


Кафедра \_\_\_\_\_ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ \_\_\_\_\_

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему

3D МОДЕЛЮВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ В САПР

Студент групи \_\_\_\_\_ **КН-412 Баган Олег Ігорович** \_\_\_\_\_  
(шифр, прізвище та ініціали)

Керівник проекту		( <b>Костянтин Колесник</b> )
Консультанти	_____	( _____ )
	_____	( _____ )
	_____	( _____ )
	_____	( _____ )

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ **Михайло ЛОБУР** \_\_\_\_\_  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Інститут Інститут комп'ютерних наук та інформаційних технологій  
Кафедра Систем автоматизованого проектування  
Спеціальність ФЗ "Комп'ютерні науки"

„ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач

кафедри САП

Михайло ЛОБУР

«    »    2025 р.

**ЗАВДАННЯ**

на бакалаврську кваліфікаційну роботу студента групи КН-412 ОКР Бакалавр

**Баган Олег Ігорович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) 3D моделювання друкованих плат в САПР

затверджена наказом по університету від 30.04.2025 р. № 1566-4-08

2. Термін подання студентом закінченої роботи (проекту) 06.06.2025

3. Вихідні дані для роботи (проекту) Електронні трицифрові схеми типових друкованих плат, розміри компонентів друкованих плат.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які треба розробити) Розробити методи і засоби для 3D моделювання друкованих плат

5. Перелік графічного матеріалу Структурна схема програмного комплексу SolidWorks, категорії матеріалів друкованих плат, алгоритми роботи підсистем для формування складальної моделі ДП, методичні аналізи друкованих плат, інтерфейс системи для 3D моделювання ДП.

6. Перелік програмних продуктів, які належить використати в процесі розроблення роботи (проекту) САПР SolidWorks, Visual studio, C#, API SolidWorks, P-CAD.

## 7. Консультування роботи (проекту), із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Завдання видав		Завдання прийняв	

8. Дата, коли видано завдання \_\_\_\_\_

Керівник \_\_\_\_\_

(підпис)

**Костянтин Колесник**

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

(підпис)

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів роботи (проекту)	Термін виконання етапів роботи (проекту)	Примітка
1	Аналіз типових конструкцій ДП та їх класифікація.	30.04.2025-06.05.2025	
2	Аналіз загобів для проектування ДП	06.05.2025 - 08.05.2025	
3	Аналіз техніки розроблення друкованих мат	08.05.2025 - 12.05.2025	
4	Проведення тематичного розроблення для ДП	13.05.2025 - 16.05.2025	
5	3D моделювання компонентів друкованих мат	17.05.2025 - 22.05.2025	
6	Розроблення алгоритму для підметали з 3D моделювання для ДП	23.05.2025 - 26.05.2025	
7	Реалізація підметали	26.05.2025 - 30.05.2025	
8	Оформлення пояснювальної записки	30.05.2025 - 05.06.2025	

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_

(підпис)

## АНОТАЦІЯ

Олег Баган, Колесник К.К. (керівник). 3D моделювання друкованих плат в САПР. Бакалаврська кваліфікаційна робота – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2025.

Розширена анотація.

У час комп'ютерних технологій та науково-технічного прогресу широкого застосування набуло використання друкованих плат для виготовлення високотехнологічних виробів [1-3].

Системна плата знаходиться в корпусі будь-якого сучасного цифрового гаджета. Вона призначена для живлення, комутації, управління та координування дій всіх елементів, що знаходяться в будь-якій комп'ютерній техніці. До системної плати приєднуються різні SMD-компоненти (резистори, конденсатори, запобіжники, діоди) і всі інші периферійні пристрої за допомогою портів, виходів та роз'ємів.

Найчастіша причина, яка призводить до швидкої поломки плати – це перегрів. Він може статися через кліматичні умови, попадання пилу, дешеву систему охолодження. Але нерідко причиною перегріву стає зовнішня сила струму, що подається на компоненти плати. Саме тому надзвичайно актуальним буде розраховувати для кожного елемента таку силу струму, щоб заздалегідь попередити поломку через перегрів при практичному застосуванні будь-якої плати [1].

