

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему «Розроблення комплексу заходів із впровадження САПР *SolidWorks* у
виробничий процес машинобудівного підприємства»

Виконав: студент VI курсу групи Маш-62

Спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва)



Андрій ТОКАР
(Ім'я та прізвище)

Керівник:



Ігор СТУКАЛЕЦЬ
(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____

(підпис)

д.т.н., професор Віталій ВЛАСОВЕЦЬ

« 28 » квітня 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту
Токарю Андрію Богдановичу

1. Тема роботи: «Розроблення комплексу заходів із впровадження САПР SolidWorks у виробничий процес машинобудівного підприємства»

Керівник роботи: Стукалець Ігор Геннадійович, к. т. н., в. о. доцента

Затверджена наказом по університету від 28.04.2023 року № 133/к-с.

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 5.01.2024 року

3. Вихідні дані:

- постачальник послуг SolidWorks в Україні – ТОВ «Інформаційні технології САПР»;
- спеціалізація підприємства – машинобудування;
- об'єкт автоматизації конструкторських робіт – створення бібліотеки профілів зварних конструкцій.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Аналіз ринку САПР.

2. Теоретичні засади вибору CAD/CAM/CAE системи та її впровадження на підприємстві.

3. Аналіз САПР SolidWorks.

4. Впровадження SolidWorks у виробничий процес машинобудівного підприємства.

5. Налаштування САПР SolidWorks під вимоги машинобудівного підприємства.

Висновки і пропозиції.

Бібліографічний список.

5. Перелік ілюстраційного матеріалу

- Презентація кваліфікаційної роботи у форматі PowerPoint (*.pptx).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,4,5	Ігор СТУКАЛЕЦЬ, к. т. н., в. о. доц. кафедри машинобудування	28.04.23 	28.04.23 	Виконано

7. Дата видачі завдання: 28.04.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	Виконання розділу: «Аналіз ринку САПР»	1.05.23-12.05.23	век.
2.	Виконання розділу: «Теоретичні засади вибору CAD/CAM/CAE системи та її впровадження на підприємстві»	15.05.23-2.06.23	век.
3.	Виконання розділу: «Аналіз САПР SolidWorks»	5.06.23-14.06.23	век.
4.	Виконання розділу: «Впровадження SolidWorks у виробничий процес машинобудівного підприємства»	15.06.23-23.06.23	век.
5.	Виконання розділу: «Налаштування САПР SolidWorks під вимоги машинобудівного підприємства»	1.09.23-10.11.23	век.
6.	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації роботи. Завершення роботи в цілому	13.11.23-5.01.24	век.

Студент Андрій ТОКАР

Керівник роботи Ігор СТУКАЛЕЦЬ

УДК 621.8

Розроблення комплексу заходів із впровадження САПР *SolidWorks* у виробничий процес машинобудівного підприємства.

Токар Андрій Богданович – Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024.

Кваліфікаційна робота: 84 с. текст. част., 26 рис., 3 табл., 21 джерело.

Виконано аналіз сучасного ринку програмних продуктів та здійснено аналіз найпопулярніших в Україні САПР. Описано теоретичні засади вибору САПР для впровадження її на машинобудівному підприємстві. Розроблено систему заходів з вибору найраціональнішої системи з урахуванням специфіки підприємства. Описано процедуру придбання ліцензійної версії САПР SOLIDWORKS для потреб машинобудівного підприємства та можливості сертифікації інженерних кадрів.

Дано рекомендації щодо різних варіантів ліцензування САПР SOLIDWORKS за різних стратегій розвитку підприємства.

Описано розроблення власних шаблонів деталей, збірок, креслеників та специфікацій, створення бібліотечних елементів відповідно до ДСТУ та потреб підприємства.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ РИНКУ САПР	9
1.1. Загальні відомості про САПР та історія їх розвитку в машинобудуванні..	9
1.2. Класифікація САПР у машинобудуванні	15
1.3. Огляд найпопулярніших систем автоматизованого проектування (CAD)	23
1.3.1. Базові та легкі САПР	24
1.3.2. САПР середнього рівня.....	26
1.3.3. Важкі САПР	29
1.3.4. Хмарні САПР	31
2. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИБОРУ CAD/CAM/CAE СИСТЕМИ ТА ЇЇ ВПРОВАДЖЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВІ	33
2.1. Запуск процесу.....	33
2.2. З'ясування потенційних переваг нової системи.	35
2.3. Формалізація вимог до системи.	36
2.4. Специфікація вимог у межах «що і за скільки».....	37
2.5. Вибір системи.....	38
2.6. Впровадження системи на підприємстві.	40
3. АНАЛІЗ САПР SOLIDWORKS	47
3.1. Загальні відомості про САПР SOLIDWORKS	47
3.2. Переваги та недоліки САПР SOLIDWORKS	49
3.3. Аналіз можливостей САПР SOLIDWORKS	50
3.3.1. SOLIDWORKS Standard.....	50
3.3.2. SOLIDWORKS Professional	51
3.3.3. SOLIDWORKS Premium	51
3.4. Результати порівняльного аналізу можливостей різних редакцій SOLIDWORKS.....	52
4. ВПРОВАДЖЕННЯ <i>SOLIDWORKS</i> У ВИРОБНИЧИЙ ПРОЦЕС МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	56

4.1.	Вибір постачальника послуг SOLIDWORKS в Україні	56
4.2.	Вибір ліцензії.....	57
4.2.1.	Види ліцензій	57
4.2.2.	Стратегії ліцензування	58
4.3.	Сертифікація кадрів	61
4.3.1.	Проектування та конструювання	61
4.3.2.	Управління/спільна робота	64
4.3.3.	Виготовлення та виробництво.....	65
4.3.4.	Імітаційне моделювання	65
5.	НАЛАШТУВАННЯ САПР SOLIDWORKS ПІД ВИМОГИ МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	67
5.1.	Налаштування програми для підвищення автоматизації виконання конструкторських робіт	67
5.1.1.	Створення панелі властивостей моделі.....	67
5.1.2.	Створення шаблонів деталі, збірки та шаблонів креслеників	70
5.2.	Створення бібліотечних елементів у SOLIDWORKS для потреб підприємства.....	73
	ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	81
	БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	83

ВСТУП

Успішна діяльність значної частини фірм та колективів у промислово розвинених країнах багато в чому залежить від їхньої здатності накопичувати та переробляти інформацію. Сьогодні без комп'ютерної автоматизації вже неможливо виготовляти сучасну складну техніку, яка потребує високої точності. У всьому світі відбувається різке зростання комп'ютеризації на виробництві та у побуті. Впровадження комп'ютерних та телекомунікаційних технологій підвищує ефективність та продуктивність праці. Відставання в галузі високих технологій може призвести до перетворення країни на сировинний придаток. В наші дні спостерігається швидкий розвиток систем автоматизованого проектування (САПР) у таких галузях, як авіабудування, автомобілебудування, важке машинобудування, архітектура, будівництво, нафтогазова промисловість, картографія, геоінформаційні системи, а також виробництво товарів народного споживання, наприклад побутової електротехніки.

САПР у машинобудуванні використовується у конструкторських, технологічних роботах, зокрема роботах з технологічної підготовки виробництва. За допомогою САПР виконується розробка креслень, проводиться тривимірне моделювання виробу та процесу складання, проектується допоміжне оснащення, наприклад штампи та прес-форми, складається технологічна документація та керуючі програми для верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ), ведеться архів. Сучасні САПР застосовуються для наскрізного автоматизованого проектування, технологічної підготовки, аналізу та виготовлення виробів у машинобудуванні, для електронного керування технічною документацією. В даний час при продажі виробництва будь-якої продукції в інші країни необхідне подання всієї документації в електронному вигляді.

Продукт, що продається, як і його виробництво, повинен пройти міжнародну сертифікацію, що підтверджує його високі характеристики.

Сертифікація проходить не тільки сам виріб, але й методи його проектування, виготовлення, способи та форми передачі інформації про виріб. Для проходження сертифікації необхідно оснастити робочі місця конструктора та технолога комп'ютерними та програмними продуктами. Об'єднання САПР з автоматизованою системою управління підприємством (бухгалтерський облік, економічний аналіз та прогноз, питання матеріально-технічного постачання, управління складами, планування та диспетчеризація виробничих процесів) дозволяє створити єдиний інформаційний комплекс.

Впровадження інформаційного комплексу дозволяє: скоротити у 1,5-2 рази цикл створення виробу (від проектування до випуску); знизити матеріаломісткість виробу на 20-25%; зменшити витрати на виробництво на 15-20%; підвищити якість виробу та конкурентоспроможність підприємства.

1. АНАЛІЗ РИНКУ САПР

1.1. Загальні відомості про САПР та історія їх розвитку в машинобудуванні

Новим шляхом організації виробництва стало створення комп'ютерних систем, що охоплюють все виробництво, від проектування виробів до виробництва – систем автоматизованого проектування (САПР).

Залежно від цього, які завдання вирішує комп'ютерна система, може бути віднесено до одного з класів:

CAD (Computer-aided design) – системи, що служать для розробки креслярсько-конструкторської документації. Такі системи дозволяють будувати як плоскі (двовимірні) креслення, і об'ємні (тривимірні) геометричні моделі. CAD системи, що спеціалізуються на розв'язанні задач машинобудування, називають MCAD.

CAM (Computer-aided manufacturing) – системи, що служать для розробки програм, управляючих технологічними процесами, наприклад, обробкою деталей на верстатах-автоматах. Основні функції САМ-систем: розробка технологічних процесів, синтез керуючих програм для технологічного обладнання з числовим програмним управлінням (ЧПУ), моделювання процесів обробки, у тому числі побудова траєкторій відносного руху інструменту та заготівлі в процесі обробки, генерація постпроцесорів для конкретних типів обладнання з ЧПУ (NC – Numerical Control), розрахунок норм часу обробки.

CAD/CAM – системи забезпечують одночасне вирішення завдань конструкторського та технологічного проектування. Тут є комплексні засоби як для побудови та випуску креслень, так автоматизованого управління виробництвом.

CAE – системи вирішують завдання інженерного аналізу, до яких належать розрахунки на міцність і теплові, аналіз процесів лиття і т.д.

Можна вважати, що до 1971 року ринок CAD-систем вже склався і став індустрією. Якщо раніше САПР були швидше експериментальними продуктами, то тепер САПР стали вже товаром, який міг приносити прибуток. Найбільш великими розробниками CAD на той час були компанії Autotroll, Computervision та інші.

На той час CAD-продукти були громіздкими та дорогими. Крім того, застосовувані тоді комп'ютери та дисплеї обмежували коло користувачів, в основному, великими компаніями. Загалом CAD-інструменти повторювали ті методи, які застосовувала людина, яка проектує на папері. Вони дозволяли автоматизувати найбільш трудомісткі та рутинні процеси, зробити документацію більш зрозумілою. Їхні додаткові властивості, такі як автоматичне проставлення розмірів та можливість легко та швидко вносити зміни до креслень, дозволяли економити час. Власне проектування, як інтелектуальне заняття, здійснювалося безліччю операторів CAD-систем (читай – креслярів). Вони отримали зроблені на папері концептуальні ескізи і фізичні макети виробу, після чого трансформували все це в комп'ютерні CAD-файли. Потім креслення деталей та вузлів роздруковувалися на папері. Як тільки проект був готовий, він передавався для виконання наступних кроків: закупівлі матеріалів та комплектуючих, технологічної підготовки та виробництва, які найчастіше виконувалися в тих же стінах. Фактично, обробка документів проводилася послідовно.

1971 року IntelCorp. випустила мікропроцесор 4004, який став широко відомий як перший комп'ютер на одній мікросхемі. Ймовірно, цю подію можна вважати відправною точкою технологічної революції, яка призвела до створення персонального комп'ютера. Сам собою мікропроцесор 4004 не викликав появи нової хвилі технологій проектування. Однак його вихід започаткував той процес зменшення розмірів величезних ЕОМ, яким ознаменувалися 1980-1990-і роки. Це вплинуло весь ринок програмного забезпечення і, особливо, ринку MCAD-систем.

Крім того, серед подій 70-х років слід відзначити покупку французькою компанією Avion Marcel Dassault у американського авіабудівника Lockheed комп'ютерної програми під назвою CADAM (Computer-Augmented Drafting and Manufacturing) та наступний вихід системи CATIA (Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application), яка стала результатом десятирічного розвитку набутого програмного забезпечення. Багато систем тоді створювалися самостійно великими OEM-виробниками. Поява CATIA свідчила про спеціалізацію та про зміну підходів до розробки CAD-продуктів. Втім, великі OEM-виробники продовжували (а деякі продовжують і досі) самостійно розробляти додатки для підтримки ряду специфічних вимог вироблених ними виробів та застосовуваних процесів [17-19].

Конкуренція та необхідність скорочувати терміни виведення виробів на ринок стали джерелом попиту на готові CAD-додатки. Увага при цьому була сконцентрована на скороченні тривалості циклу проектування і, особливо, на збільшенні продуктивності кожного користувача. Це, у свою чергу, створювало потребу у збільшенні продуктивності процесорної та графічної підсистем комп'ютера. Ринок MCAD-систем зріс з приблизно 25 млн. дол. у 1970 році до більш ніж 1 млрд. дол. у 1980 році. Таке зростання було викликане, в основному, попитом з боку багатих автомобільних та аерокосмічних компаній. Програмне забезпечення, яке історично створилося для спеціалізованих обчислювальних машин і супер ЕОМ, швидко стало доступним на більш дешевих мінікомп'ютерах. Це, у свою чергу, призвело до зниження цін на програмні продукти.

У 1980-х роках виявилися дві основні тенденції. Перша була пов'язана з швидким розвитком персональних комп'ютерів (ПК), піонером у справі створення яких вважається компанія ІВМ. Друга – перехід від автоматизації простих двовимірних (2D) завдань креслення до ширшого застосування 3D і до епохи «паралельного проектування» – тобто, до технологій, що зменшують час виведення виробу на ринок за рахунок розпаралелювання процесів розробки. Найбільший ефект при цьому давало розпаралелювання

проектування та підготовки виробництва - процесів, які раніше обов'язково виконувались один за одним.

З приходом ПК ринок CAD-систем почав ставати масовим. Першим продуктом, який показав це наочно, став пакет AutoCAD компанії Autodesk. Ця компанія, яку в 1982 році заснував пан John Walker з 11 компаньйонами, випустила AutoCAD під девізом «80% функціоналу мейнфреймівської програми за 20% ціни». Новий пакет швидко завоював світ 2D. Він був не тільки гарним інструментом для креслення, але й давав можливість стороннім компаніям розробляти для нього власні додатки, що створювало додаткову цінність і формувало навколо пакета впливову спільноту - другий рівень програмних продуктів та розробників програм.

У міру еволюції ринку 2D почав розвиватись і ринок 3D. Основою для розвитку ринку 3D стали досягнення у створенні апаратного забезпечення та розробка математичних методів опису моделей. Тривимірність вимагала ще більшої продуктивності комп'ютера для одного користувача, що стимулювало розвиток графічної і процесорної підсистем. Настав етап персональних робочих станцій, і ринок став свідком стрімкого зростання нових компаній: Sun, Apollo та SGI (раніше Silicon Graphics). Відомі постачальники комп'ютерів, включаючи HP, Digital Equipment Corp. і IBM, боролися за те, щоб не відстати від новачків, що вискочили на хвилі ідей "відкритої архітектури".

Тоді розвиток ринку 3D обмежувалося не так відсутністю чи наявністю необхідності тривимірного проектування і питанням його переваг, скільки високою ціною і складністю використання систем. Зміни відбулися 1987 року, коли компанія Parametric Technology Corp. випустила свій пакет параметричного 3D проектування Pro/ENGINEER. Революційний підхід PTC забезпечив простоту використання, дружній користувачеві інтерфейс та ефективну технологію моделювання. Завдяки цьому система завоювала ринок із ураганною швидкістю [17-19].

