керуючих програм для технологічного обладнання з ЧПК, моделювання процесів обробки, в тому числі побудова траєкторій відносного руху інструмента і заготовки в процесі механічної обробки, розрахунок норм часу обробки (CAM-системи). [1]

В рамках передових концепцій підтримки життєвого циклу виробу 3D-моделювання залишається центральною складовою всього процесу роботи з виробом, за допомогою якого інженер-конструктор створює

3D-моделі деталей і складальних одиниць, а також комплект конструкторської документації. В умовах активного впровадження в конструкторську практику сучасних САПР, переходу підприємств на електронний документообіг, а також появи стандарту на електронну модель виробу, стає очевидною важливість підготовки молодих фахівців в області САПР [2].

Постановка завдання. Сучасні комп'ютерні технології при проектуванні машинобудівного виробу дозволяють:

- скоротити витрати часу;
- підвищити точність та якість оброблених поверхонь;
- створити параметричну комп'ютерну модель;
- моделювати будь-який технологічний процес механічної обробки;
- провести аналіз термічних та механічних навантажень.

Проектування деталі можливо в різних CAD системах, в цій роботі було розроблено технологію створення тривимірної моделі деталі в синхронному середовищі САПР Siemens Solid Edge. Дана система дозволяє створити параметричну модель об'єкта, яка в той же час легко та гнучко змінюється за допомогою керуючих розмірів та технології «Поведінка геометрії». Параметризація дозволяє чітко відслідковувати розміри та проводити аналіз створеної моделі в САМ системах. Найважливішою метою проектування машинобудівного виробу повинно бути забезпечення високої точності та якості поверхонь, які підлягають механічній обробці (фрезерування, свердління, точіння тощо), а вже потім скорочення витраченого часу цю обробку. Отже, для підвищення ефективності виробництва необхідно провести симуляцію технологічного процесу механічної обробки створеної моделі та визначити оптимальні режими обробки та їх послідовність.

Метою даної роботи є розгляд технології та порівняльний аналіз створення тривимірної моделі деталі в синхронному та параметричному середовищі з урахуванням усіх особливостей технологічних процесів механічної обробки поверхонь деталі.

Результати дослідження.

Механічна обробка матеріалів в сучасному машинобудівному комплексі є одним з основних методів для забезпечення конкретних вимог до точності і якості оброблених поверхонь. Більшість деталей машинобудування створюються за допомогою таких технологічних процесів механічної обробки, як свердління, фрезерування, точіння, зенкування тощо.

При проектуванні деталі було враховано особливості обробки поверхонь, які оброблюються свердлінням, тому що вони повинні бути перпендикулярними до осі отвору. В іншому випадку можлива поломка свердла. Для цього було передбачено спеціальні площини, перпендикулярні

осі отвору. Також високоточні отвори бажано виконувати наскрізними, а не глухими [2].

Свердління забезпечує шорсткість поверхні $Ra = 10...20$ мкм. Для отримання отворів більш високої точності виконують зенкування і розгортання [2].

Фрезеруванням буде оброблено плоских лінійчатих поверхонь деталі багатолезовими ріжучим інструментами - циліндричними і торцевими фрезами. У зв'язку з цим розрізняють циліндричне або торцеве фрезерування. Головним рухом при фрезеруванні є обертання фрези, а допоміжним - поступальне переміщення заготовки. Фрезерування поверхні широко використовується для створення корпусів, важелів, планок, кришок, кронштейнів, причому як простої, так і складної конфігурації. Крім того, на них можна обробляти контури, що мають дуже складну форму [2].

Проектування сучасних виробів машинобудування важко уявити без участі САПР, що реалізують 3D-моделювання об'єктів. Існує два принципово різних підходи до процесу 3D-проектування – це параметричне та пряме проектування.

Параметричне проектування ґрунтується на параметрах конструктивних елементів геометрії моделі та зв'язків між цими параметрами. Зв'язки між конструктивними елементами моделі ієрархічно організовується у вигляді лінійного дерева, що відображає послідовність її побудови та зв'язку типу «батько-нащадок» [2,3]. Перевагою є передбачуваність поведінки моделі при зміні її параметрів. Але є і суттєві недоліки: в складних моделях таку передбачуваність можна забезпечити, лише ретельно продумавши стратегію її побудови. А при необхідності внести найменші зміни, які можуть призвести до порушення зв'язків та ієрархії конструктивних елементів, і, як наслідок, до краху моделі.