В кваліфікаційній роботі представлено методи та засоби 3D моделювання в САПР Solidworks та створено підсистему, яка б допомагала створювати друковані плати різних розмірів, розміщати елементи на друкованих платах, переміщати їх, використовуючи засоби моделювання, та проведено відповідний тепловий аналіз.

Процес проектування друкованої плати починається зі створення бібліотеки компонентів для проекту. На цьому етапі ведеться пошук і вивчення документації на використовувані компоненти. Кожен компонент бібліотеки

містить умовно-графічне позначення компонента для редактора схем, і посадочне місце для редактора топології. Комплексний підхід полягає в тому, що вже на цьому етапі здійснюється підготовка стратегії трасування провідників майбутньої друкованої плати, визначаються класи ланцюгів і задаються необхідні технологічні параметри, а так само формуються дані необхідні для підготовки конструкторської документації. Разом з тим, потрібно на цьому етапі враховувати нагрівання компонентів, які розміщені на платі для подальшого її надійного функціонування, а такий тепловий аналіз доцільно проводити в системах з 3D-моделювання, такими як Solidworks.

Ключові слова: друкована плата, 3D- моделювання, API Solidworks.

Об'єкт дослідження – друкована плата.

Предмет дослідження – 3D-проектування друкованої плати.

Мета роботи - розроблення методів і засобів для проектування друкованих плат.

Перелік використаних літературних джерел:

1. Avdieiev Serhii, Klymkovych Tamara, Kostiantyn Kolesnyk, Roman Panchak. Automated 3D design of printed circuit boards in CAD SolidWorks //CAD in machinery design: implementation and educational issues (CADMD 2021) 9th -10th December 2021, Lviv, Ukraine, P. 14.

2. Колесник К.К, Дутка В.Ю., Загоруйко Д.А., Васишин Б.С. Застосування САПР для виготовлення друкованих плат// VII Міжнародна науково-практична конференція «Напівпровідникові матеріали, інформаційні технології та фотовольтаїка». – Кременчук: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2022. 111 -112 с.

Roman Panchak, Konstantyn Kolesnyk, Marian Lobur. Variants of Topology Editing Strategy in the Subsystem of Printed Circuit Boards Manufacturability Improvement. Radioelectronics & Informatics. Scientific and Technical Journal, № 4 (55).-Kharkov. September - December, 2011.-Pp. 24-28.

Nevliudov, I., Razumov-Fryzyuk, E., Nikitin, D., Bliznyuk, D., Strelets, R. (2021), "Technology for creating the topology of printed circuit boards using polymer 3D masks", Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, No. 1 (15),P. 120–131. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2021.15.120>

Trochimczuk R., A. Łukaszewicz, M. Melnyk, A. Kernytsky Design of mechatronics systems using CAx environment /. Methods and tools in CAD. – Białystok: Publishing House of Białystok University of Technology, 2021. 7-14. DOI:10.24427/978-83-66391-87-1\_01

## ABSTRACT

Oleg BAGAN. Kostiantyn KOLESNYK (supervisor) Bachelor thesis "3D modeling of printed circuit boards in CAD".– Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2025.

Extended abstract.

In the era of computer technology and scientific and technological progress, the use of printed circuit boards for the manufacture of high-tech products has become widespread [1-3].

The motherboard is located in the case of any modern digital gadget. It is designed to power, switch, control and coordinate the actions of all elements found in any computer equipment. Various SMD components (resistors, capacitors, fuses, diodes) and all other peripheral devices are connected to the motherboard using ports, outputs and connectors.

The most common reason that leads to a quick failure of the board is overheating. It can occur due to climatic conditions, dust, a cheap cooling system. But often the cause of overheating is too much current supplied to the board components. That is why it will be extremely important to calculate such a current for each element in order to prevent damage due to overheating in the practical use of any board [1].

The qualification work presents methods and tools for 3D modeling in Solidworks CAD and creates a subsystem that would help create printed circuit boards of various sizes, place elements on printed circuit boards, move them using modeling tools, and conduct appropriate thermal analysis.