Провідні постачальники програм у відповідь на появу Pro/ENGINEER розгорнули роботи з удосконалення своїх продуктів. В результаті більшість

систем 3D-проектування збагатилися параметричними конструктивними елементами, деревом історії побудов та контекстно-залежними меню.

На початку 90-х років сформувалися явні лідери ринку корпоративних CAD-систем: альянс Dassault/IBM, Unigraphics, Parametric Technology Corp. Такі давні конкуренти, як Computervision і Intergraph, постраждали через те, що їхні продукти сприймалися ринком як «закриті», орієнтовані на власне апаратне забезпечення, тоді як зростання переважно припадало на системи, що працюють на відкритих платформах.

«Новий порядок» настав після того, як компанія SolidWorks, що починає, випустила пакет SolidWorks 95 – тривимірну CAD-систему для персонального комп'ютера. Використовуючи девіз “80% функціоналу Pro/ENGINEER за 20% ціни” (яка дивовижно схожа на девіз компанії Autodesk), вони мали намір домогтися масового застосування 3D-методів у машинобудівному проектуванні – так само, як десятиліття тому компанія Autodesk випуском пакету AutoCAD створила передумови для масового впровадження комп'ютерного 2D-проектування.

Перехід від креслярської дошки до 2D CAD був еволюційним процесом, який приносив збільшення продуктивності, очевидну вимір. Ефект, який приносить перехід від 2D до 3D, не настільки очевидний, його складніше виміряти. Щоб відчути багато переваг від роботи у світі 3D, необхідна солідна практика, а також зміна бізнес-процесів. Більше того, ці переваги часто не були настільки наочними - можливо, ще й з таких причин, як недолік творчої уяви, труднощі використання функцій 3D-систем, складність їх інтерфейсу, а також високі витрати. Це є основною причиною того, що перехід на 3D досі ще відбувся остаточно. При цьому часто там, де перетворення відбулися, необхідний деякий час для того, щоб впровадження об'ємного моделювання дало максимальний ефект.

На початку нового тисячоліття потреба в більш якісному, швидкому та дешевому проектуванні продукції, що все ускладнюється, можливо вирішувати шляхом швидкої зміни моделей виробництва та бізнесу, їх

моментального пристосування до вимог ситуації, що склалася на ринку. Наприклад, у 90-х роках важливою проблемою була організація спільної роботи численних співробітників усередині підприємства, забезпечення паралельної роботи при проектуванні та виробництві виробу. В даний час колаборативність необхідно забезпечувати в умовах, коли окремі фахівці, підрозділи та компанії працюють і роблять внесок у процес розробки або виробництва виробу в незрівнянно більш розгалужених комп'ютерних мережах, перебуваючи, часто, в дуже віддалених географічних регіонах .

Зважаючи на це, особливу цінність сьогодні набувають можливості, що забезпечують синхронну роботу багатьох користувачів у режимі реального часу. Багато хто вважає, що впровадження таких інструментів гальмується наявністю проблем із забезпеченням безпеки при передачі даних, а також обмеженою продуктивністю подібних систем. Однак насправді каменем спотикання залишається опір змінам, викликане звичкою до практики, що склалася.

Нині в машинобудівному САПР спостерігається розвиток у двох основних напрямках.

По-перше, САД-системи надають дедалі ширші можливості роботи з проектом (інформацією) при менших трудовитратах. Насамперед, йдеться про якісне поліпшення інструментів, появу засобів, що забезпечують більш повне охоплення всіх аспектів створення та тестування віртуального виробу. Одна з проблем полягає в тому, що діяльність груп, які розробляють механічну, електричну та електронну частини виробу, а також програмне забезпечення для нього, все ще розрізнена і відбувається практично незалежно. Ми очікуємо, що досягнення у розвитку комплексного проектування та моделювання поведінки конструкції дозволять вирішити низку питань у цій галузі.

По-друге, розшириться спектр завдань, розв'язуваних індустріальним програмним забезпеченням. Проектування – це лише одне із завдань. Які вироби потрібно створювати? Як зробити їх краще? Як підтримувати їх у процесі експлуатації найкращим чином і яким способом краще утилізувати?

Чи можемо ми вдосконалити документообіг підприємства та управляти взаємодією територіально розосереджених співробітників, які працюють над створенням виробу? Чим, крім ціни, відрізнятимуться наші вироби? Ось неповний перелік питань, які відносяться до галузі програмного забезпечення, яка часто називається управлінням життєвим циклом виробу, або PLM (Product Lifecycle Management) [17-19].

Якщо озирнутися на етапи розвитку ринку CAD-систем за минулі три з половиною десятиліття, то побачимо два принципові досягнення:

- якісне підвищення простоти та зручності роботи з CAD-системами дозволило перейти від їх використання тільки у великих компаніях до масового застосування;
- якісно змінилося співвідношення «ціна/продуктивність» найбільш широко використовуваного функціоналу CAD-систем.

1.2. Класифікація САПР у машинобудуванні

З розвитком машинобудівних САПР, між ними з'явилися нові принципові відмінності. Згодом стало можливо проводити за ними різні класифікації.

Якщо згадати історію розвитку MCAD, то спочатку для САПР були потрібні ресурси найпотужніших комп'ютерних систем із усіх, які тоді були доступні. З розвитком комп'ютерів стало можливим перенести машинобудівні САПР на міні-комп'ютери, потім робочі станції під керівництвом UNIX, і, нарешті, – 1990-ті роки – на персональні комп'ютери. Паралельно з цим змінювалося операційне середовище, в якому працювали машинобудівні САПР – від внутрішньовідомчих ОС до систем, що поставляються розробниками, потім до UNIX і, нарешті, до Microsoft Windows. У 1970-ті і на початку 80-х років ринок поділився на дві явні частини – системи вищого рівня, що працюють на мейнфреймах і мінікомп'ютерах у обчислювальних центрах, і менш дорогі пакети, які працювали поза ними – спочатку на 16-бітових мінікомп'ютерах, а пізніше на робочих станціях. Потім на ринку САПР

з'явився новий сегмент – «легкі» САД-системи загального призначення для створення креслень, що працюють на персональних комп'ютерах. Такі особливості давали можливість розділити МСАД по використовуваній «платформі». Тобто можна виділити САПР, які працюють під керівництвом UNIX, Windows чи власних ОС, встановлених, відповідно, різних видів комп'ютерів.

Слід зазначити, що до 1994 року більшість САПР працювали під керівництвом UNIX, але з появою ОС Windows NT стали можливі високовиробничі обчислення і персональних комп'ютерах. Після цього кількість систем для Microsoft Windows з кожним роком продовжує зростати.

В даний час найбільш поширена класифікація САПР у машинобудуванні за такими ознаками:

1) можливості системи в галузі двовимірного (2D) та тривимірного (3D) проектування. До функцій 2D належать креслення, оформлення конструкторської документації; до функцій 3D – отримання тривимірних моделей, метричні розрахунки, реалістична візуалізація, взаємне перетворення 2D та 3D моделей.

2) функціональність. Виходячи з цього серед САПР розрізняють «легкі» та «важкі» системи. Перші з них орієнтовані переважно на 2D графіку, порівняно дешеві та менш вимогливі щодо обчислювальних ресурсів. Другі орієнтовані на геометричне моделювання (3D), більш універсальні, дорогі, оформлення креслярської документації у яких зазвичай здійснюється з допомогою попередньої розробки тривимірних геометричних моделей.

«Важкі» системи (у дужках зазначена фірма, що розробила або розповсюджує продукт): NX (раніше називалася Unigraphics) (UGS, з жовтня 2007 р. Siemens); Solid Edge (Intergraph); Pro/Engineer (PTC – Parametric Technology Corp.), CATIA (Dassault Systemes), EUCLID (Matra Datavision), CADD5.5 (Computervision, нині входить до PTC) та ін.

«Легкі» (low-end) системи: AutoCAD (Autodesk); АДЕМ; bCAD; Caddy (Ziegler Informatics); Компас; Спрут; Кредо.

Системи, що займають проміжне положення (середньомасштабні, middle-range): SolidWorks, Cimatron, Microstation (Bentley), Euclid Prelude (Matra Datavision), T-Flex та ін.

Недоліком цієї класифікації і те, що вона відбиває стан справ над ринком лише у один, конкретний час. Тим часом ринок постійно змінюється, з'являються нові продукти і вдосконалюються старі. Тому виникла зробити чіткішу класифікацію. (наприклад, більшість MCAD дають великі можливості для роботи в 3D, але це не означає, що всі вони відносяться до «важких»).

У 2007 році компанія Cyon Research опублікувала результати роботи із запровадження нової класифікації САД-систем. Необхідність дослідження пояснювалася тим, що САПР, які традиційно вважаються «середніми», отримали багато нових можливостей, властивих раніше лише «важким», при цьому розрив у цінах між цими класами залишився значним. Тим часом, споживачеві дуже важливо знати (причому з незалежних джерел), чи має сенс платити більше за назву?

У 2003 році компанія Cyon Research спробувала провести класифікацію, засновану на тому, що можна спроектувати за допомогою продуктів кожного класу. Системи у класі high-end були потужнішими, ніж у класі mid-range, які, своєю чергою, були потужнішими продуктів у класі low-end. Проектування деяких видів виробів вимагало використання high-end-систем. Хоча системи середнього класу вже тоді були досить потужними, деякі проекти були втілені виключно за допомогою систем вищого класу. За минулі чотири роки така чітка диференціація зникла. За допомогою продуктів класу, який раніше називали «середнім», сьогодні можна створити майже будь-який проект, для якого раніше була потрібна система, що відноситься до «вищого рівня». Терміни «high-end», «mid-range» і «low-end» більше не описують точно диференціацію систем.

Оскільки зараз вже неможливо чітко розрізнити САПР на основі функціональних можливостей, виникла пропозиція розрізнити постачальників по тому, на що вони роблять основний акцент, тому компанія Cyon Research

запропонувала термін «спеціалізовані» машинобудівні САПР (specialized) для CATIA та UGS NX, та «mainstream» машинобудівні САПР (можливі варіанти перекладу: масові, серійні, основні, домінуючі) для Solid Edge, SolidWorks, Inventor та Pro/ENGINEER”.

Якщо брати більш тонку класифікацію, яка чіткіше відображає положення лінійок продуктів, то на думку Cyon є:

- спеціалізовані машинобудівні САПР з фокусуванням на PLM (product life management – управління життєвим циклом продукту, також часто зустрічається назва CALS) (CATIA та UGS NX);
- основні (серійні) машинобудівні САПР з фокусуванням на PLM (Pro/E та CoCreate);
- основні (серійні) машинобудівні САПР з фокусуванням на розробці виробів (Solid Edge, Inventor та SolidWorks).

Відразу можна відзначити недолік цієї класифікації – у ній відсутні «легкі» MCAD.

На думку Cyon Research, на даний момент є такі ключові пункти відмінностей між системами різного класу:

1) у чому фокусуються розробники. У своїх розробках постачальники спеціалізованих систем фокусуються на тому, щоб надати комплексні рішення для компаній, які мають складні проблеми. Часто ці набори проблем включають процеси проектування «згори донизу» і спільну роботу над проектом великої кількості користувачів, розкиданих по всьому світу. Для постачальника спеціалізованих систем включення нових функціональних можливостей у існуючі комплекти програмного забезпечення має першорядне значення, оскільки забезпечує рішення для складних завдань невеликих груп клієнтів (авто- та авіаконцернів, кількість яких легко піддається підрахунку), таких як оптимізація лопатей турбін або розрахунок пружин стиснення для знімачів при холодному листовому штампуванні великогабаритних панелей.

Такий поділ є правомірним, але, на думку багатьох дослідників, не можна до спеціалізованих систем відносити лише «важкі» (як це зробила CR).

По-перше, специфічні завдання можуть вирішуватися і за допомогою спеціально для цього створених САПР (CR їх взагалі не розглядає), а по-друге більшість виробників «важких» систем постійно говорять про їхнє універсальне призначення.

Разом про те, слід зазначити, що з вирішення спеціальних завдань важкі системи мають свої модулі, то постачальники mainstream САПР значною мірою спираються на сторонніх розробників;

2) ціна. Колишні класи суворо диференціювалися за ціною. Хоча відмінність у цінах все ще зберігається, вона поменшала, ніж було, коли Суоп розглядала це в 2003 році. Сьогодні більшість постачальників спеціалізованих систем пропонують базове програмне забезпечення, яке знаходиться в тому ж ціновому діапазоні, що і масові системи. Що залишається, проте, це великі цінові відмінності для повніших конфігурацій”;

3) Канали постачання. Постачальники спеціалізованих MCAD-систем точно знають, хто їх клієнти, і несуть нові рішення безпосередньо їм. Ринкова частка каналів збуту постачальників спеціалізованих MCAD-систем обмежена. Доходи від продажу спеціалізованих САПР реселлерами все ще малі порівняно з прямими продажами. Постачальники масових MCAD-систем поширюють свої продукти через реселлерів та забезпечують підтримку у цьому й сторонніх розробників”;

4) розробка з урахуванням накопичених знань. Постачальники спеціалізованих систем інвестували значні кошти створення баз даних. Створені за їх допомогою банки даних дозволяють заощаджувати час та кошти, накопичуючи інформацію та виймаючи її за необхідності. При цьому для важких САПР вкрай необхідним є забезпечення синхронізації зміни даних. Причому дані можуть представлятися у тому вигляді, який необхідний конкретній групі користувачів. Постачальники mainstream машинобудівних САПР менш зосереджені на проблемах такого роду, тому що для їхніх клієнтів ця область має менший пріоритет.

На думку дослідників, у майбутньому відмінність за цим параметром зменшуватиметься, оскільки постачальники серійних MCAD-систем зможуть запропонувати більш інтегровані конфігурації, орієнтовані рішення конкретних завдань. Вже зараз є інструменти для аналізу, симуляції та накопичення знань, що так само добре інтегровані в серійні системи, як і аналогічні функції спеціалізованих систем;

5) інтеграція з іншим ПЗ підприємства. Сьогодні, коли всі сучасно оснащені підприємства рухаються у бік PLM та цифрового виробництва, основним питанням для все зростаючої кількості підприємств стають не функціонал CAD-систем, а наскрізна інтеграція всіх додатків та систем: CAD, CAM, CAE, систем промислової автоматизації, моніторингу та управління технологічними процесами, у тому числі можливості створення цифрового макета, паралельного проектування в географічно розподілених офісах, взаємодії з ланцюжком постачальників, інтеграції з ERP (автоматизоване управління підприємством) тощо. Саме це сьогодні різьчить відрізняє системи рівня high-end від mid-range, хоча вкрай рідко ця можливість необхідна для масового користувача.

Ідеологія постачальників «важких» машинобудівних САПР така, що розроблювані ними додатки можуть бути більш тісно інтегрованими, ніж додатки постачальників серійних систем, оскільки вони виходять з однієї джерела і створюються на платформі, призначеній для такої інтеграції. Така інтеграція може дати вигоди крім спрощення навчання і загального інтерфейсу користувача.

Аналітики Syon Research справедливо відзначають, що, по суті, йдеться про дві різні ідеології інтеграції:

- інтеграція програм одного розробника навколо єдиного ядра в high-end-системах;
- інтеграція додатків сторонніх розробників навколо машинобудівних САПР у пакетах класу mid-range.

Принципові недоліки другого підходу у тому, що, кажучи словами авторів, добре інтегровані в повному обсязі додатки сторонніх розробників;

б) сервіс та підтримка користувачів. З урахуванням того, що було сказано з приводу інтеграції систем, можна виділити важливу відмінність: всі оновлення систем одного постачальника (систем high-end) виходять, як правило, одночасно і в комплексі, у той час як нові версії додатків сторонніх розробників (mid-range) зазвичай запізнюються по відношенню до моменту виходу головної машинобудівної САПР, викликаючи серйозні проблеми при переході з версії на версію. До того ж завжди є ризик того, що розробник просто перестане з якихось причин підтримувати свій продукт. Це може призвести до значних витрат користувачів на покупку нових програмних продуктів, навчання користувачів, системну інтеграцію.