Одночасно з параметричним проектуванням розвивався підхід прямого моделювання (без дерева побудови та жорстких зв'язків між конструктивними елементами). Значна перевага полягає, перш за все, у високій гнучкості проектування і швидкому внесенні змін у геометрію [2]. Але є і ряд очевидних недоліків: труднощі з побудовою складних конструктивних елементів, складно контролювати розміри і вносити зміни, які порушують структурну цілісність моделі.

Враховуючи зазначені недоліки обох підходів з'явилась необхідність пошуку альтернативних рішень, здатних об'єднати переваги і по можливості виключити недоліки. Одним з кандидатів на таке рішення стало варіаційне моделювання, в рамках якого конструктивний елемент задається просторовими відносинами між граничними елементами, що визначають його конструктивну форму. До певного часу подібні рішення застосовувалися виключно для 2D-ескізу і побудови зв'язків «зверху вниз»

для складальних вузлів, які не охоплювали тривимірного моделювання. Ситуація змінилась з появою синхронної технології, яка змогла поширити варіаційний підхід до моделювання на весь ланцюжок проектування виробу.[5]

Вперше термін «синхронна технологія» було використано в 2008 році компанією-розробником Siemens PLM Software – в якості найменування запропонованого рішення, що дозволяє поєднати суворе управління процесом проектування з історією моделі (history – based) і його відтворюваність з тією свободою і гнучкістю для проектувальника, яку надають системи прямого моделювання. Тобто синхронна технологія дозволяє змінювати функціонал прямого моделювання безпосередньо в параметричному середовищі. Ця технологія якісно змінила продукт компанії Siemens PLM Software і до цього дня залишається основним засобом підвищення швидкості і зручності проектування [2,4].

Технологія створення тривимірної моделі в синхронному середовищі САПР Solid Edge

Нами розроблено алгоритми створення тривимірної моделі деталі в синхронному (Рисунок 1)[4] та параметричному середовищі.

Використовуючи запропонований алгоритм створення тривимірної моделі деталі в синхронному середовищі (Рисунок 1) було розроблено технологію створення тривимірної моделі деталі типу «Корпус».

1. Результат першого етапу дуже важливий, тому що від правильного формулювання завдання і достатньої кількості зібраної інформації залежить кінцевий результат роботи. У процесі його виконання необхідно визначити, що є об'єктом моделювання, виявити технічне призначення виробу в цілому і окремих його елементів. На основі цих даних визначаються вимоги до кінцевого результату. Визначивши технічне завдання, необхідно приступити до збору інформації про об'єкт, до якої можуть входити конструкторсько-технологічні специфікації (КТС), ескізи, схеми, ГОСТи тощо.

2. Вивчивши технічне завдання та інформацію про об'єкт, робимо повний аналіз форми деталі. Визначаємо його окремі елементи для деталізації та подальшого планування процесу створення тривимірної моделі деталі.

3. На наступному етапі ми переходимо до процесу проектування, будуюмо 2D-ескіз елемента деталі безпосередньо у середовищі тривимірного моделювання (Рисунок 2). Цей принципово новий підхід було реалізовано у синхронній технології компанією Siemens PLM Software. Задаємо на 2D-ескізі керуючі розміри (Рисунок 2), які при використанні функцій 3D-моделювання мігрують в створену 3D-модель і стають керуючими 3D-розмірами. Використовуючи їх можливо динамічно керувати геометрією 3D-моделі, більше не звертаючись до 2D-ескізу, який вже перейшов в

категорію використаних. Це дозволяє економити час на переході в окреме середовище редагування ескізу, як це реалізовано в параметричних CAD [4,6].