The PCB design process begins with creating a component library for the project. At this stage, the documentation for the components used is searched and studied. Each component in the library contains a component symbol for the schematic editor and a location for the topology editor. The integrated approach consists in the fact that already at this stage the strategy for tracing the conductors of the future printed circuit board is prepared, the classes of circuits are determined and the necessary technological

parameters are set, and the data necessary for the preparation of design documentation is also formed.

However, at this stage, it is necessary to take into account the heating of the components placed on the board for its further reliable functioning, and such thermal analysis is advisable to carry out in 3D modeling systems, such as Solidworks.

Keywords: printed circuit board, 3D modeling, API Solidworks.

Object of research – printed circuit board.

Subject of research – 3D design of printed circuit board.

The purpose of the work is to develop methods and tools for the design of printed circuit boards.

List of used literature sources:

1. Avdieiev Serhii, Klymkovych Tamara, Kostiantyn Kolesnyk, Roman Panchak. Automated 3D design of printed circuit boards in CAD SolidWorks //CAD in machinery design: implementation and educational issues (CADMD 2021) 9th -10th December 2021, Lviv, Ukraine, P. 14.

2. Колесник К.К., Дутка В.Ю., Загоруйко Д.А., Васишин Б.С. Застосування САПР для виготовлення друкованих плат// VII Міжнародна науково-практична конференція «Напівпровідникові матеріали, інформаційні технології та фотовольтаїка». – Кременчук: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2022. 111 -112 с.

Roman Panchak, Konstantyn Kolesnyk, Marian Lobur. Variants of Topology Editing Strategy in the Subsystem of Printed Circuit Boards Manufacturability Improvement. Radioelectronics & Informatics. Scientific and Technical Journal, № 4 (55).-Kharkov. September - December, 2011.-Pp. 24-28.

Nevliudov, I., Razumov-Fryzyuk, E., Nikitin, D., Bliznyuk, D., Strelets, R. (2021), "Technology for creating the topology of printed circuit boards using polymer 3D masks", Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, No. 1 (15),P. 120–131. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2021.15.120>

Trochimczuk R., A. Łukaszewicz, M. Melnyk, A. Kernytsky Design of mechatronics systems using CAx environment /. Methods and tools in CAD. – Białystok: Publishing House of Białystok University of Technology, 2021. 7-14. DOI:10.24427/978-83-66391-87-1\_01

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ.....	11
1.1. Друковані плати та їх класифікація. Основні поняття.....	11
1.2. Засоби для проектування друкованих плат.....	17
1.3. Висновки до 1 розділу.....	22
2. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	23
2.1. Розробка друкованих плат .....	23
2.2. Тепловий розрахунок при розробці друкованої плати.....	26
2.3. Техніка розведення друкованих плат.....	27
2.4. Проектування друкованих плат .....	31
2.5. Висновки до 2 розділу.....	42
3. 3D МОДЕЛЮВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ.....	43
3.1. Вибір середовища для 3D моделювання ДП.....	43
3.2. Розроблення підсистеми для проектування ДП.....	46
3.3. Висновки до 3 розділу.....	59
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	61
ДОДАТКИ	

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ**

API	Application Programming Interface
EDA	Electronic Design Automation
WPF	Windows Presentation Foundation
ДП	Друкована Плата
ЕОМ	Електронна Обчислювальна Машина
САП	Системи Автоматизованого Проектування

## ВСТУП

Сучасні технології для 3D моделювання технічних об'єктів розвиваються досить швидко. Розробники САПР систем постійно працюють над вдосконаленням та оновленням спеціалізованих програмних.

3D моделювання сучасних виробів дозволяє покращити процес проектування та задіяти відповідні конструкційні матеріали (пластик, папір, деревина, пластилін тощо) для їх створення. 3D моделювання – дає можливість з максимальною точністю, реалістичністю та інформативністю представити вигляд, форму, текстуру, розмір і колір розробленого технічного об'єкта. Тривимірний модель об'єкту дозволяє провести аналіз та розглянути будь-якого ракурсу, що є дуже важливо під час проектування. Задіявши технології комп'ютерного моделювання можна провести аналіз або синтез складної системи, розробивши відповідну комп'ютерну модель.