Так само треба відзначити, що чим дорожчий продукт, тим, як правило, масштабніший сервіс, пропонований користувачеві. У ситуації, коли постачальник САПР має справу не з масою окремих користувачів, а з одиничними корпоративними клієнтами, він може значно підвищити рівень підтримки, забезпечуючи максимальну віддачу від свого продукту, що дозволить підтримувати взаємовигідні відносини між продавцем і покупцем.

Таким чином, в даний час найбільш відмінними рисами класів САПР є все-таки не функції (як раніше), а насамперед інтегрованість з іншим ПЗ підприємства, ціна, сервіс і структура продукту (відсутність або наявність сторонніх розробників, що «допрацьовують» систему).

Очевидно, найближчим часом багато розробників ПЗ і надалі підтримуватимуть поділ систем за такими параметрами. Причиною цього є те, що внаслідок останніх злиття та поглинання компаній-виробників, продукти різних класів, що були раніше самостійними, здобули спільних господарів. Так, наприклад, компанія Dassault Systemes в даний час випускає «важку» CATIA і їй належить «середній» SolidWorks. Та ж ситуація у Siemens PLM Software: «важка» NX і «середній» Solid Edge. Можна припустити, що виробники не захочуть конкуренції між своїми продуктами, оскільки це може

завдати шкоди компанії, зажадати дорогих внутрішніх змін, знизити прибуток, призвести до втрати користувачів.

Ідеологія постачальників «важких» машинобудівних САПР така, що розроблювані ними додатки можуть бути більш тісно інтегрованими, ніж додатки постачальників серійних систем, оскільки вони виходять з однієї джерела і створюються на платформі, призначеній для такої інтеграції. Така інтеграція може дати вигоди крім спрощення навчання і загального інтерфейсу користувача.

Аналітики Syon Research справедливо відзначають, що, по суті, йдеться про дві різні ідеології інтеграції:

- інтеграція програм одного розробника навколо єдиного ядра в high-end-системах;
- Інтеграція додатків сторонніх розробників навколо машинобудівних САПР у пакетах класу mid-range.

Принципові недоліки другого підходу у тому, що, кажучи словами авторів, добре інтегровані в повному обсязі додатки сторонніх розробників;

б) сервіс та підтримка користувачів. З урахуванням того, що було сказано з приводу інтеграції систем, можна виділити важливу відмінність: всі оновлення систем одного постачальника (систем high-end) виходять, як правило, одночасно і в комплексі, у той час як нові версії додатків сторонніх розробників (mid-range) зазвичай запізнюються по відношенню до моменту виходу головної машинобудівної САПР, викликаючи серйозні проблеми при переході з версії на версію. До того ж завжди є ризик того, що розробник просто перестане з якихось причин підтримувати свій продукт. Це може призвести до значних витрат користувачів на покупку нових програмних продуктів, навчання користувачів, системну інтеграцію.

Так само треба відзначити, що чим дорожчий продукт, тим, як правило, масштабніший сервіс, пропонований користувачеві. У ситуації, коли постачальник САПР має справу не з масою окремих користувачів, а з одиничними корпоративними клієнтами, він може значно підвищити рівень

підтримки, забезпечуючи максимальну віддачу від свого продукту, що дозволить підтримувати взаємовигідні відносини між продавцем і покупцем.

Таким чином, в даний час найбільш відмінними рисами класів САПР є все-таки не функції (як раніше), а насамперед інтегрованість з іншим ПЗ підприємства, ціна, сервіс і структура продукту (відсутність або наявність сторонніх розробників, що «допрацьовують» систему) .

Очевидно, найближчим часом багато розробників ПЗ і надалі підтримуватимуть поділ систем за такими параметрами. Причиною цього є те, що внаслідок останніх злиття та поглинання компаній-виробників, продукти різних класів, що були раніше самостійними, здобули спільних господарів. Так, наприклад, компанія Dassault Systemes в даний час випускає «важку» CATIA і їй належить «середній» SolidWorks. Та ж ситуація у Siemens PLM Software: «важка» NX і «середній» Solid Edge. Можна припустити, що виробники не захочуть конкуренції між своїми продуктами, оскільки це може завдати шкоди компанії, зажадати дорогих внутрішніх змін, знизити прибуток, призвести до втрати користувачів [15-20].

1.3. Огляд найпопулярніших систем автоматизованого проектування (CAD)

Система автоматизованого проектування– складний комплекс коштів, призначений для автоматизації проектування.

Згідно з прийнятими в 1980-х роках стандартами, САПР – це не просто програма, встановлена на комп'ютері, це інформаційний комплекс, що складається з апаратного забезпечення (комп'ютера), програмного забезпечення, опису способів і методів роботи з системою, правил зберігання даних та багато іншого.

Однак, з приходом на вітчизняний ринок іноземних систем, широкого поширення набули аббревіатури CAD (Computer Aided Design), яку можна перекласти як проектування із застосуванням комп'ютера, і CAD system, яку можна перекласти як система для проектування за допомогою комп'ютера.

Нині серед фахівців з САПР багато термінів втратили свій первісний зміст, а термін САПР тепер позначає програму для автоматизованого проектування. Іншими словами, те, що раніше називалося ПЗ САПР або САД-системою, тепер прийнято називати системою автоматизованого проектування. Також можна зустріти назви САД-система, КАР-система, система САПР та багато інших, але всі вони позначають одну програму для автоматизованого проектування.

На сучасному ринку існує велика кількість САПР, які вирішують різні завдання. Розглянемо основні системи автоматизованого проектування у галузі машинобудування.

1.3.1. Базові та легкі САПР

Легкі системи САПР призначені для 2D-проектування та креслення, а також для створення окремих тривимірних моделей без можливості роботи зі складальними одиницями.

AutoCAD

AutoCAD – це базова САПР, що розробляється і постачається компанією Autodesk. AutoCAD – найпоширеніша САД-система у світі, що дозволяє проектувати як у двовимірному, так і тривимірному середовищі. За допомогою AutoCAD можна будувати 3D-моделі, створювати та оформлювати креслення та багато іншого. AutoCAD є платформною САПР, тобто ця система не має чіткої орієнтації на певну проектну область, в ній можна виконувати хоч будівельні, хоч машинобудівні проекти, працювати з дослідженнями, електрикою та багатьом іншим.

Система автоматизованого проектування AutoCAD має такі відмінні риси:

- де-факто стандарт у світі САПР;
- широкі можливості налаштування та адаптації;
- засоби створення додатків на вбудованих мовах (AutoLISP та ін.) та із застосуванням API;

- велика кількість додатків від сторонніх розробників.

Крім того, Autodesk розробляє вертикальні версії програми: AutoCAD Mechanical, AutoCAD Electrical та інші, призначені для фахівців відповідної спрямованості.

Brics CAD

В даний час на ринку з'явилася ціла низка систем, які позиціонуються як альтернатива AutoCAD. Серед них можна окремо відзначити BricsCAD, яка поєднує в собі інструменти для створення креслень, функції варіаційного моделювання та відкритий API для роботи зі сторонніми програмами.

Особливості BricsCAD:

- активний розвиток;
- пряма підтримка формату DWG;
- повна сумісність із AutoCAD;
- підтримка BIM-технологій.

КОМПАС-Графік

Однією з популярних програм для створення креслень і автоматичної генерації проектної та конструкторської документації можна вважати КОМПАС-Графік (розробник – Росія). Важливо, що цей продукт добре поєднується практично з будь-якою CAD-системою.

Серед особливостей рішення КОМПАС-Графік можна відзначити:

- підтримку ЄСКД, СПДС та інших поширених стандартів;
- великий спектр документації, яка може знадобитися для виробництва та подальшого використання виробів;
- набори інструментів для машинобудування та будівництва, які допомагають автоматизувати значну частину завдань, типових для цих галузей;
- підтримує файли всіх поширених форматів для простого обміну даними з іншими системами.

nanoCAD

panoCAD – ще одна технологія, яка сподобається тим, хто звик працювати в AutoCAD. Її інтерфейс виявиться звичним всім користувачів зарубіжної САПР.

До особливостей платформи panoCAD можна віднести:

- підтримку зовнішніх програм для AutoCAD;
- великий набір модулів на вирішення різних проектних завдань;
- оформлення КД відповідно до вимог ЄСКД та СПДС;
- підтримку найпопулярніших САПР-форматів.

1.3.2. САПР середнього рівня

Середні системи САПР – це програми для 3D-моделювання виробів, проведення розрахунків, автоматизації проектування електричних, гідравлічних та інших допоміжних систем. Дані в таких системах можуть зберігатися як у звичайній файлової системі, так і в єдиному середовищі електронного документообігу та управління даними (PDM та PLM-системах). Часто в системах середнього класу присутні програми для підготовки програм для верстатів з ЧПУ (CAM-системи) та інші програми для технологічного проектування.

САПР середнього рівня – найпопулярніші системи над ринком. Вони оптимальні з погляду співвідношення ціни та функціональності, здатні вирішити переважну кількість проектних завдань та задовольнити потреби більшої частини клієнтів.

T-FLEX CAD

Одна із найпотужніших вітчизняних САПР середнього рівня, побудована на основі ліцензійного тривимірного ядра Parasolid. T-FLEX CAD містить професійні інструменти для створення параметричних моделей та креслень, оптимізації, аналізу виробів та створення пакету КД.

Відмінні риси системи:

- найпотужніші інструменти параметризації ескізів, деталей та складання, багато з яких є унікальними навіть для закордонних САПР, оскільки не вимагають навичок програмування;
- просунуті засоби тривимірного моделювання, що підтримують стабільну роботу навіть зі складними зборками із сотень тисяч компонентів;
- інтелектуальні інструменти для розрахунку та оптимізації конструкцій;
- величезний набір безкоштовних бібліотек типових та стандартних елементів, що прискорюють процес проектування;
- простий механізм створення програм для автоматизації конкретних завдань підприємства без використання програмування;
- можливість спільної роботи над проектом безлічі фахівців, своєчасне внесення та журналування змін документів;
- інтеграція із програмами комплексу T-FLEX PLM.

КОМПАС-3D

КОМПАС-3D – це ще одна російська система параметричного моделювання деталей та складання, що використовується у сфері машинобудування, приладобудування та будівництва. САПР належить компанії АСКОН.

До переваг системи КОМПАС-3D належать:

- простий та зрозумілий інтерфейс, що дозволяє максимально швидко вивчити продукт;
- використання в основі тривимірного ядра та технологій параметризації власної розробки;
- повна підтримка ГОСТ, ЕСКД, СПДС та інших російських та світових стандартів при проектуванні та оформленні документації, а також можливість автоматичної перевірки проекту на відповідність їм;
- розширення зі спеціальними інструментами та наборами стандартних компонентів для машинобудування, будівництва та приладобудування, що значно прискорюють проектування;

- великий вибір додатків до різних розділів проекту, дозволяють зібрати індивідуальну конфігурацію рішення кожної компанії;
- проста інтеграція з будь-якими PLM-системами, що є на ринку.

Autodesk Inventor

Професійний комплекс для тривимірного проектування промислових виробів та випуску документації від компанії Autodesk.

Серед особливостей Inventor варто зазначити:

- просунуті інструменти тривимірного моделювання;
- підтримку прямого імпорту геометрії з інших САПР із збереженням асоціативного зв'язку;
- підтримку вітчизняних стандартів під час проведення розрахунків, моделювання та оформлення документації;
- бібліотеки стандартних та часто використовуваних елементів;
- безліч майстрів проектування типових вузлів та конструкцій;
- можливості параметризації деталей та складання.

SolidWorks

Тривимірний програмний комплекс для автоматизації конструкторських робіт промислового підприємства. Розробник – компанія Dassault Systemes.

Риси системи, що вигідно відрізняють її від інших CAD:

- продуманий інтерфейс користувача, що став зразком для наслідування;
- велика кількість надбудов для вирішення вузькоспеціалізованих завдань;
- орієнтація як у конструкторську, і на технологічну підготовку виробництва;
- бібліотеки стандартних елементів;
- розпізнавання та параметризація імпортованої геометрії;
- інтеграція із системою SolidWorks PDM.

SolidEdge

Система тривимірного моделювання машинобудівних виробів, розроблена Siemens PLM Software.

Серед переваг системи можна назвати:

- комбінацію технологій параметричного моделювання на основі конструктивних елементів та дерева побудови з технологією прямого моделювання в рамках однієї моделі;
- розрахункові середовища, включаючи технологію генеративного дизайну;
- підтримку ЄСКД під час оформлення документації;
- розширені можливості проектування литих деталей та оснастки для їх виготовлення;
- вбудований модуль автоматизованого створення схем та діаграм;
- тісну інтеграцію з Microsoft SharePoint та PLM-системою Teamcenter для спільної роботи та управління даними.

1.3.3. Важкі САПР

Важкі САПР призначені для роботи зі складними виробами (великі зборки в авіабудуванні, кораблебудуванні та ін.) Функціонально вони роблять те ж саме, що й середні системи, але в них закладена зовсім інша архітектура та алгоритми роботи.

PTC Creo

Система 2D- та 3D-параметричного проектування складних виробів від компанії PTC. САПР PTC Creo широко використовується в різних областях проектування.

Вигідні відмінності системи від конкуруючих рішень:

- ефективна робота з великими та дуже великими зборками;
- моделювання на основі історії та інструменти прямого моделювання
- робота зі складними поверхнями;
- можливість масштабування функціональності системи залежно від потреб користувача;
- різні уявлення єдиної, централізованої моделі, що розробляється в системі;

- тісна інтеграція із PLM-системою PTC Windchill.

NX

NX – флагманська система САПР виробництва компанії Siemens PLM Software, яка використовується для розробки складних виробів, що включають елементи зі складною формою та щільним компонуванням великої кількості складових частин.

Ключові особливості NX:

- підтримка різних операційних систем, включаючи UNIX, Linux, Mac OS X та Windows;
- одночасна робота великої кількості користувачів у рамках одного проекту;
- повнофункціональне рішення для моделювання;
- просунуті інструменти промислового дизайну (вільні форми, параметричні поверхні, динамічний рендерінг);
- інструменти моделювання поведінки мехатронних систем;
- глибока інтеграція із PLM-системою Teamcenter.

UPD , на жаль, зараз придбати продукти Siemens PLM Software на території Росії неможливо

CATIA

Система автоматизованого проектування від компанії Dassault Systemes, орієнтована на проектування складних комплексних виробів, насамперед у галузі авіабудування та кораблебудування.

Відмінні особливості:

- де-факто стандарт в авіабудуванні;
- орієнтація працювати з моделями складних форм;
- глибока інтеграція з розрахунковими та технологічними системами;
- можливості колективної роботи тисяч користувачів над одним проектом;
- підтримка міждисциплінарної розробки систем

1.3.4. Хмарні САПР

Останнім часом активно почали розвиватися хмарні САПР, які працюють у віртуальному обчислювальному середовищі, а не на локальному комп'ютері. Доступ до них здійснюється через спеціальний додаток або через звичайний браузер. Безперечна перевага таких систем – можливість їх використання на слабких комп'ютерах, тому що вся робота відбувається у хмарі.

Хмарні САПР активно розвиваються, і якщо кілька років тому їх можна було віднести до легких САПР, тепер вони міцно влаштувалися в категорії середніх.

Fusion 360

САПР Fusion 360 орієнтована рішення широкого кола завдань, починаючи від простого моделювання і закінчуючи проведенням складних розрахунків. Розробник системи – компанія Autodesk.