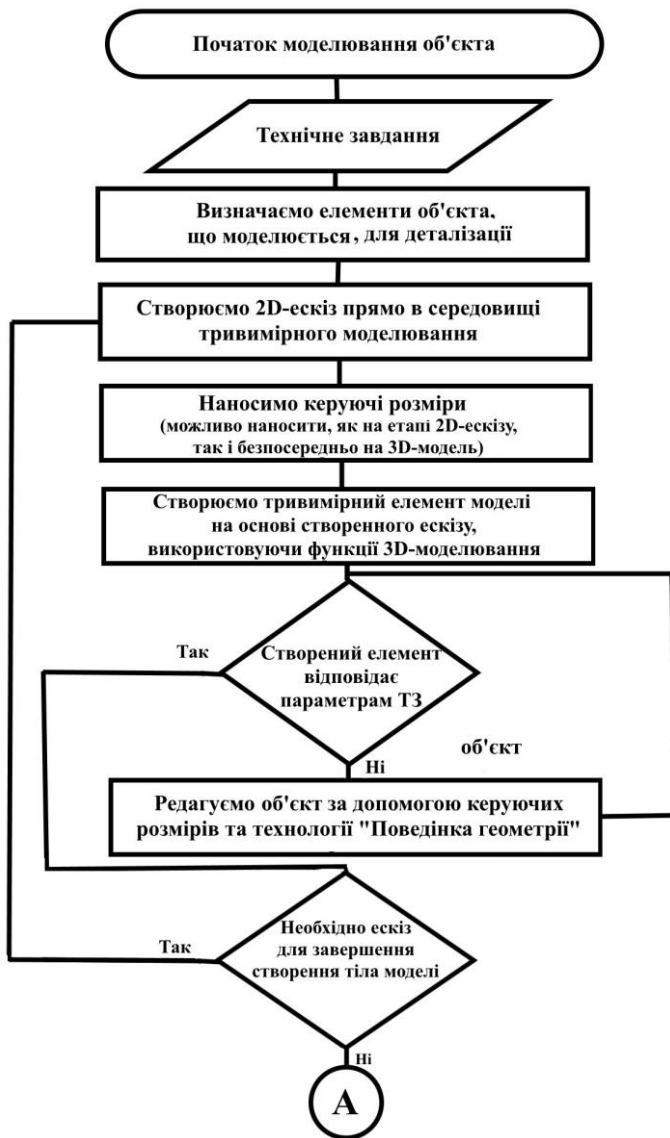




Рисунок 1 – Алгоритм створення тривимірної моделі деталі у синхронному середовищі САПР Solid Edge

4. На основі створеного раніше ескізу створюємо тривимірний елемент деталі, використовуючи функції 3D-моделювання, такі як Видавлювання, Обертання, Видавлювання по січних площинах, Стінка тощо.

5. Редагуємо та добудовуємо необхідні елементи моделі використовуючи керуючі 3D-розміри і технологію «Поведінка геометрії».

Синхронні деталі відповідають всім вимогам параметричної моделі. Деталі управляються розмірами і геометричними зв'язками, і розміри можуть управлятися як значеннями, так і рівняннями.

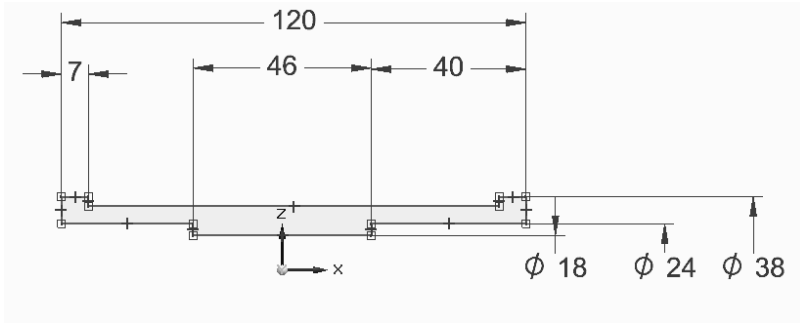


Рисунок 2 – Створення 2D-ескізів безпосередньо у середовищі тривимірного моделювання

За допомогою керуючих 3D-розмірів і геометричних зв'язків між 3D-об'єктами в синхронній технології реалізовано точний контроль геометрії (Рисунок 3, Рисунок 4)[7]. Для цього використовується унікальна технологія «Поведінка геометрії», яка аналізує поверхні 3D-моделі, до яких застосовується операція редагування, вона автоматично розпізнає і визначає можливі геометричні зв'язки, та зберігає їх в процесі редагування, навіть якщо модель імпортована з іншої CAD системи.