Особливості Fusion 360:

- просунутий інтерфейс користувача;
- поєднання різних методів моделювання;
- просунуті інструменти роботи зі складання;
- можливість роботи в онлайн та офлайн режимах (за наявності та відсутності постійного підключення до мережі інтернет);
- доступна вартість придбання та утримання;
- розрахунки, оптимізація, візуалізація моделей;
- вбудована САМ-система;
- можливості прямого виведення моделей на 3D-друк.

Onshape

Повністю хмарна САПР Onshape розробляється компанією Onshape.

На що варто звернути увагу при виборі Onshape:

- доступ до програми через браузер або мобільні програми;
- робота лише у режимі онлайн;
- вузька спрямованість на машинобудівне проектування;

- повний набір функцій для моделювання виробів машинобудування;
- контроль версій створюваних проектів;
- підтримка мови FeatureScript для створення власних програм на основі Onshape [15-21].

В даний час на ринку присутні різні сучасні CAD-системи, які відрізняються між собою як за функціональністю, так і за вартістю. Вибрати відповідну систему автоматизованого проектування серед багатьох CAD – непросте завдання. При прийнятті рішення необхідно орієнтуватися на потреби підприємства, завдання, які стоять перед користувачами, вартість придбання та утримання системи та багато інших факторів.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИБОРУ CAD/CAM/CAE СИСТЕМИ ТА ЇЇ ВПРОВАДЖЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Як описано вище, САПР сьогодні дають великі можливості для машинобудівних підприємств. Проте незважаючи на те, що за цілком прийнятну ціну можна придбати величезний функціонал CAD/CAM/CAE – систем, без правильних вибору та подальшого впровадження вигода від САПР буде мінімальною.

Розглянемо основні етапи, неминучі у процесі оновлення програмного забезпечення компанії.

2.1. Запуск процесу.

Процес оновлення починається з прийняття рішення про необхідність удосконалення існуючої машинобудівної CAD/CAM/CAE-системи або заміни її новою системою.

Насамперед слід визначитися, чи дійсно є необхідність замінити чи вдосконалити існуючу машинобудівну CAD/CAM/CAE-систему? Щоб зрозуміти це, дайте відповідь на наступні питання:

- коли ви востаннє оновлювали свою систему для розробки виробів; чи робилося це останні три-п'ять років?
- чи працюють ваші конструктори/розробники у 3D?
- чи задоволені якістю вашої продукції?
- чи задоволені ви термінами розробки виробів та термінами виведення виробів на ринок?
- наскільки конкурентоспроможна ваша компанія, з погляду витрат, на розробку та виведення виробу на ринок?
- чи здатні ви на етапі проектування взаємодіяти з постачальниками у всьому світі, як вам би того хотілося?
- чи можете ви обмінюватися проектними даними з вашими замовниками та/або постачальниками, якщо виникає така необхідність? І якщо такий

обмін має місце, то чи можете ви забезпечити необхідну безпеку процесу та збереження ключових даних про виріб?

- чи підтримується синхронність змін у специфікаціях, що використовуються на етапі розробки виробу та на етапі його виробництва?
- чи є у вас ефективний доступ до фрагментів раніше виконаних проектів та можливість їх зручного використання в нових виробках чи проектах?
- чи можна порівняти загальні результати діяльності вашої компанії з результатами інших компаній у цій сфері?

Якщо ви відповіли «ні» на будь-яке з цих питань, можна говорити про те, що ви працюєте з CAD/CAM/CAE-системою, яка не відповідає всім сучасним вимогам. У цьому випадку необхідно визначитися, чи слід модифікувати існуючу систему чи розумніше придбати нову, а також зрозуміти, яких переваг можна при цьому очікувати.

Якщо ви просто працюєте зі застарілим програмним забезпеченням, тоді саме час його замінити. Слово «застаріле» в даному контексті може означати, що система розрахована тільки на 2D, що постачальник більше не підтримує цей продукт і не постачає оновлення і вдосконалення, або ж, що система була куплена у постачальника, що не досяг фінансового визнання.

Якщо ви використовуєте сучасне програмне забезпечення і при цьому не відчуваєте очікуваних переваг - вам необхідно розібратися, в чому, власне, причина. Можливо, система неякісно налаштована, або ж потрібні зміни у бізнес-процесах та методах роботи.

В цьому випадку треба розібратися - чи можливо виправити ситуацію за рахунок налаштування системи або такої можливості немає.

Якщо в наявній у вас системі закладені необхідні властивості, але вам чомусь не вдається ними користуватися, це означає одне з двох: або команда ваших технічних фахівців не впоралася зі своїми обов'язками, або вам необхідно радикально змінити підхід до використання CAD/CAM/CAE-системи. У цьому випадку придбання нового програмного рішення вам не допоможе. Єдина рекомендація така: вам необхідно розглянути питання про

якнайшвидше запрошення сторонніх фахівців, які допоможуть внести зміни до ваших бізнес-процесів та з'ясувати, чому ж у нинішній реалізації система не працює належним чином.

Якщо ж проблема полягає у відсталості наявної САПР, то необхідно продовжувати заходи щодо вибору та впровадження нової системи.

2.2. З'ясування потенційних переваг нової системи.

Визначення удосконалень, які необхідно зробити поліпшення діяльності підприємства. При цьому необхідно знайти підтвердження, що за допомогою нової САПР можна вплинути на поліпшення обраних аспектів діяльності.

Головне питання, на яке треба відповісти на цьому етапі: «Якої віддачі ви очікуєте від системи?» Під час вирішення цього питання можливе залучення зовнішнього консалтингу у процесі вибору нової системи.

Опитування показують, що основними факторами, що спонукають користувачів вибирати нову САД-систему, є такі (у порядку зменшення значущості):

- бажання підвищити якість виробів;
- необхідність інновацій;
- висока собівартість;
- довгі терміни виведення нових виробів на ринок.

Рекомендується проаналізувати ці фактори і розібратися, які зі сфер у вашому випадку потребують поліпшень більшою мірою.

Саме кінцева мета повинна визначати все: не тільки впровадження нової САД/САМ/САЕ-системи, а й будь-які зміни процедур та методів роботи, організаційні зміни, плани заміни обладнання.

Вигоди від усіх нововведень складатимуться з багатьох складових. Зверніть увагу на скорочення термінів розробки та освоєння нової продукції, на прискорення виконання замовлень, підвищення якості інженерного аналізу і, як наслідок, на випуск більш якісних виробів. Оцініть переваги більш короткого виробничого циклу та вплив цього на дохід та прибуток компанії.

Досліджуйте можливість скорочення часу, протягом якого деталі лежать у міжопераційних заділах. Оцініть вигоди швидкої розробки та комп'ютерного аналізу моделі виробу (тут слід пам'ятати, що нескінченний аналіз з подальшим внесенням покращень здатні звести нанівець бажане прискорення циклу розробки). До інших переваг може відноситися зниження витрат при виробництві виробу, наприклад, за рахунок більш ефективного використання існуючих компонентів.

2.3. Формалізація вимог до системи.

Необхідно "перекласти" список бажаних поліпшень на мову технічних вимог до нової системи, тобто, більш точно визначити властивості нового робочого середовища і перетворити їх на список вимог до нової CAD/CAM/CAE-системи.

Цей етап дозволить вам розібратися, як перетворити бажання удосконалити бізнес на конкретні вимоги до системи, а потім, обираючи найважливіші пункти у справі удосконалення, розробити поетапний план впровадження.

Формулювання вимог до системи починається з визначення, які з намічених удосконалень необхідні компанії насамперед. Для цього виберіть напрямки, які є найбільш суттєвими для успіху вашого бізнесу. Вони і будуть найближчими цілями під час впровадження нової системи.

Зазвичай, насамперед розглядають такі напрями, як підвищення якості виробів, скорочення витрат на розробку, підвищення індивідуальної продуктивності або продуктивності компанії в цілому, прискорення виходу виробів на ринок і т.д.

Ви повинні визначити, які властивості CAD/CAM/CAE-системи допоможуть досягти найближчих цілей застосування. Як приклад цілей, що вимагають розгляду, можна перерахувати такі:

- досягнення максимальної продуктивності розробки виробів;
- швидка реакція на запит на надання конкурсної пропозиції;

- перетворення на вигідного постачальника;
- прискорення поставок;
- розробка та постачання виробів вищої якості у більш короткі терміни;
- спрощення перерозподілу робіт між підрозділами підприємства.

Ці цілі можна віднести до рівня керівників підприємства. Що стосується цілей технологів, то це може бути:

- можливість створення та управління геометрією виробу (твердотільне моделювання, креслення, складання, технологічні дані тощо) з використанням сучасних технологій проектування, що забезпечують повну інтеграцію 3D та 2D;
- можливість роботи з даними, що залишилися у спадок від наявної системи;
- сумісність з іншими MCAD та ПЗ підприємства;
- забезпечення своєчасного оновлення даних;
- можливість управління процесами (PDM модуль);
- спільна робота розробників виробу -як усередині компанії, так і за її межами;

2.4. Специфікація вимог у межах «що і за скільки».

Визначте, яку функціональність має включати нова система і скільки це має коштувати.

На четвертому етапі формується короткий перелік завдань, вирішення яких необхідно запланувати при переході на нову систему (як відносяться безпосередньо до CAD/CAM/CAE-системи, так і попередніх або супутніх її впровадження):

1) придбання необхідних модулів CAD/CAM/CAE-системи – для проектування виробів, підготовки виробництва, інженерного аналізу, управління даними, а також спеціальних додатків (у разі потреби);

2) навчання персоналу;

3) налаштування нового програмного забезпечення під потреби користувачів. Іноді може знадобитися і додаткове програмування;

4) конвертація існуючих даних (це слід робити лише у разі безумовної необхідності чи явної користі). Не потрібно перетворювати всі наявні дані підряд - тільки ті, які дійсно необхідні;

5) придбання нового апаратного забезпечення. Фахівці рекомендують провести оновлення «заліза» - на найшвидше, яке ви тільки можете собі дозволити. Крім того, бажано встановити новітню версію ОС;

6) поліпшення комунікацій (високошвидкісні локальні мережі, доступ до Інтернету). встановлення сервера для зберігання загальнодоступних даних про виріб;

7) перегляд та реорганізація бізнес-процесів. Щоб скористатися перевагами нової системи, необхідно переглянути інформаційні потоки та технологічні маршрути виробів;

8) перегляд процедур затвердження паперових документів та процедур внесення змін;

9) забезпечення максимально широкого доступу до даних про виріб. Як правило, доступ до даних необхідний трьома категоріями співробітників: авторам даних; особам, які затверджують документи; співробітникам, які переглядають дані. Авторам САД-даних потрібно спеціалізоване програмне забезпечення, а дві інші категорії користувачів можуть використовувати значно дешевші програми, що базуються на web-технологіях;

10) Для управління даними необхідне ефективне сховище даних з урахуванням СУБД.

2.5. Вибір системи.

У процесі вибору необхідно визначити найбільш підходящу для вашого підприємства САД/САМ/САЕ/РДМ-систему та переконатися у правильності вибору.

На даний момент вже має бути уявлення, яким вимогам має відповідати система як з технічної точки зору, так і з точки зору управління підприємством. Настав час вибрати конкретну CAD/CAM/CAE-систему для вирішення ваших проблем. Для цього виконайте такі дії:

1) організуйте групу співробітників, яка займатиметься вирішенням цих проблем, затвердіть план її роботи та створіть механізм контролю його реалізації;

2) остаточно уточніть список вимог, яким має відповідати система як з технічної точки зору, так і з позиції управління підприємством;

3) для кожної позиції списку, що вийшов, визначте ту конкретну користь, яку можна отримати з її реалізації. Якщо для якоїсь позиції зробити це не вдається, то вона не є досить значущою. Відранжуйте вимоги, яким повинна відповідати система (як з технічної точки зору, так і з точки зору управління підприємством), використовуючи як критерій очікувану від їхньої реалізації користь. Оскільки зробити точну оцінку буває складно, можна розбити всі вимоги щодо важливості на чотири категорії: обов'язкові; досить важливі; враховані; необов'язкові;

4) визначтеся з вашим бюджетом. За рідкісним винятком, потреби більшості підприємств малого та середнього бізнесу можуть задовольнити CAD/CAM/CAE-системи середнього рівня. До їх вартості необхідно додати приблизно 25% від ціни за підтримку та супровід. Майте на увазі, що робочі місця всіх співробітників, які безпосередньо проектують або вносять зміни (їх, як правило, називають авторами інженерних даних), повинні бути оснащені повноцінними ліцензіями. Обмежену за функціональними можливостями версію софту для вирішення найбільш часто зустрічаються базових завдань інженерного аналізу) (аналіз напруженого стану в лінійній постановці) часто можна отримати як безкоштовний додаток до CAD-системи. Для складних інженерних розрахунків вам може знадобитися більш просунуте програмне забезпечення, що дозволяє "копнути глибше". Зазвичай досить оснастити таким софтом всього кілька робочих місць. Під програмним забезпеченням для

підготовки виробництва найчастіше розуміють системи створення керуючих програм (УП) для фрезерних і токарних верстатів з ЧПУ. Необхідно при покупці також з'ясувати, чи треба окремо купувати так звані пост-процесори (постпроцесори перетворюють інструкції з внутрішньої мови САМ-системи на зрозумілі для верстатів з ЧПУ інструкції, іноді звані G-кодами) і скільки вони коштують;

5) запитайте пропозиції від кількох розробників систем (максимум від трьох);

6) перевірте, чи задовольняють запропоновані системи вашим вимогам – як з технічної точки зору, так і з позиції управління підприємством. Для перевірки відповідності технічним вимогам можна провести тестування програм, встановивши демоверсію. Що стосується управління підприємством, то цей параметр визначається після деякого часу експлуатації САПР;

7) необхідно також розглянути можливість тимчасової оренди системи з використанням наданого їй розробником online-навчання, яке підкріплюється консультаціями з боку представництва розробника. Це дозволить заодно оцінити, якою буде підтримка після завершення інсталяційних робіт. Зверніть увагу також на наступне важливе спостереження: користувачі, які пройшли навчання на тій чи іншій системі, зазвичай стають її прихильниками;

8) оцініть відповідність всіх систем обраним вами вимогам;

9) виберіть переможця – того постачальника, який запропонував систему, яка найкраще задовольняє ваші вимоги.

вашим вимогам.

2.6. Впровадження системи на підприємстві.

На цьому етапі знадобиться скласти план досягнення бажаного результату.

Навіть самий грамотний процес вибору виявиться абсолютно марним, якщо використання обраної системи не буде проведено належним чином.

Важливими умовами для успішного впровадження є правильний підбір персоналу, надання необхідного часу та виділення необхідних коштів.

Можна запропонувати такі етапи застосування:

- 1) поділ процесу впровадження на кілька (три-чотири) добре керованих етапів, кожен з яких дасть цілком конкретну, що піддається виміру користь;
- 2) виділення необхідних ресурсів та засобів, що дозволяють довести кожен етап до кінця;
- 3) призначення керівників, які відповідають за кожний етап;
- 4) розробка плану робіт;
- 5) забезпечення необхідного навчання користувачів;
- 6) контроль процесу впровадження та оцінка результатів;
- 7) постійний контроль відповідності досягнутих результатів довгостроковим цілям;
- 8) контроль за «пробуксовуванням» та негайне виявлення їх причин;
- 9) коригування завдань у міру потреби.

На підставі вищесказаного можна говорити про наступні вимоги до сучасних CAD/CAM/CAE систем.

Список вимог, що рекомендується з точки зору управління підприємством:

- 1) вигоди від пропонованого комплексного рішення мають відповідати цілям бізнесу, а витрати на використання – бути економічно ефективними на кожному його етапі;
- 2) керівництво має бути впевненим, що співробітники підприємства зможуть у найближчий термін здійснити впровадження програмного рішення і що це рішення принесе бажані результати;
- 3) керівництво має бути впевнене, що у підприємства вже є або можуть бути встановлені довгострокові відносини з розробником програмного забезпечення і що його регіональний представник може забезпечити якісну підтримку;

4) необхідна наявність кваліфікованих користувачів та консультантів, які зможуть сприяти підвищенню кваліфікації співробітників компанії;

5) система має успішно працювати, навіть якщо зміниться персонал;

6) система повинна мати певну гнучкість на випадок змін у діяльності компанії;

7) дані та проекти, розроблені за допомогою CAD/CAM/CAE-системи, повинні бути доступні та придатні для використання протягом багатьох років;

8) через те, що взаємини з розробником програмної системи будуються на довгостроковій основі, важливим критерієм вибору є його життєздатність, а також те, щоб його продукти займали лідируючі позиції на ринку, причому – не тільки сьогодні, а й завтра;

9) повинні бути виключно хороші відгуки про систему розробників спеціалізованого програмного забезпечення для напрямків бізнесу, аналогічних вашому.

Технічні вимоги.

1) Архітектура системи:

– система має бути масштабованою (тобто забезпечувати можливість нарощування функціоналу та розширення галузі впровадження без необхідності заміни самої системи). Таким чином, вона повинна відповідати як поточним потребам, так і бути проміжною ланкою забезпечення потреб компанії в майбутньому;

– повинна забезпечуватися асоціативність, щоб зміна геометрії деталі супроводжувалася оновленням усіх пов'язаних файлів та документів;

– система має бути надійною.

2) Створення та управління геометрією:

– повинна бути забезпечена можливість створення та модифікації будь-якої необхідної геометрії;

– геометрія повинна містити всю потрібну для виробництва інформацію (форма, розміри, їх точність, чистота поверхонь та ін. Технічні вимоги);

– першорядне значення мають продуктивність, простота використання та надійність інструментів створення та управління геометрією.

3) Створення та управління збірками. Навіть найбільші з необхідних у роботі підприємства збірок повинні створюватися і переглядатися легко і з достатньою продуктивністю. До найважливіших властивостей системи в цьому випадку належать:

- простота розміщення деталей у складальній моделі;
- перевірка перетину деталей;
- можливість створення полегшених збірок, заміна підзбірок спрощеними моделями, що відображають лише їх зовнішню форму;
- можливість використання різних методів управління конфігураціями збірок;
- забезпечення одночасної роботи кількох конструкторів над різними деталями, що входять до збирання;
- зручне створення та підтримка специфікацій.

4) Створення та підтримка креслень:

- креслення повинні бути повністю асоціативними – повинна забезпечуватись можливість простого їх створення, так само як і підтримки їх актуальності на основі 3D-моделі;
- оформлення креслень має відповідати стандартам;
- креслення повинні містити повні та детальні анотації (основний напис, додаткові графи та технічні вимоги) та допускати внесення позначок.

5) Проектування оснастки та виробництво деталей:

- повинна бути забезпечена можливість проектування всього необхідного оснащення (у тому числі – проектування та аналіз роботи прес-форм та штампів послідовної дії, якщо вони застосовуються);
- повинна існувати можливість створення УП для фрезерної та токарної обробки на верстатах з ЧПУ;
- формування УП має бути автоматизовано, наскільки це можливо;

– повинна бути забезпечена можливість порівняння результатів обробки та 3D-моделі;

б) Інженерні розрахунки та моделювання процесів:

– повинні існувати засоби для проведення інженерного аналізу 3D-моделі методом кінцевих елементів;

– у процесі попередньої обробки даних має бути забезпечена можливість автоматичної генерації сітки;

– повинен забезпечуватися простий та зрозумілий аналіз (і інтерпретація) результатів розрахунку.

7) Додатки сторонніх виробників. Для задоволення різних потреб користувачів система повинна містити широкий набір власних додатків або добре інтегрованих додатків, розроблених сторонніми виробниками, при цьому:

– додатки, що цікавлять користувачів, повинні без проблем інтегруватися в систему;

– в ідеалі підтримка сторонніх додатків має виходити від розробника системи;

– розробник системи повинен дотримуватися підходу, що забезпечує її відкритість для сторонніх додатків, які можуть бути додані до системи.

8) Комунікабельність та готовність до спільної роботи:

– система повинна підтримувати всі необхідні промислові стандарти – як для трансляції створених у ній даних до інших;

– формати, так і для читання даних, створених в інших системах;

– система повинна підтримувати Web-перегляд моделей виробу та їх синхронізацію (тобто забезпечувати роботу проектувальників з останньою версією моделі деталі);

– система має підтримувати паралельне проектування, засноване на новітніх технологіях.

9) Управління даними про виріб (PDM):

– PDM-система повинна легко встановлюватися та налаштовуватися, розширюючи можливості системи проектування шляхом покращення контролю над файлами;

– PDM-система повинна підтримувати здачу та вибір даних з архіву, а також контроль за їх зміною;

– PDM-система повинна забезпечувати застосування стандартних та визначених користувачами атрибутів пошуку та зберігання даних, не пов'язаних з геометрією моделі;

– PDM-система повинна підтримувати відносини між усіма файлами CAD/CAM/CAE-системи;

– PDM-система повинна підтримувати зберігання та звернення до даних, не пов'язаних з CAD-геометрією.

10) Графічне відображення моделей та проблеми апаратного забезпечення:

– повинна бути забезпечена можливість зручної візуалізації з чудовою якістю та продуктивністю для будь-яких 3D-моделей;

– при візуалізації повинні використовуватися всі апаратні можливості.

11) Інтерфейс користувача:

– інтерфейс має бути інтуїтивно зрозумілим, простим у освоєнні та легким для запам'ятовування;

– необхідна можливість налаштування інтерфейсу користувачем;

– повинні існувати хороша документація та засоби навчання.

12) Підтримка з боку розробника:

– розробник системи повинен забезпечувати якісну підтримку свого програмного забезпечення, виправлення помилок і вирішення проблем, що виникають, а також консультації з питань, що стосуються використання його продукту;

– розробник має бути чуйним, оперативно реагувати на запитання користувача та враховувати його пропозиції.

13) Навколишнє розробника середовище:

- дохід розробника системи та показники його зростання повинні забезпечувати йому лідируючі позиції на ринку;
- в Інтернеті мають бути доступні сайти з позитивними відгуками про роботу системи, рівень та якість підтримки;
- розробник системи повинен проводити регулярні, які мають успіх у користувачів конференції та семінари.

2023

-62

3. АНАЛІЗ САПР SOLIDWORKS

3.1. Загальні відомості про САПР SOLIDWORKS

Рішення SOLIDWORKS 3D CAD призначене для інженерів-конструкторів, інженерів-технологів та промислових дизайнерів. Воно допомагає проектувати інноваційні промислові вироби, проводити їх віртуальні випробування, виконувати підготовку до виробництва, управляти інженерними даними та взаємодіяти протягом усього робочого процесу. Всі продукти сімейства SOLIDWORKS працюють у тому ж середовищі, що й SOLIDWORKS 3D CAD, і повністю інтегровані із цим продуктом. Це означає, що всі фахівці працюють з тими самими даними; будь-яка зміна автоматично відображається у всіх програмах.

SOLIDWORKS дуже зручний у роботі. Користувачі швидко опановують його і практично відразу досягають високої продуктивності. Продукт має широку функціональність і добре зарекомендував себе у справі. З його допомогою можна проектувати вироби будь-якої складності та будь-якого розміру.

У SOLIDWORKS вже понад 5,6 млн користувачів у різних країнах світу. Його застосовують для проектування та виробництва продукції у всіх галузях промисловості, Активно здійснюється підтримка користувачів, тому вони завжди впевнені, що отримають потрібну їм довідкову інформацію, коли в ній виникне потреба.

Рішення SOLIDWORKS 3D CAD – основа всього комплексу SOLIDWORKS. Воно охоплює процеси проектування, віртуальних випробувань, розрахунку собівартості, перевірки технологічності, підготовки програм для ЧПУ, взаємодії фахівців та управління даними.

SOLIDWORKS 3D CAD нескладний в освоєнні і має багату функціональність, яка допомагає прискорити цикл розробки продукції, знизити витрати і забезпечити високу якість.

- Проектні та виробничі підрозділи працюють паралельно в одній і тій самій інтегрованій системі.
- Зміни можна вносити на будь-якій стадії, і вони відразу стають доступними всім учасникам процесу.
- 3D-моделі та 2D-креслення деталей та виробів будь-якої складності створюються швидко та з високою точністю.
- Ефективність забезпечується завдяки спеціалізованим функціям для роботи з отворами, елементами кріплення, деталями з листового матеріалу, лицьовими формами, литими (у тому числі пластмасовими) деталями, зварними швами, поверхнями, сітчастими моделями, трубопроводами та електричними кабелями, а також можливостям зворотного проектування.
- Специфікації, необхідні для виготовлення виробів, формуються одним клацанням миші.
- Автоматична перевірка на перетин та функції віртуального тестування з вбудованими можливостями кінематичного аналізу та розрахунку напруг допомагають проектувати без помилок.
- Інструменти автоматичного розрахунку собівартості та перевірки технологічності дозволяють вибрати фактори, на які слід орієнтуватися під час проектування.
- Завдяки гнучкому вибору стратегій обробки автоматизується написання програм для верстатів з ЧПУ.
- З файлами більшості 3D-систем можна працювати в їхньому вихідному форматі; Існує також можливість автоматичного перетворення таких файлів у формат SOLIDWORKS.
- Для ефективною демонстрації ідей є функції створення, публікації та перегляду фотореалістичних зображень та відеороликів.
- Засоби управління інженерними даними допомагають організувати взаємодію учасників проекту та контролювати версії файлів.

3.2. Переваги та недоліки САПР SOLIDWORKS

- Оптимізація всього процесу випуску продукції – від проектування до виробництва.
- Зведення до мінімуму необхідності в переробках, дублювання роботи та помилок, пов'язаних із перетворенням даних.
- Значне скорочення витрат на підтримку систем проектування та виробництва завдяки впровадженню єдиного інтегрованого наскрізного рішення. • Швидке освоєння користувачами завдяки зручно скомпонованій довідковій системі, навчальним посібникам, технічній підтримці та можливостям навчання.
- Безпосередня робота з даними у форматах найпопулярніших 3D-систем.
- Автоматичне оновлення документації та специфікацій під час змін у проекті.
- Оптимізація проектів за різними критеріями за допомогою інструментів контролю за собівартістю та перевірки на технологічність.
- Прискорення формування 2D-креслень, а в перспективі — перехід на безчертежний процес.
- Підготовка керуючих програм для обробки на верстатах з ЧПУ у SOLIDWORKS CAM (на основі технології CAMWorks).

Поряд з перевагами, SOLIDWORKS не позбавлений і недоліків, серед яких:

- пакет бібліотек матеріалів орієнтований на американський та європейський ринки і мало адаптований до ринку України;
- бібліотека Toolbox значно поступається за наповненням конкурентам SOLIDWORKS;
- недостатня розвинутість або повна відсутність модулів для автоматичного проектування таких типових деталей як пружини, зубчасті колеса, а також різних з'єднань;
- проблеми з оформленням конструкторської документації відповідно до ДСТУ чи ГОСТ (шрифт, автозаповнення таблиці основного напису,

штрихування матеріалів у розрізах та перерізах, нанесення розмірів, оформлення специфікації тощо).

Недоліки з оформленням документації у SOLIDWORKS не перекривають його позитивні сторони, але значно збільшують затрати часу на оформлення.

3.3. Аналіз можливостей САПР SOLIDWORKS

3.3.1. SOLIDWORKS Standard

SOLIDWORKS Standard — система, що швидко освоюється користувачами, з безліччю функцій, затребуваних фахівцями проектних і виробничих підрозділів.

- Безпосередній обмін даними з постачальниками та замовниками, які також працюють у SOLIDWORKS.
- Виключення потреби в перетвореннях даних, які забирають час і призводять до помилок.
- Робота з найскладнішими деталями та великими виробами. • Автоматизоване створення видів на 20-кресленнях, вставка специфікацій та всі необхідні функції для деталізації креслень.
- Автоматична перевірка на перетин та розходження перед передачею виробів у виробництво.
- Автоматизація формування моделі та креслень завдяки вбудованим засобам конфігурації.
- Інструменти рендерингу та анімації для підготовки зображень та відеороликів, що ілюструють експлуатацію виробів.
- Модуль SOLIDWORKS 3D Interconnect для безпосередньої роботи з даними, підготовленими поза SOLIDWORKS CAD без необхідності їх перетворення.
- Економія часу та виключення потенційних переробок проектів завдяки контролю технологічності та перевірці на перетини.

- Створення (в SOLIDWORKS з підпискою - автоматичне) керуючих програм для верстатів з ЧПУ за допомогою функцій CAM, що базуються на технології CAMWorks; інтелектуальна база правил опрацювання.
- Експорт моделей SOLIDWORKS CAD для використання у додатках доповненої реальності (AR) та віртуальної реальності (VR).

3.3.2. SOLIDWORKS Professional

SOLIDWORKS Professional містить усі функціональні можливості SOLIDWORKS Standard, а також інструменти, які допомагають проектувати вироби ще швидше. SOLIDWORKS Professional – це:

- Засоби керування файлами.
- Поліпшена фотореалістична візуалізація у SOLIDWORKS Visualize.
- Автоматизований розрахунок собівартості виробництва.
- Можливості eDrawings' Professional для взаємодії спеціалістів.
- Інструменти зворотного проектування.
- Автоматизоване виконання перевірок у моделі та кресленнях.
- Автоматичне планування завдань та пакетна обробка.
- Аналіз допусків.
- Інструменти для взаємодії між розробниками механічних та електричних систем виробу.
- Велика бібліотека компонентів та деталей.

3.3.3. SOLIDWORKS Premium

SOLIDWORKS Premium містить усі функціональні можливості SOLIDWORKS Professional, а також інструменти для трасування трубопровідних та кабельних мереж, віртуальних випробувань та отримання розгорток поверхонь:

- Кінематичний аналіз.
- Розрахунок несучих конструкцій.
- Оцінка впливу на довкілля у SOLIDWORKS Sustainability.

- Трасування трубопроводів та гнучких шлангів.
- Трасування електричних проводів та кабельних джгутів.
- Трасування повітряних каналів.
- Передові можливості створення розгорток поверхонь [16, 20, 21].

3.4. Результати порівняльного аналізу можливостей різних редакцій SOLIDWORKS

В залежності від використовуваної редакції SOLIDWORKS доступним є різний функціонал під час використання цієї САПР. Порівняльний аналіз можливостей подано в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльний аналіз можливостей різних редакцій SOLIDWORKS.