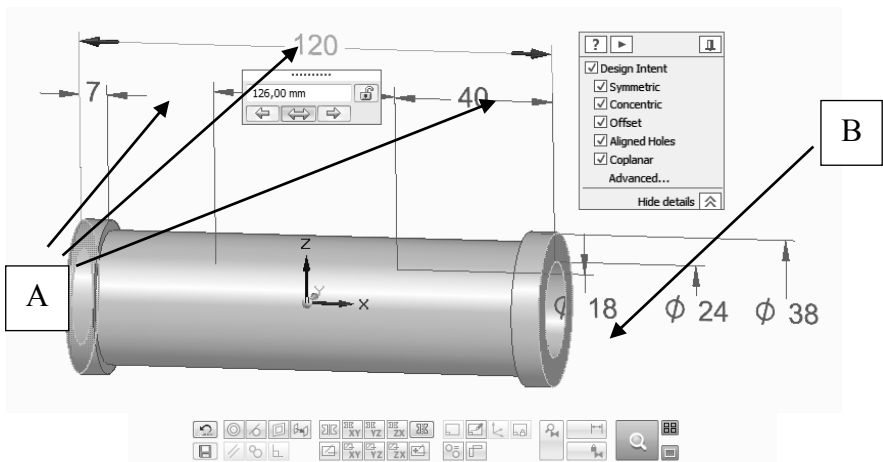


Рисунок 3 – Редагування конструктивного елемента за допомогою керуючого розміру. Керуючі 3D-розміри (A) та поведінка геометрії (B)

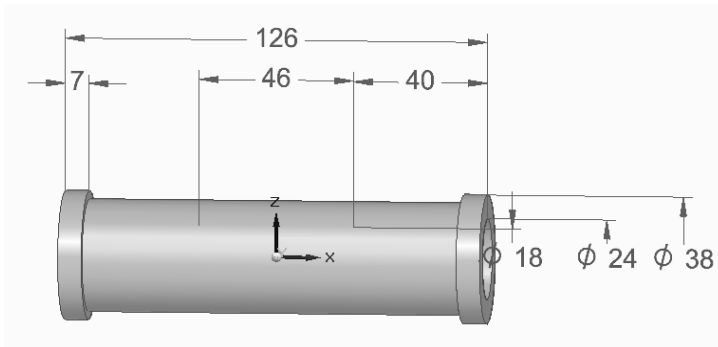


Рисунок 4 – Результат редагування конструктивного елемента за допомогою керуючого розміру

В Solid Edge також реалізована можливість використовувати рівняння для управління розмірами за допомогою Таблиці змінних (Рисунок 5). Таблиця призначена для введення рівнянь і перейменування змінних для подальшого їх використання проектувальником. Це одна з безлічі функцій, яка орієнтована на підвищення продуктивності [8].

Type	Name	Value	Rule	Formula	Range	Expose	Exposed...	Comment
D..	Width	4.500 in	Formula	= Length /2+ 5		<input checked="" type="checkbox"/>	Width	
D..	HoleDepth	2.550 in	Formula	= Height *.75		<input checked="" type="checkbox"/>	HoleDe...	
D..	TopWidth	4.000 in				<input type="checkbox"/>		
D..	HolePos	2.000 in	Formula	= TopWidth /2		<input checked="" type="checkbox"/>	HolePos	
D..	Length	8.000 in				<input type="checkbox"/>		
D..	Height	3.400 in				<input type="checkbox"/>		
D..	StepHeight	1.950 in	Formula	= Height /2+ .25		<input checked="" type="checkbox"/>	StepHei...	
D..	HoleDia	1.000 in				<input type="checkbox"/>		
Va.	PhysicalProp...	0.000 lbm/in^3	Limit		[0.000 lbm/in...	<input checked="" type="checkbox"/>	Density	
Va.	PhysicalProp...	0.990	Limit		(0.000;1.000]	<input checked="" type="checkbox"/>	Accuracy	

Рисунок 5 – Таблиця змінних в Solid Edge

Технологія автоматичного пошуку та підтримання зв'язків у 3D-моделі («Поведінка геометрії») є однією з основ синхронного моделювання [9], у тому числі, при імпорті геометрії з іншої CAD системи. В процесі проектування не потрібно задавати геометричні зв'язки вручну – система сама виконує їх пошук і відстеження. За замовчуванням підтримується пошук

і відстеження таких зв'язків, як горизонтальність/вертикальність, симетрія, копланарність, дотичність, концентричність та ін.

Дана технологія дозволяє автоматично підтримувати конструкторський задум, без застосування до моделі очевидних геометричних обмежень[2,4]. Наприклад, симетрія граней відносно базової площини XZ при обертанні однієї з них за допомогою рульового колеса (Рисунок 6, Рисунок 7).