Функціональні можливості	SOLIDWORKS PREMIUM	SOLIDWORKS PROFESSIONAL	SOLIDWORKS STANDARD
Простота використання <ul style="list-style-type: none"> • Інтерфейс: контекстне меню та панель інструментів, команди пошуку, вбудовані матеріали для навчання, довідка та документація • Швидка робота: гарячі клавіші, команди, що настроюються, API-додатки • Якісна технічна підтримка 	✓	✓	✓
Моделювання деталей та складання <ul style="list-style-type: none"> • 3D моделювання • Концептуальне проектування • Планування структури складання • Редагування геометрії моделі безпосередньо в самій складання • Проектування великих складання • Розширені можливості проектування поверхні • Проектування листового металу • Зварні деталі • Проектування пластикових деталей • Проектування прес-форм 	✓	✓	✓
2D-креслення <ul style="list-style-type: none"> • Автоматичне створення видів на кресленні • Автоматичне оновлення видів на кресленні • Підтримка стандартів: ГОСТ, ANSI, DIN та ін. Таблиці отворів, зварних швів, вигину труб 	✓	✓	✓

• Примітки до вигинів листового металу			
Повторне використання та автоматизація проектування			
<ul style="list-style-type: none"> • Інтерактивний пошук • Автоматизація проектування • Конфігурації деталей та складання • Повторне використання 2D/3D даних • 3D-моделі від постачальників 	✓	✓	✓
Анімація та візуалізація			
<ul style="list-style-type: none"> • Переміщення збирання шляхом перетягування компонентів • Анімація руху збирання з двигунами • Створення відео • Рендеринг CAD-проекту (RealView) 	✓	✓	✓
Перевірка збірок та деталей			
<ul style="list-style-type: none"> • Виявлення зіткнень елементів або перешкод під час проектування • Вирівнювання отворів та перевірка різьбових з'єднань 	✓	✓	✓
Розширений імпорт CAD-файлів			
<ul style="list-style-type: none"> • Інтерактивна та автоматична функція розпізнавання та перетворення більшості існуючих форматів CAD 	✓	✓	✓
Спільне використання та обмін CAD-даними:			
<ul style="list-style-type: none"> • 3D-інтерфейс для асоціативного імпорту 3D-моделей • Читання даних друкованої плати у вигляді 3D-деталі • Імпорт/Експорт файлів у понад 30 CAD форматах • Друк безпосередньо на 3D-принтери • Підготовка та експорт у програми AEC • Інтеграція моделі CAD/CAM моделі з партнерами CAM • Перегляд файлів eDrawings® • Підтримка DXF®/DWG® • Інструменти перетворення проектів з 2D на 3D • Перетворення 3D деталей у листовий метал • Захист інтелектуальної власності 	✓	✓	✓
Основні інструменти для аналізу			
<ul style="list-style-type: none"> • Аналіз впливу на навколишнє середовище • Структурний аналіз деталей збирання • Базовий інструмент гідродинамічного аналізу 	✓	✓	✓
Основні інструменти для аналізу			
<ul style="list-style-type: none"> • Аналіз впливу на навколишнє середовище • Структурний аналіз деталей збирання • Базовий інструмент гідродинамічного аналізу 	✓	✓	✓
Проектування для виробництва			
<ul style="list-style-type: none"> • Аналіз товщини • Перевірка геометрії для САМ • Порівняння деталей та креслень • Перевірка працездатності на основі правил • Перевірка листового металу 	✓	✓	✓
Бібліотека Toolbox			
<ul style="list-style-type: none"> • Більше мільйона стандартних кріплень та компонентів • Майстер проектування балок, підшипників • Автоматичне складання кріпильних виробів та комплектуючих 	✓	✓	
Автоматичне планування завдань	✓	✓	
Оцінка вартості виробництва			
<ul style="list-style-type: none"> • Оцінки вартості в онлайн режимі: 	✓	✓	

<ul style="list-style-type: none"> • Порівняння виробничих витрат • Автоматизована оцінка вартості виробництва • Параметри виробництва, що настраюються • Звіт вартості проекту 			
Спільна робота ECAD/MCAD(CircuitWorks) <ul style="list-style-type: none"> • Імпорт/експорт друкованих плат (PCB) • Автоматичне складання електричних компонентів • Двосторонній обмін даними: ECAD-MCAD / MCAD-ECAD • IDF, ProStep (IDX) або PADS (*.ASC) • PCB-контури, трасування • Порівняння конструкцій плат на відмінності • Нотатки для змін під час проектування 	✓	✓	
Розширений фотореалістичний рендеринг (PhotoView 360) <ul style="list-style-type: none"> • Фото якість зображень та анімації • Керування видом камери, освітленням, матеріалом, текстурою 	✓	✓	
Перевірка дотримання CAD-стандартів <ul style="list-style-type: none"> • Перевірка проекту відповідно до стандартів компанії • Автоматичне виправлення невідповідностей • Налаштування правил для перевірки стандартів проектування 	✓	✓	
Автоматичний аналіз допусків (TolAnalyst) <ul style="list-style-type: none"> • Визначення максимально допустимих допусків • Автоматичне оновлення допусків при зміні конструкцій 	✓	✓	
Керування файлами SOLIDWORKS (PDM Standard) <ul style="list-style-type: none"> • Права доступу для користувачів та груп • Сховище файлів • Безпечне реєстрування та зняття реєстрації проектів • Автоматизований контроль версій 	✓	✓	
Зворотній Інжиніринг (ScanTo3D) <ul style="list-style-type: none"> • Імпорт, редагування, оцінка та створення стереометрії з хмари точок та сітки даних • Імпорт файлів Adobe Illustrator® • Імпорт файлів зображень та перетворення растрових даних у векторні 	✓	✓	
eDrawings® Professional <ul style="list-style-type: none"> • Створення та публікація файлів eDrawings • Можливість вимірювати в eDrawings-файлах • Можливість робити нотатки в eDrawings-файлах • Можливість перегляду кількох конфігурацій проектів в eDrawings-файлах • Перегляд анімації збірки • Пароль захищає інтелектуальну власність 	✓		
Аналіз руху (SOLIDWORKS Motion) <ul style="list-style-type: none"> • Кінематичний та динамічний аналіз • Можливість аналізу: сили, пружин, демпферів, гравітації, контактів • Результуючий аналіз: переміщення, швидкості, прискорення, навантаження • Перегляд/публікація анімації, графіків, звітів 	✓		
Структурний аналіз деталей та складання <ul style="list-style-type: none"> • Результуючий аналіз: коефіцієнт безпеки, напруження, переміщення, деформації 	✓		

• Перегляд/публікація анімації, графіків, звітів			
Оцінка життєвого циклу (LCA) та впливу на довкілля (SOLIDWORKS Sustainability)	✓		
Прокладання трубопроводу (Routing) <ul style="list-style-type: none"> • Створення деталізованих трубопровідних систем • Створення гнучких або жорстких трубних ліній • Настроювана бібліотека компонентів трубопроводу • Автоматична збірка підвісок та опор • Вихідні дані згинів труб • Автоматизоване обчислення довжини розрізу для формування специфікацій • Автоматична маршрутизація • Перевірка мінімального труб • Експорт файлів *.PCF для використання в ISOGEN 	✓		
Маршрутизація електричних кабелів та джгутів (Electrical Routing) <ul style="list-style-type: none"> • Створення деталізованої маршрутизації електричних кабелів, джгутів та плоских кабелів • Кабелепроводи • Автоматичне обчислення довжини проводів • Автоматичне згинання джгута проводів • Специфікації та таблиці проводів • Автоматична маршрутизація з використанням даних «In/Out» • для монтажу, з'єднання, Роз'єми, ізоляція, термозбіжні трубки, кабельні стяжки 	✓		
Маршрутизація прямокутних чи інших форм	✓		
Зниження вартості витрат на виробництво	✓		

4. ВПРОВАДЖЕННЯ *SOLIDWORKS* У ВИРОБНИЧИЙ ПРОЦЕС МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА

4.1. Вибір постачальника послуг *SOLIDWORKS* в Україні

Одним з етапів впровадження САПР *SOLIDWORKS* у виробничий процес будь-якого підприємства, в т.ч. і машинобудівного, необхідно визначити офіційного постачальника послуг *SOLIDWORKS* в Україні.

Офіційним дистриб'ютором рішень *SOLIDWORKS* на території України, зокрема: 3D конструкторських рішень, 3D електронних моделей і цифрових рішень з управління життєвим циклом продукту (PLM), а також інноваційних рішень в галузі промисловості, включаючи платформу 3DEXPERIENCE і *SOLIDWORKS* – програмний комплекс для автоматизації робіт промислового підприємства на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва є Товариство з обмеженою відповідальністю «СОФТІКО», рис. 4.1.



Рисунок 4.1 – Адреси офіційного дистриб'ютора *SOLIDWORKS* в Україні та постачальників програмного забезпечення

Постачальником інженерного програмного забезпечення в сфері автоматизації проектної та виробничої діяльності в Україні є компанія

«Інформаційні технології САПР», яка має три офіси в Україні – у Києві, Харкові та Дніпрі (рис. 4.2). У портфелі даної компанії – десятки рішень від світових лідерів, на базі яких реалізуються комплексні проекти у машинобудуванні, приладобудуванні, атомній, нафтогазовій і хімічній промисловості, металургії, промислово-цивільному будівництві та інших галузях.



Рисунок 4.2 – Розташування офісів компанії «ІТ САПР»

Наступним етапом після вибору постачальника послуг є підписання договору між підприємством та постачальником, відповідно до якого підприємство сплачує вартість ліцензії та стає ліцензованим користувачем програмного забезпечення.

4.2. Вибір ліцензії

Програма ліцензування користувачів дає змогу придбати різні види ліцензій, а також різних стратегій ліцензування.

4.2.1. Види ліцензій

Постачальник послуг надає такі види ліцензій:

- локальні;
- мережеві;
- онлайн.

Локальна ліцензія дає право на використання продукту на одному комп'ютері, на якому було активовано ліцензію. Переваги такої ліцензії є простота встановлення програмного забезпечення та нижча вартість. Суттєвий недолік – можливість використання лише на одному комп'ютері.

Мережева ліцензія дає право на використання продуктів на будь-якому комп'ютері локальної мережі, однак запущено одночасно може бути максимум стільки копій, скільки придбано. Перевагою є зниження середньої вартості робочого місця за рахунок використання 1 ліцензії на кількох робочих місцях. Недолік – накладає додаткові вимоги на мережеву інфраструктуру та кваліфікацію під час встановлення, а також необхідність придбання Network Installation Fee.

Онлайн-ліцензія дає право на використання продуктів на будь-якому комп'ютері за наявності його підключення до Інтернету та наявної в обліковому записі відповідної ліцензії. Перевага – можливість запускати продукт на будь-якому комп'ютері у всьому світі за наявності підключення до Інтернету. Недолік – накладає додаткові вимоги до наявності та якості з'єднання з глобальною мережею Інтернет.

4.2.2. Стратегії ліцензування

Для підприємств можливим є придбання постійних чи тимчасових ліцензій з передплатою та без передплати за різними стратегіями (рис. 4.3):

- стратегія 1: придбання постійних ліцензій без передплати і поновлення один раз у два роки;
- стратегія 2: придбання постійної ліцензії зі щорічною передплатою;
- стратегія 3: щорічна оплата тимчасової ліцензії.



Рисунок 4.3 – Порівняння різних стратегій ліцензування

Тимчасові ліцензії мають найнижчий поріг початкових інвестицій, проте стратегія найефективніша лише експлуатації продукту до 2-х років. При періоді експлуатації від 2 до 5 років ця стратегія може використовуватися як одна із стратегій рівномірного фінансування у часі. Якщо горизонт використання перевищує 5 років – ця модель неефективна.

У довгостроковій перспективі є сенс порівнювати лише стратегії з постійною ліцензією – з передплатою та без.

Стратегія «без передплати» має низку переваг, а саме: економія 15%-20% на етапі початкової покупки; оплачуємо один раз («заплатив і забув»), і далі самі визначаємо необхідність купівлі та терміни переходу на нову версію. Однак, за такого вибору стратегії ліцензування виникає ціла низка недоліків: втрата функціональності; втрата у рівні сервісів; регулярні суттєві фінансові навантаження; при пропуску 3-4 версій та переході на нову потрібні значні інвестиції у перепідготовку кадрів.

Стратегія «з передплатою» дає ряд переваг, а саме:

- право на безкоштовне отримання як пакетів виправлень, так і нових версій SOLIDWORKS;
- безкоштовне програмне забезпечення;

- доступ до порталу клієнтів: база знань, співтовариство, можливість подання заявок на розвиток функціоналу тощо;
- технічна підтримка;
- доступ до освітнього порталу MySolidWorks;
- безкоштовні ваучери на складання сертифікаційних тестів (один CSWA або CSWP та один CSWPA);
- рівномірне та передбачуване фінансове навантаження.

При трохи більших первинних витратах, дана стратегія надалі дає рівномірне і невелике навантаження на бюджет підприємства, і при цьому надає цілу низку суттєвих переваг (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Додаткові можливості для власників діючої передплати (Service Initial або Service Renewal).

Функціональні можливості	SOLIDWORKS PREMIUM	SOLIDWORKS PROFESSIONAL	SOLIDWORKS STANDARD
Безкоштовне отримання всіх пакетів виправлень та доповнень до продукту, у тому числі абсолютно нові версії	✓	✓	✓
Право на отримання технічної підтримки	✓	✓	✓
Доступ до Порталу клієнтів, де розміщено, зокрема, базу знань з SOLIDWORKS та форум користувачів	✓	✓	✓
Доступ до Освітнього порталу MySolidWorks	✓	✓	✓
Безкоштовні ваучери на складання сертифікаційних тестів по SOLIDWORKS	✓	✓	✓
Можливість подавати заявки на розвиток функціоналу безпосередньо розробникам системи	✓	✓	✓
10 годин доступу до Live Parts by Desktop Metal та спеціальний тариф на оплату доступу до рішення надалі	✓	✓	✓
Безкоштовна ліцензія на SOLIDWORKS CAM Standard	✓	✓	✓
Безкоштовна ліцензія на 3DXpert for SOLIDWORKS Standard	✓	✓	✓
Безкоштовна ліцензія на SolidWorks Visualize Standard	✓	✓	

Приблизну вартість ліцензій станом на 2023 рік подано в табл. 4.3.

Таблиця 4.2 – Вартість ліцензій SOLIDWORKS

Редакція SOLIDWORKS	Ціна, грн		
	Постійна ліцензія з тимчасовою передплатою	Постійна ліцензія з передплатою	Річна ліцензія
SOLIDWORKS Standard with Cloud Services	175000	240000	140000
SOLIDWORKS Professional with Cloud Services	200000	300000	160000
SOLIDWORKS Premium with Cloud Services	263000	400000	210000

4.3. Сертифікація кадрів

Кожен керівник машинобудівного підприємства зацікавлений у тому, щоб його співробітники володіли інструментом автоматизованого проектування на максимальному рівні, забезпечуючи швидку віддачу від вкладених в придбання системи коштів, а фахівцям необхідно мати можливість об'єктивно оцінювати та безперервно підвищувати свій рівень знань. Передплата програмного продукту дає доступ до великої кількості навчальних матеріалів та сертифікаційних іспитів за різними рівнями володіння продуктом.

Після успішного проходження сертифікації фахівець має змогу завалідувати свій сертифікат на сайті центру сертифікації SOLIDWORKS та роздрукувати його. За ID-номером або за QR-кодом кожен охочий може перевірити сертифікат. Для підприємств, які матимуть сертифікованих працівників, це може бути конкурентною перевагою на ринку.

4.3.1. Проектування та конструювання

Проектування механічних систем (CSWE-Mechanical Design).

Certified SOLIDWORKS Expert — це користувач, який легко демонструє вміння використовувати розширені функції та можливості для вирішення складних завдань моделювання.

Проектування механічних систем (CSWP-Mechanical Design)

Certified SOLIDWORKS Professional - це користувач, який успішно склав поглиблений іспит з перевірки навичок.

Проектування на основі моделей (CSWP-MBD)

Пройходження іспиту Certified SOLIDWORKS Professional Model-Based Design (CSWP-MBD) означає, що ви успішно продемонстрували навички використання функцій та інструментів проектування на основі моделей SOLIDWORKS.

API (CSWP-API)

Пройходження іспиту Certified SOLIDWORKS Professional API (CSWP-API) означає, що ви успішно продемонстрували вміння автоматизувати роботу в SOLIDWORKS за допомогою засобів програмування VBA.

Листовий метал (CSWPA-SM)

Пройходження іспиту Certified SOLIDWORKS Advanced Professional Sheet Metal (CSWPA-SM) означає, що ви успішно продемонстрували навички використання інструментів SOLIDWORKS для роботи з листовим металом.

Зварні деталі (CSWPA-WD)

Пройходження іспиту Certified SOLIDWORKS Advanced Professional Weldments (CSWPA-WD) підтверджує, що ви успішно продемонстрували навички використання інструментів SOLIDWORKS для роботи зі зварними елементами.

Поверхні (CSWPA-SU)

Пройходження іспиту Certified SOLIDWORKS Advanced Professional Surfacing (CSWPA-SU) означає, що ви успішно продемонстрували навички використання додаткових інструментів SOLIDWORKS для моделювання поверхонь.

Інструменти креслення (CSWPA-DT)

Пройходження іспиту Certified SOLIDWORKS Advanced Professional Drawing Tools (CSWPA-DT) підтверджує, що ви успішно продемонстрували

навички використання інструментів, представлених у середовищі створення креслень SOLIDWORKS.

Створення ливарних форм (CSWPA-MM)

Проходження іспиту Certified SOLIDWORKS Advanced Professional Mold Making (CSWPA-MM) означає, що ви успішно продемонстрували навички використання функцій та інструментів SOLIDWORKS для проектування ливарних форм та спеціальних знань у цій галузі.

Проектування механічних систем (CSWA-Mechanical Design)

Сертифікат Certified SOLIDWORKS Associate (CSWA) дозволить вам вигідно виділитися на фоні інших кандидатів в умовах високої конкуренції на ринку праці.

Електроустаткування (CSWA-Electrical)

Сертифікат SOLIDWORKS Associate Electrical (CSWA-E) підтверджує розуміння принципів роботи з SOLIDWORKS Electrical та принципів проектування електроустаткування.

3DEXPERIENCE SOLIDWORKS Associate

Проходження іспиту 3DEXPERIENCE SOLIDWORKS Associate означає, що учень має базові знання функцій моделювання механічних конструкцій, а також інструментів спільної роботи та управління даними на платформі 3DEXPERIENCE.

3DEXPERIENCE-3D Creator Professional

Проходження іспиту 3DEXPERIENCE-3D Creator означає, що ви успішно продемонстрували знання ролі 3D Creator, доступної на платформі 3DEXPERIENCE.

3DEXPERIENCE-3D Sculptor Professional

Проходження іспиту 3DEXPERIENCE-3D Sculptor Professional означає, що ви успішно продемонстрували знання ролі 3D Sculptor, доступної на платформі 3DEXPERIENCE.

3DEXPERIENCE-3D Sculptor

Пройдення іспиту 3DEXPERIENCE-3D Sculptor означає, що ви успішно продемонстрували знання ролі 3D Sculptor, доступної на платформі 3DEXPERIENCE.

3DEXPERIENCE-3D Structure Creator

Пройдення іспиту 3DEXPERIENCE-3D Structure Creator означає, що ви успішно продемонстрували знання ролі 3D Structure Creator, доступної на платформі 3DEXPERIENCE.

3DEXPERIENCE-3D SheetMetal Creator

Пройдення іспиту 3DEXPERIENCE-3D SheetMetal Creator означає, що ви успішно продемонстрували базові знання щодо ролі для проектування виробів із листового металу у браузері.

3DEXPERIENCE-3D Mold Creator

Пройдення іспиту 3DEXPERIENCE 3D Mold Creator означає, що ви успішно продемонстрували знання ролі 3D Mold Creator, доступної на платформі 3DEXPERIENCE.

4.3.2. Управління/спільна робота

PDM Administrator Professional (CPAP)

Certified PDM Administrator Professional (CPAP) – це фахівець, який успішно склав поглиблений іспит з навичок адміністрування SOLIDWORKS PDM Professional і готовий до управління впровадженням SOLIDWORKS PDM Professional за дорученням своєї компанії.

3DEXPERIENCE-Collaborative Business Innovator

Пройдення іспиту 3DEXPERIENCE-Collaborative Business Innovator означає, що ви успішно продемонстрували знання ролі Collaborative Business Innovator, доступної на платформі 3DEXPERIENCE.

3DEXPERIENCE-Collaborative Designer for SOLIDWORKS

Пройдення іспиту 3DEXPERIENCE-Collaborative Designer for SOLIDWORKS означає, що ви успішно продемонстрували знання ролі

Collaborative Designer for SOLIDWORKS, доступної на платформі 3DEXPERIENCE.

3DEXPERIENCE - Lean Team Player for Team Animation

Проходження іспиту 3DEXPERIENCE – Works Lean Team Player для Team Animation означає, що ви успішно продемонстрували знання ролі Lean Team Player, доступної на платформі 3DEXPERIENCE.

3DEXPERIENCE-Collaborative Industry Innovator

Проходження іспиту 3DEXPERIENCE - Collaborative Industry Innovator означає, що ви успішно продемонстрували знання ролі Collaborative Industry Innovator, доступної на платформі 3DEXPERIENCE.

4.3.3. Виготовлення та виробництво

CAM (CSWP-CAM)

Проходження іспиту Certified SOLIDWORKS Professional CAM (CSWP–CAM) означає, що ви успішно продемонстрували навички роботи з функціями та інструментами АСУТП SOLIDWORKS.

Адитивне виробництво (CSWA-Additive Manufacturing)

Сертифікат Certified Additive Manufacturing Associate показує, що людина має базові знання сучасного ринку 3D-друку.

4.3.4. Імітаційне моделювання

CSWE-Simulation

Сертифікація Certified SOLIDWORKS Expert Simulation (CSWE–S) підтверджує володіння всіма інструментами аналізу, представленими у SOLIDWORKS Simulation Premium. Цей сертифікат підтверджує вміння використовувати сучасні інструменти аналізу механічної напруги, контактів, температури, частоти, а також нелінійних та динамічних процесів.

CSWP-Simulation

Іспит Certified SOLIDWORKS Professional Simulation (CSWP–Simulation) служить для перевірки знання інструментів імітаційного

моделювання SOLIDWORKS Simulation та принципів імітаційного моделювання загалом.

Flow Simulation (CSWP-Flow)

Іспит Certified SOLIDWORKS Professional Flow Simulation (CSWP–Flow) служить для перевірки знання інструментів SOLIDWORKS для імітаційного моделювання потоків рідин та газів, внутрішніх та зовнішніх потоків, змішування речовин та сполученого перенесення тепла.

CSWA-Simulation

Сертифікат Certified SOLIDWORKS Associate Simulation (CSWA-Simulation) показує, що користувач має базові знання та розуміння основ аналізу напружень і методу скінченних елементів (МСЕ) [16, 20].

5. НАЛАШТУВАННЯ САПР SOLIDWORKS ПІД ВИМОГИ МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Поряд з організаційними заходами, пов'язаними з впровадженням САПР SOLIDWORKS у виробничий процес машинобудівного підприємства, існує ціла низка заходів, які вимагають технічного фахового підходу на інженерному рівні. Як уже зазначалося у попередніх розділах, система SOLIDWORKS, незважаючи на чисельні переваги, має також і суттєві недоліки, пов'язані з оформленням конструкторської документації, недостатньо розвиненим бібліотечним наповненням тощо. Ці недоліки можливо подолати, однак на це витрачається чимало часу, що у свою чергу негативно впливає на ефективність використання робочого часу інженера.

Тому з метою ефективного використання можливостей програми та приведення її у відповідність вимогам конкретного машинобудівного підприємства необхідно виконати цілу низку заходів з налаштування, а також створення типових часто використовуваних на підприємстві тривимірних елементів деталей, шаблонів файлів та креслеників.

5.1. Налаштування програми для підвищення автоматизації виконання конструкторських робіт

5.1.1. Створення панелі властивостей моделі

Під час створення тривимірних моделей деталей та складальних одиниць необхідно призначати файлам деталей та збірок властивості, до яких належать: назва деталі, позначення, матеріал, маса, відомості про автора та контролюючих осіб, назва установи тощо.

По замовчуванню в програмі SOLIDWORKS налаштування властивостей деталі відбувається у вікні властивостей файла (рис. 5.1).

Як бачимо, по замовчуванню це вікно порожнє і не містить жодних властивостей файла. Їх потрібно вносити самостійно під час виконання

тривимірної моделі кожної деталі. Це доволі трудомісткий процес, який вимагає значних затрат часу.

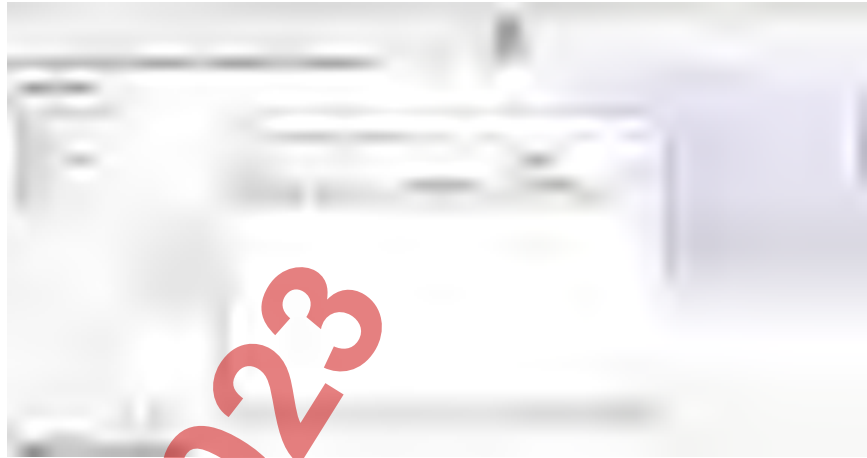


Рисунок 5.1 – Вікно налаштування властивостей файла

Одним із варіантів скорочення часу на заповнення властивостей є створення шаблону файла деталі з типовими налаштуваннями властивостей деталі чи збірки (рис. 5.2).



Рисунок 5.2 – Заповнене вікно властивостей деталі

Іншим, на нашу думку, ефективнішим способом заповнення властивостей деталі та збірки є використання утиліти Property Tab Builder, викликати діалогове вікно якої можна на панелі задач (рис. 5.3).

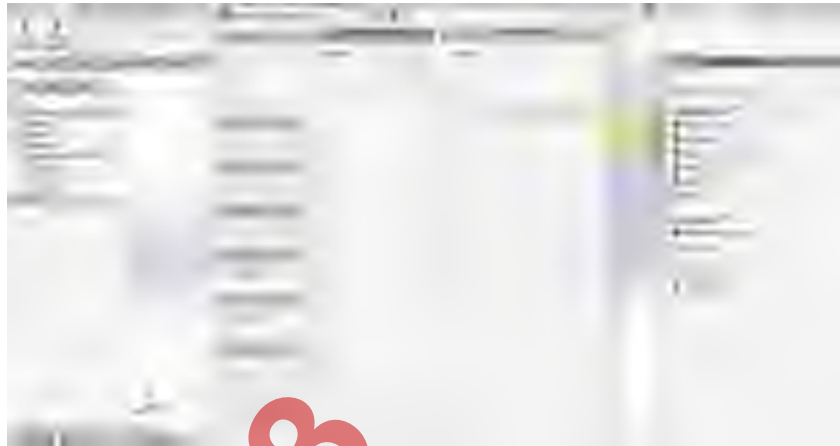


Рисунок 5.3 – Діалогове вікно конструктора Property Tab Builder

У лівій частині конструктора властивостей моделі розміщено набір інструментів для створення діалогового вікна користувача, яке дозволяє задавати такі групи вибору властивостей: текстове поле, список, число, кнопка вибору, радіокнопка, список груп. Середня частина – це візуальне відображення діалогового вікна властивостей. У правій частині користувач може редагувати атрибути параметрів моделі. Панель властивостей можна створювати як для окремих деталей, так і для збірок, креслеників та зварних конструкцій. Сформувавши потрібний набір властивостей моделі (рис. 5.4), потрібно зберегти файл у системну папку.



Рисунок 5.4 – Завершальний етап роботи у вікні конструктора Property Tab Builder

Таким чином, після створення діалогового вікна властивостей моделі воно буде доступним під час подальшої роботи користувача в середовищі SOLIDWORKS.

5.1.2. Створення шаблонів деталі, збірки та шаблонів креслеників

Для того, щоб усі властивості моделі коректно передавалися у файл кресленика, потрібно створити власні шаблони деталі та збірки та налаштувати їх відповідно до потреб користувача. Налаштування виконують за допомогою діалогового вікна Options, вкладка Document Properties (рис. 5.5).



Рисунок 5.5 – Діалогове вікно Options

Для оформлення креслеників розробниками SOLIDWORKS передбачено формати аркушів різних стандартів: ANSI, ISO, DIN, JIS, BSI, GB та ГОСТ. Однак, як бачимо з рис. 5.5, оформлення креслеників навіть за умови вибору стандарту ГОСТ також потребує втручання інженера для того, щоб оформити кресленик державною мовою та з автоматичним заповненням полів основного напису [3, 5-10].

Після розроблення власних шаблонів оформлення основного напису кресленика виконується державною мовою та відповідає вимогам ДСТУ (рис. 5.7).



Рисунок 5.6 – Оформлення таблиці основного напису стандартного шаблону кресленика

Отже, для коректного оформлення конструкторської документації в умовах підприємства необхідно додатково створити та налаштувати формати креслеників та оформлення таблиці основного напису таким чином, щоб таблиця основного напису автоматично заповнювалася програмою. А відповідні властивості моделі, які повинні вноситися в основний напис генерувалися з панелі властивостей моделі.



Рисунок 5.7 – Оформлення таблиці основного напису розробленого шаблону кресленика

Процедура налаштувань доволі трудомістка, однак при одноразовому створенні потрібного шаблону, його можна використовувати у різних моделях і в такому випадку немає потреби затрачати час на оформлення основного напису вручну.

Під час складання специфікації на складальну одиницю виникають труднощі, які полягають у повній невідповідності таблиці специфікації, яка пропонується програмою (рис. 5.8).



Рисунок 5.8 – Форма таблиці специфікації, яка передбачена в програмі

З метою приведення таблиці специфікації у відповідність до вимог ДСТУ виникає необхідність у додатковому розробленні інженером шаблону таблиці специфікації. Ця робота зводиться до створення формату А4 та розграфленні його згідно з розмірами, які вказані у стандарті та відповідно до структури специфікації. Збережений файл шаблону таблиці специфікації потрібно розташувати у системну папку програми SOLIDWORKS. Після виконання цих дій таблиця специфікації має вигляд, як показано на рис. 5.9.

Рисунок 5.9 – Специфікація складанної одиниці з використанням шаблону таблиці специфікації

Усі вищеперераховані заходи дозволяють суттєво полегшити роботу інженера та скоротити час на оформлення конструкторської документації.

5.2. Створення бібліотечних елементів у SOLIDWORKS для потреб підприємства

Одним з етапів впровадження САПР SOLIDWORKS у виробничий процес будь-якого підприємства, в т. ч. і машинобудівного, є створення власних бібліотечних елементів деталей чи інших елементів, які відсутні у стандартному наборі типових бібліотечних елементів SOLIDWORKS.

Створення бібліотеки елементів розглянемо на прикладі створення профілю бібліотечних елементів профілю труби квадратної. Загальна методика, яку пропонуємо в роботі, передбачає виконання таких кроків:

- створення контуру профілю труби;
- параметричне задання розмірів профілю на основі таблиці параметрів;
- збереження ескізу профілю як бібліотечного елемента SOLIDWORKS.

Форма та розміри профілю труб квадратних регламентується стандартом ДСТУ 8940:2019 «Труби сталеві профільні» (рис. 5.10) [4].

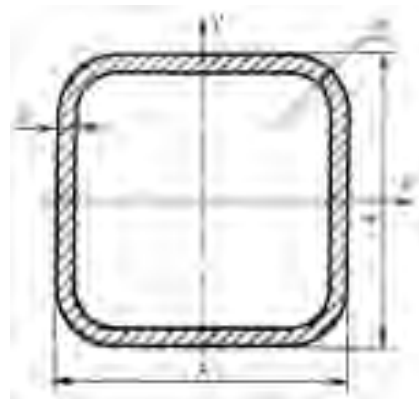


Рисунок 5.10 – Форма профілю та розміри квадратних труб відповідно до ДСТУ 8940:2019

На першому етапі необхідно створити ескіз профілю в середовищі моделі деталі (рис. 5.11).