Після того як було створено всі елементи моделі, які можливо створити за допомогою ескізів та комбінованої роботи з керуючими 3D-розмірами та технологією «Поведінка геометрії», переходимо на наступний етап проектування.

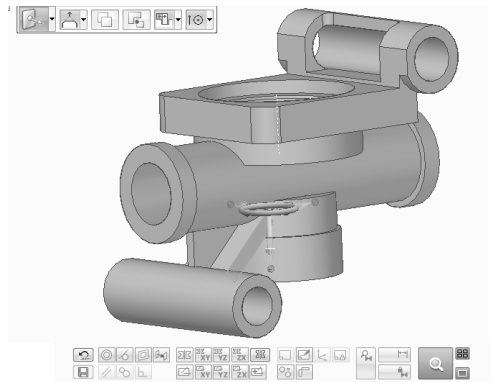


Рисунок 6 – Автоматичне відстеження 3D-зв'язків при зміні геометрії моделі у синхронному середовищі

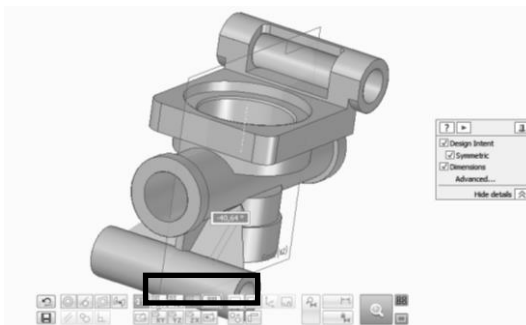


Рисунок 7 – При зміні геометрії моделі до уваги беруться тільки ті зв'язки, які безпосередньо задіяні в змінених конструктивних елементах

6. Створюємо необхідні конструктивні елементи (отвори, масиви, спряження, тонкостінні оболонки – так звані процедурні елементи) прямо в 3D-просторі за допомогою діалогового процесу завдання параметрів [7], а не прямого моделювання. Наприклад, для створення різьбового отвору задаються його тип, розмір, наявність фаски та розташування. При цьому отримані елементи не зв'язуються один з одним відносинами «батько-нащадок», тому їх редагування не веде до перебудови всієї моделі, а лише до локального оновлення.

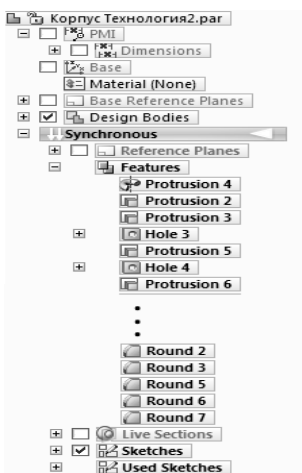


Рисунок 8 – Навігатор моделі, яка створена виключно в синхронному середовищі

У Solid Edge з синхронною технологією конструктивні елементи є незалежними і зберігаються не в дереві моделі, а в навігаторі (Рисунок 8). Отже, існує можливість зміни послідовності конструктивних елементів, переміщення граней, зміни значень 3D-розмірів без порушення конструкторського задуму моделі. Те що при перерахунку моделі до уваги беруться не всі присутні в ній обмеження та зв'язки (Рисунок 7), а тільки ті з них, які безпосередньо задіяні в змінених конструктивних елементах, що істотно скорочує час поновлення моделі.

7. Симуляція технологічних процесів формоутворення деталі.

Комп'ютерні імітаційні моделі дозволяють оперативно досліджувати та підбирати оптимальні режими і параметри технологічного процесу, що значно підвищує ефективність, точність і якість виробництва [1]. Системи

моделювання технологічних процесів, призначені для аналізу поведінки тривимірної деталі при різних технологічних процесах (свердління, фрезерування, точіння тощо). Це надає важливу інформацію про поведінку матеріалу і розподіл температур під час процесу деформації у вигляді оптимізованої кінцево-елементної сітки, згущаючи її в найбільш критичних зонах. Існує можливість вибору необхідних ріжучих інструментів та послідовність технологічних дій при виготовленні деталі. Також реалізовано можливість не тільки побудувати траєкторію відносного руху ріжучого інструмента та заготовки в процесі механічної обробки, а і розрахувати норми часу обробки.[10] Сучасні технології не тільки спрощують роботу інженеру-конструктору, а й значно знижують собівартість виробництва. Використовуючи спеціалізовану CAM-систему (Autodesk Inventor HSM, HSMWorks (SolidWorks), Autodesk Fusion 360 та інші) є можливість візуалізувати технологічні процеси формоутворення деталі в необхідній послідовності, для визначення найбільш оптимального та ефективного способу виготовлення виробу.