Рисунок 5.11 – Ескіз профілю квадратної труби

Створимо ескіз, задавши розміри відповідно до одного з профілів квадратної труби. Підтвердимо ескіз та перейдемо до папки «Примітки» у дереві конструювання та увімкнемо відображення розмірів ескізу в робочій області програми (рис. 5.12).



Рисунок 5.12 – Увімкнення відображення розмірів

Увімкнемо відображення найменування розмірів, перейшовши в меню View – Hide/Show – Dimension Names (рис. 5.13) та перейменуємо їх відповідно до позначень розмірів профілю труби в ДСТУ (рис. 5.14).



Рисунок 5.13 – Увімкнення відображення найменування розмірів

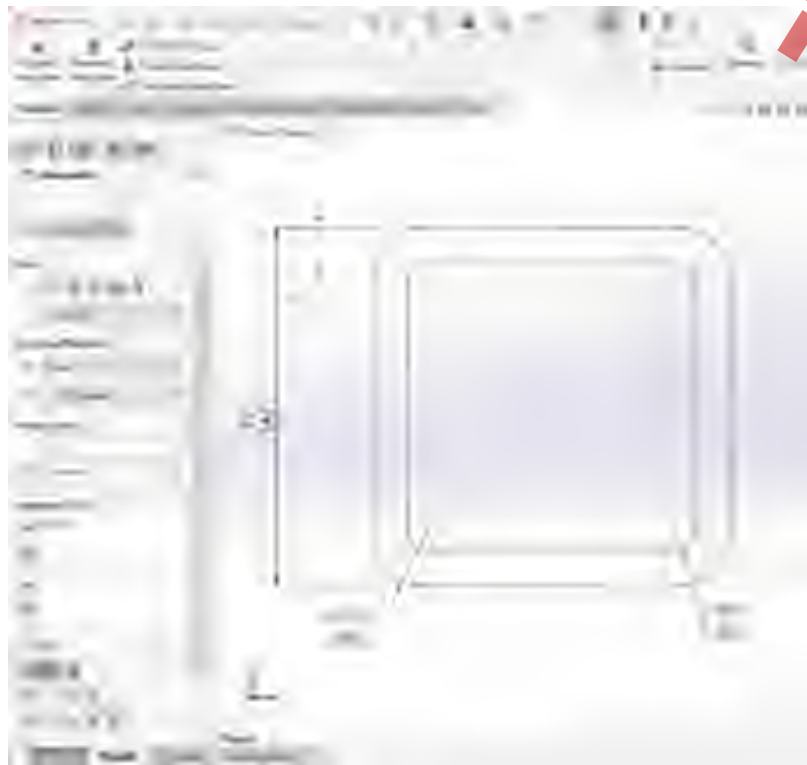


Рисунок 5.14 – Перейменування розмірів

Вставимо таблицю параметрів, скориставшись командою Insert – Tables – Excel Design Table (рис. 5.15).



Рисунок 5.15 – Вставлення таблиці параметрів

У «Менеджері властивостей» потрібно вказати: джерело – «Порожня таблиця»; редагування керування – «Не дозволяти зміни моделі, які впливають на таблицю параметрів»; параметри – вимкнути нові налаштування та нові конфігурації.

У робочій області з'явиться таблиця Excel. Якщо клікнути на потрібному розмірі ескізу, його ім'я внесеться в відповідну комірку таблиці. Внісши таким чином усі імена розмірів, працюватимемо з таблицею у звичному режимі середовища Excel. Користуючись даними ДСТУ, внесемо усі типорозміри квадратних труб (рис. 5.16). При цьому значення радіуса R потрібно вказати як залежність $R=S \times 1,5$, а значення радіуса R1 як залежність $R1=R-S$.



Рисунок 5.16 – Заповнення таблиці параметрів

Після введення усіх значень, клікаємо лівою кнопкою миші на вільному полі робочої області. Система повідомить про створення низки конфігурацій (рис. 5.17). Підтверджуємо створення конфігурацій, натиснувши «Так».



Рисунок 5.17 – Повідомлення системи про створення конфігурацій

Кожну конфігурацію створеного профілю потрібно зберегти у форматі бібліотечного елемента SOLIDWORKS – Lib Feat Part (рис. 5.18) та помістити файл елемента у системну папку програми. Для цього можна створити папку «Профілі ДСТУ», в яку зберегти профілі квадратної труби і перемістити її в системну папку програми.



Рисунок 5.18 – Збереження профілю квадратної труби як бібліотечного елемента SOLIDWORKS

Описану вище процедуру необхідно здійснити для кожної конфігурації профілю і в результаті отримаємо бібліотеку ескізів профілю квадратних труб відповідно до типорозмірів ДСТУ 8940:2019 (рис. 5.19).

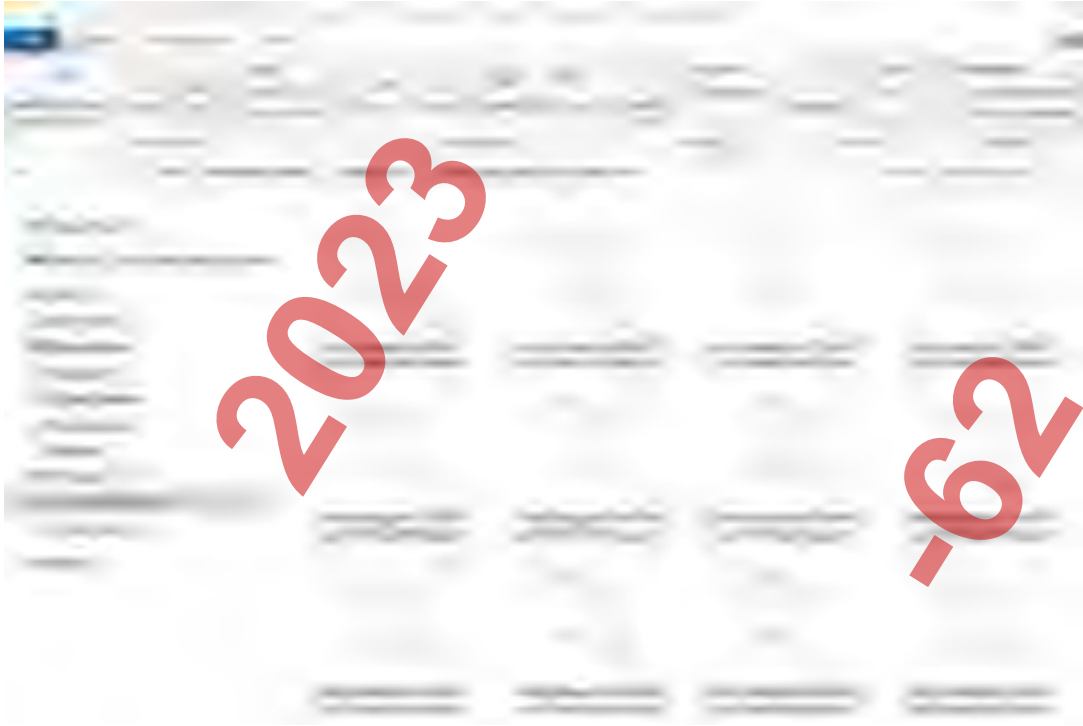


Рисунок 5.19 – Бібліотека профілів квадратних труб згідно з ДСТУ 8940:2019

Перевіримо коректність роботи бібліотеки профілів квадратних труб. Створимо, для прикладу, тривимірний ескіз каркасу шкільної парти (рис. 5.20).



Рисунок 5.20 – Ескіз каркасу шкільної парти

Активувавши вкладку Зварні з'єднання (Weldments), створимо зварну конструкцію, використовуючи щойно створену бібліотеку профілів квадратних труб. Для цього у вікні Менеджера властивостей виберемо стандарт профілів – профілі ДСТУ (рис. 5.21).



Рисунок 5.21 – Вибір стандарту профілю труби

У полі вибору розміру труби доступні всі попередньо створені нами типорозміри (рис. 5.22).



Рисунок 5.22 – Вибір розміру труби квадратної

Вибравши потрібний профіль та виконавши усі необхідні дії зі створення зварної конструкції, можемо одержати конструкцію каркаса шкільної парти (рис. 5.23), яку ми у кваліфікаційній роботі прийняли за модель для перевірки працездатності запропонованої методики створення бібліотечних елементів у SOLIDWORKS. В нашому випадку використано профіль труби квадратної $20 \times 20 \times 1,5$



Рисунок 5.23 – Результат застосування бібліотечних елементів

За результатами перевірки запропонованої методики створення бібліотечних елементів профільних труб відповідно до вимог ДСТУ бачимо, що така методика себе виправдовує, оскільки вибір розроблених нами профілів квадратних труб в середовищі SOLIDWORKS працює коректно.

Отже, запропонована методика створення бібліотечних елементів у середовищі SOLIDWORKS дає змогу заощадити трудові й часові ресурси під час виконання проектів, із застосуванням профільних конструкцій.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

У кваліфікаційній роботі висвітлено історію розвитку систем автоматизованого проектування (САПР), які використовуються у машинобудуванні. Виконано аналіз сучасного ринку програмних продуктів та здійснено аналіз найпопулярніших САПР. Популярні в Україні САПР класифіковано на три групи: легкі, середні та важкі. Детально описано їхні можливості та особливості застосування в умовах машинобудівних виробництв. Аналіз використання САПР у машинобудівних підприємствах України показав, що однією з найпоширеніших САПР є SOLIDWORKS.

У другому розділі описано теоретичні засади вибору САПР для впровадження її на підприємстві. Розроблено систему заходів з вибору найраціональнішої системи з урахуванням специфіки підприємства.

Третій розділ присвячено аналізу САПР SOLIDWORKS. Детально вивчено та описано можливості програми у розрізі кожної з редакцій – Standard, Professional та Premium. Визначено переваги програми. Окрім суттєвих переваг, встановлено також і цілу низку недоліків, а саме: пакет бібліотек матеріалів орієнтований на американський та європейський ринки і мало адаптований до ринку України; бібліотека Toolbox значно поступається за наповненням конкурентам SOLIDWORKS; недостатня розвинутість або повна відсутність модулів для автоматичного проектування таких типових деталей як пружини, зубчасті колеса, а також рознімних з'єднань; проблеми з оформленням конструкторської документації відповідно до ДСТУ чи ГОСТ (шрифт, автозаповнення таблиці основного напису, штрихування матеріалів у розрізах та перерізах, нанесення розмірів, оформлення специфікації тощо).

Розглянуто також можливості сертифікації інженерних кадрів машинобудівного підприємства у системі SOLIDWORKS.

У четвертому розділі описано процедуру придбання ліцензійної версії САПР SOLIDWORKS для потреб машинобудівного підприємства. Визначено офіційного дистриб'ютора рішень SOLIDWORKS в Україні – компанію «СОФТІКО», а також постачальника програмного забезпечення – компанію

«ІТ САПР». Подано рекомендації щодо вибору ліцензії в залежності від стратегії ліцензування, яку обере підприємство, та глибини перспективи роботи, на яку орієнтується підприємство.

Так, встановлено, що тимчасові ліцензії мають найнижчий поріг початкових інвестицій, проте стратегія найефективніша лише експлуатації продукту до 2-х років. При періоді експлуатації від 2 до 5 років ця стратегія може використовуватися як одна із стратегій рівномірного фінансування у часі. Якщо горизонт використання перевищує 5 років – ця модель неефективна. Деяку економію у порівнянні з тимчасовою ліцензією забезпечить купівля ліцензії без передплати, економія складе 15-20% на початковому етапі покупки, однак позбавить підприємство оновлювати ПЗ до актуальних версій. За трохи більших первинних витрат багато переваг надасть купівля ліцензії з передплатою, однак забезпечить передбачуване фінансове навантаження на підприємство.

П'ятий розділ присвячений технічній частині впровадження САПР SOLIDWORKS у виробничий процес машинобудівного підприємства, а саме – налаштуванню системи та розробленню власних бібліотек для потреб підприємства. Ця робота безпосередньо стосується інженерів, які працюють з програмою. Описано розроблення власних шаблонів деталей, збірок, креслеників та специфікацій. Створення бібліотечних елементів розглянуто на прикладі створення профілів квадратних труб відповідно до ДСТУ. Після створення бібліотеки профілів перевірено їх роботу на прикладі моделювання каркасу шкільної парти, що підтвердило коректність роботи створеної бібліотеки.

Результати роботи можна використовувати як в умовах виробництва, так і адаптувати їх до використання у навчальному процесі закладів освіти.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Ванін В. В., Блюк А. В., Гнітецька Г. О. Оформлення конструкторської документації : Навч. посібн. 4-те вид., випр. і доп. – К.: Каравела, 2012. 200 с.
2. ДСТУ 2226-93. Автоматизовані системи. Терміни та визначення. – [Чинний від 1994-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1994. 93 с. http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=61937
3. ДСТУ 3321:2003. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять.
4. ДСТУ 8940:2019. Труби сталеві профільні. Технічні умови.
5. ДСТУ ISO 128-1:2005. Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 1. Передмова та покажчик понять стандартів ISO серії 128.
6. ДСТУ ГОСТ 2.001:2006 Єдина система конструкторської документації. Загальні положення (ГОСТ 2.001-93, IDT).
7. ДСТУ ГОСТ 2.001:2006. Єдина система конструкторської документації. Загальні положення (ГОСТ 2.001-93, IDT).
8. ДСТУ ГОСТ 2.051:2006. Єдина система конструкторської документації. Електронні документи. Загальні положення (ГОСТ 2.051-2006, IDT).
9. ДСТУ ГОСТ 2.052:2006. Єдина система конструкторської документації. Електронна модель виробу. Загальні положення (ГОСТ 2.052-2006, IDT).
10. ДСТУ ГОСТ 2.053:2006. Єдина система конструкторської документації. Електронна структура виробу. Загальні положення (ГОСТ 2.053-2006, IDT).
11. Довідка SolidWorks. URL : https://help.solidworks.com/2022/english/SolidWorks/sldworks/r_welcome_sw_online_help.htm (дата звернення: 10.09.2023).
12. Зворикін К. О., Гаєвський В. О. Виробництво зварних конструкцій: Практикум (Частина 1) [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ.

- спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізація «Технології та інжиніринг у зварюванні». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 114 с
13. Стукалець І. Г. Основи інженерного аналізу технічних об'єктів. Курс лекцій для студентів інженерних спеціальностей. Львів : ЛНУП, 2022. 109 с.
14. Стукалець І. Г., Березовецький С. А., Баранович С. М. «Оформлення робочих креслеників складальних одиниць». Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи з дисципліни інженерна та комп'ютерна графіка. Львів : ЛНАУ – 2017 р. 29 с.
15. AUTODESK. URL: <https://www.autodesk.ru/> (дата звернення 01.09.2023).
16. Dassault Systèmes. URL: <https://www.3ds.com> (дата звернення 01.09.2023).
17. David E. Weisberg The Engineering Design Revolution. URL: <http://cadhistory.net/> (дата звернення 01.09.2023).
18. Hirschtick J. Celebrating 25 Years of SolidWorks: Founding Memories From 1993. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/celebrating-25-yearssolidworks-founding-memories-from-jon-hirschtick> (дата звернення 01.09.2023).
19. Siemens Digital Industries Software. URL: <https://www.plm.automation.siemens.com> (дата звернення 01.09.2023).
20. SolidWorks. URL: <https://www.solidworks.com> (дата звернення 01.09.2023).
21. SolidWorks. URL: https://www.softkey.ua/catalog/sapr/solidworks/#detail_text (дата звернення 01.09.2023).