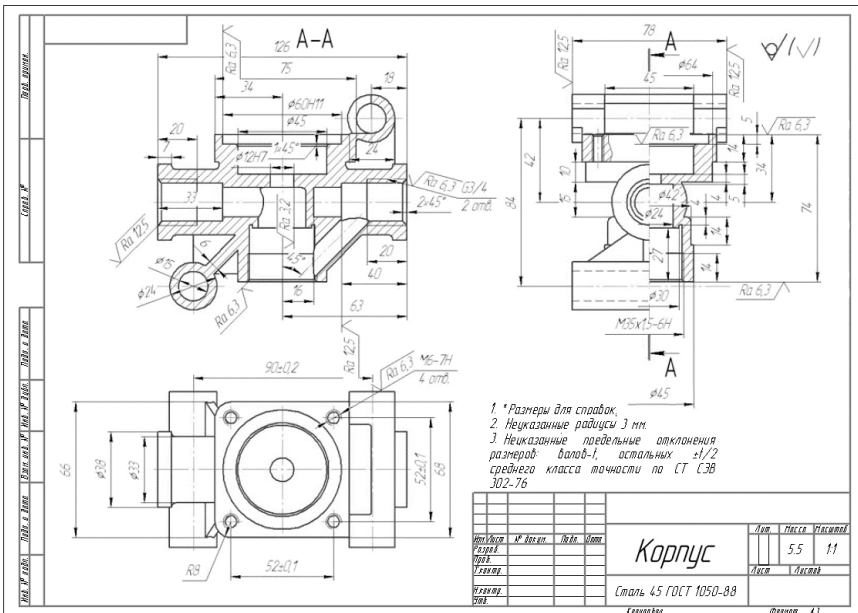


Рисунок 10 – Кресленик деталі «Корпус»

8. Завершуємо процес створення тривимірної моделі деталі оформленням повного комплексу конструкторської документації (Рисунок 10), яка необхідна для виготовлення деталі шляхом механічної обробки деталі (фрезерування, свердління, зенкування тощо) враховуючи результати симуляції технологічного процесу формоутворення.

Сучасні технології дозволяють створювати деталь по її 3D- моделі, але, при необхідності, можливо створити і оформити повний комплект конструкторської документації згідно стандартів ЕСКД[4]. Система Solid Edge надає розвинений інструментарій створення креслень двох типів: асоціативні креслення, які автоматично створюються з 3D-моделі деталі або складальної одиниці і потребують незначного редагування, та незалежні креслення.

Враховуючи всі особливості створення тривимірної моделі деталі у синхронному та параметричному середовищах, нами було проведено порівняльний аналіз (Таблиця 1) та докладно викладено всі переваги та недоліки.

Порівняльний аналіз створення тривимірної моделі в синхронному та параметричному середовищах проектування САПР Solid Edge

Серед безперечних переваг параметричного підходу можна виділити: чітку і однозначну реалізацію конструкторського задуму, в конструктивних елементах; ієрархія моделі; ефективне і передбачуване оновлення моделі при внесенні змін; високий ступінь автоматизації проектування; точний контроль розмірів. Проте при необхідності обміну даними між САПР різних виробників і редагування «чужої» геометрії, виявляються недоліки параметричного проектування, які пов'язані з порушенням зв'язків в дереві побудови та виникнення колізій.

Синхронна технологія об'єднує в собі переваги параметричного і прямого моделювання, та виключає недоліки обох підходів. В рамках цієї технології елемент задається просторовими відносинами між граничними елементами, які визначають його конструктивну форму, геометричними обмеженнями (паралельність, перпендикулярність, концентричність).

Таблиця

СИНХРОННЕ СЕРЕДОВИЩЕ	ПАРАМЕТРИЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ
На стадії створення 2D- ескізу автоматично накладаються та відображаються геометричні залежності (горизонтальність, вертикальність тощо), які потім можливо редагувати за допомогою технології «Поведінка геометрії» безпосередньо в 3D- просторі.	На стадії створення 2D- ескізу автоматично накладаються та відображаються геометричні залежності (горизонтальність, вертикальність тощо), але змінити їх можливо лише на рівні 2D- ескізу.

Створення 2D- ескізу відбувається безпосередньо в 3D- просторі.	Створення 2D - ескізу відбувається в окремому середовищі створення 2D- ескізу.
На 2D- ескіз накладаються переважно необхідні розміри, а непотрібні на даному етапі зв'язки і розміри залишаються невизначеними.	Важливо повністю визначити ескіз, для того щоб в подальшому була можливість редагувати геометрію моделі.
Нанесені на ескіз керуючі 2D- розміри мігрують в 3D- модель, використовуючи які можливо динамічно керувати геометрією 3D- моделі, більше не звертаючись до 2D- ескізу, який вже перейшов в категорію використаних.	Система керуючих розмірів в середовищі не реалізована, тому зміна геометрії можлива лише на рівні 2D- ескізу.
Можливість повторного використання 2D- ескізу	Неможливо
При використанні команд 3D- моделювання (Видавлювання, Обертання тощо) система автоматично розпізнає чи необхідно додати матеріал, чи навпаки зробити виріз. Реалізована можливість ручного вибору.	Для створення вирізу існує додаткова команда.
Всі елементи незалежні і зберігаються у навігаторі (менша ймовірність помилок при подальшому редагуванні).	Всі елементи зв'язані між собою відносинами «батько-нащадок» і зберігаються в дереві побудови моделі. При редагуванні необхідно враховувати ці зв'язки, щоб передбачити поведінку моделі і уникнути можливих колізій.
Процедурні конструктивні елементи (отвори, масиви тощо) створюються за допомогою діалогового процесу завдання параметрів. Отримані елементи незалежні один від одного.	Процедурні конструктивні елементи (отвори, масиви тощо) створюються за допомогою діалогового процесу завдання параметрів. Отримані елементи зв'язані один з одним відносинами «батько-нащадок», тому редагування одного з них веде до зміни всіх.
При зміні геометрії моделі до уваги беруться тільки ті зв'язки, які безпосередньо задіяні в конструктивних елементах, отже модель оновлюється локально.	При зміні геометрії моделі до уваги беруться всі зв'язки, що призводить до перебудови всієї моделі.
Точний контроль розмірів	Точний контроль розмірів
Автоматичне створення комплексу конструкторської документації	Автоматичне створення комплексу конструкторської документації.

Висновки.

В даній роботі запропоновано алгоритм створення тривимірної моделі деталі в синхронному середовищі. На основі алгоритму докладно викладено технологію створення тривимірної моделі з урахуванням особливостей технологічних процесів механічної обробки поверхонь деталі в синхронному середовищі проектування, яке реалізовано в широкому спектрі рішень компанії-розробника Siemens PLM Software, одним з яких є розглянута нами САПР Solid Edge. Також нами було проведено детальний порівняльний аналіз роботи в синхронному та параметричному (звичайному) середовищі. Враховуючи проведену роботу можемо зробити висновки, що синхронна технологія дозволяє реалізувати більш природній підхід до проектування, ніж традиційне параметричне проектування, та дає можливість вносити у конструкцію обмеження і накладати геометричні і розмірні зв'язки в процесі побудови моделі, залишаючи непотрібні на даному етапі зв'язки і розміри невизначеними. При цьому важливо відзначити, що користувач може будувати відносно прості конструктивні елементи у синхронному режимі, а для реалізації складної геометрії перемикається в параметричний режим, використовуючи геометрію синхронної частини моделі для додавання параметричних конструктивних елементів. Також можливе переміщення елементів з параметричного простору моделі у синхронну з конвертацією їх «на льоту».

На основі результатів симуляції технологічних процесів формоутворення в модулі САМ-системи, в САПР SOLID EDGE було створено повний комплект конструкторської документації, яка необхідна для виготовлення деталі шляхом механічної обробки. Імітаційна модель технологічного процесу формоутворення значно підвищує ефективність, точність і якість виробництва.

Використовуючи запропонований алгоритм та технологію створення тривимірної моделі з урахуванням особливостей технологічних процесів механічної обробки поверхонь деталі в синхронному середовищі можливо підвищити якість та точність виробництва, використовуючи значно менше часових та матеріальних ресурсів. Розвитком даної роботи буде створення комп'ютерної моделі в комбінованому середовищі проектування (одночасне використання синхронного і параметричного середовища в рамках однієї моделі), та проведення дослідження ефективності використання симуляції технологічних процесів формоутворення на ранньому етапі проектування виробу.

Список використаних джерел: 1. *Фетисов Г.П.* Материаловедение и технология материалов. — М.:Юрайт, 2014.—767с. 2. *Шахнов В.А., Зинченко Л.А. і ін.* Основы конструирования в Solid Edge. Пособие по проектированию изделий в приборостроении. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 272 с. 3. *Демидов П.* Синхронная технология Solid Edge [Electronic resource]//Проект isicad. 28.07.2015.– URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?Article_num=17898. 4. *Тугарев В.М., Салий В.І., Зайцев П.* Розробка технології створення тривимірної моделі в синхронному середовищі проектування

сучасних САПР// II Міжнародна конференція «Виробництво & Мехатронні Системи 2018» . – Харків : ХНУРЕ, 2018. – 77-81 с. **5.** Fast and easy creation of 3D models using synchronous technology Solid Edge [Electronic resource]// Material Library Siemens PLM Software–URL: https://solidedge.siemens.com/ru/solutions/products/3d_design/synchronous_technology/#ui_Fast_and_Flexible_Design_Creation. **6.** *Зиновьев Д.В.* Основы конструирования в Solid Edge ST10/. 2018. – 206 с. **7.** *Ryan McVay.* Solid Edge with Synchronous Technology—Many Things at the Same Time [Electronic resource] Проект engineering. 27.05.2016.–URL:<https://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/12223/Solid-Edge-with-Synchronous-Technology-Many-Things-at-the-Same-Time.aspx> **8.** *MLombard Retired.* Synchronous AND Parametric [Electronic resource] Проект Siemens PLM Community. 15.04.2015.–URL:<https://community.plm.automation.siemens.com/t5/Solid-Edge-Blog/Synchronous-AND-Parametric/ba-p/297109> **9.** *Ryan McVay.* Synchronous Technology—Debunking the Myths [Electronic resource] Проект engineering. 26.06.2017.–URL: https://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/15056/Synchronous-TechnologyDebunking-the-Myths.aspx?e_src=relat **10.** *С.И.Пестрецов.* Компьютерное моделирование и оптимизация процессов резания. – Тамбов:ТГТУ, 2009. – 94 с.

Volodymyr Tigarev, Volodymyr Tonkonogyi, Vladyslav Vaysman,
Vira Salii, Julia Babych, Odesa, Ukraine

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND COMPARATIVE ANALYSIS OF CREATING THREE-DIMENSIONAL MODELS IN MODERN CAD SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT THE FORMATION PROCESSES BY CUTTING

Abstract. *A sequence over of development of computer is brought technologies on creation of model of detail with the use of various approaches. The self-reactance planning, direct design is considered, (without the tree of construction and hard connections between structural elements), variation design. Similar decisions were used exceptionally for to the 2d-sketch and constructions of connections "from top to bottom" for frame-clamping knots that did not embrace a three-dimensional design. A situation changed with appearance of synchronous technology, that was able to spread the variation going near a design on all chainlet—planning of good. It is synchronous technology allows to change the functional of direct design directly in a self-reactance environment. The algorithm of creation of three-dimensional model of detail is worked out in a synchronous environment. In an algorithm thoroughly to consider all stages of creation of three-dimensional model of detail from a requirement specification to the model and designer documentation. The technology of creating a three-dimensional model details the type of housing in the synchronous design environment of modern CAD Solid Edge. The features of creating and editing a three-dimensional model of the part and its elements are given in detail, taking into account the features of technological processes of forming cutting. It is considered as by means of managing 3d-розмірів і геометричних з'єднань між 3d-об'єктами exact control of geometry is realized in synchronous technology. In Solid Edge with synchronous technology structural elements are independent and kept not in the tree of model, but in a navigator. Computer imitation models allow operatively to investigate and pick up the optimal modes and parameters of technological process, that promotes efficiency, exactness and quality of production considerably. Modern technologies not only simplify work to the engineer-designer, but also considerably cut prime cost production. A comparative analysis of the design in synchronous and parametric environments with an explanation of the advantages and disadvantages. Synchronous technology unites in itself advantages of self-reactance and direct design, and eliminates the lacks of both approaches.*

Keywords: *computer model, algorithm, the parametric design, synchronous design.*