Разом з тим, доречним в процесі проектування є автоматизація, що допомагає розробнику пришвидшити процес моделювання та вирішити якісно задачу з прийняття рішень щодо розробки нового продукту. Якість проектування такого об'єкта буде вищою, час виконання швидшим, результат точнішим.

У час високих технологій та технічного прогресу, широкого застосування набуло застосування в технічних об'єктах друкованих плат. Практично кожен з нас стикається з ними у буденному житті: від годинника чи смартфона, до автомобілів та навіть музичних інструментів.

Друкована плата – це пластина, що виконана з матеріалів, які погано проводять електричний струм, таких як текстоліт, гетинакс. На платі або всередині її можуть бути розтрасовані певним чином провідники у вигляді рисунку. На відповідні місця друкованої плати монтуються електронні компоненти, що з'єднуються своїми виводами з елементами провідного рисунку паянням. У результаті чого складається змонтована друкована плата.

Взагалі, друкована плата – це діелектрика у вигляді пластини з припаяними елементами, що виконують відповідні функції електричної схеми для управління чи функціонування технічного об'єкта.

В бакалаврській роботі розглянуто технології 3D моделювання та розроблено підсистему для проведення теплового розрахунку друкованої плати. Представлені в роботі методи та засоби дозволяють реалізувати проектування друкованих плат різних розмірів, розміщати елементи на друкованих платах та переміщати їх застосовуючи технології комп'ютерного моделювання.

## 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

### 1.1. Друковані плати та їх класифікація. Основні поняття.

Друкована плата (ДП) являє собою пластину або плату, яка застосовується для розміщення різних елементів. Ці елементи відповідають електричним ланцюгам, та мають з'єднання між ними.

До одношарових друкованих плат можна віднести ті, що містять мідні доріжки або з'єднання тільки на одній з поверхонь.

На сьогодні найбільш поширеними друкованими платами є ті, що мають два шари, тобто мати з'єднання на обох поверхнях пластини. Однак, в залежності від фізичної складності конструкції, друковані плати можуть бути виготовлені з 8 або й більше шарів. Тому плати можна поділити на такі класи:

ОДП – одностороння друкована плата, в якій елементи розташовуються з одного боку плати, що характеризується високою точністю виконаного провідного рисунку.

ДДП – двостороння друкована плата, провідний рисунок розташовується з двох сторін, елементи з одного боку.

БДП - багат шарова друкована плата, що складається з ізоляційних шарів, і чергуються з провідним рисунком. Між шарами можуть бути відсутні міжшарові з'єднання.

д) ГДП - гнучка друкована плата – має гнучку підкладку, аналогічна ДДП.

е) ПДП - провідна друкована плата – це поєднання ДДП з провідним монтажем, що має ізольовані проводи.

Основними перевагами друкованих плат є:

- забезпечення щільності монтажу і можливості мікро-мініатюризації виробів.

- Гарантована стабільність електричних характеристик.

- Підвищена стійкість до кліматичних і механічних впливів.

- Уніфікація і стандартизація конструктивних виробів.

- Можливість комплексної автоматизації монтажних-складальних робіт.

До переваг БДП можна віднести, також, більш високу питому щільність друкованих провідників і контактних площадок; зменшення довжини провідників; можливість екранування ланцюгів змінного струму; більш висока стабільність параметрів друкованих провідників під впливом зовнішніх умов. До недоліків БДП можна віднести: більш жорсткі допуски на розміри в порівнянні з ОПП та ДПП; велика трудомісткість проектування і виготовлення; застосування спеціального технологічного обладнання; ретельний контроль всіх операцій; висока вартість і низька ремонтпридатність.

Матеріали для виготовлення друкованих плат можна розділити на три великі групи: основні або базові матеріали для ДП (рис. 1.1); покриття ДП; допоміжні матеріали.

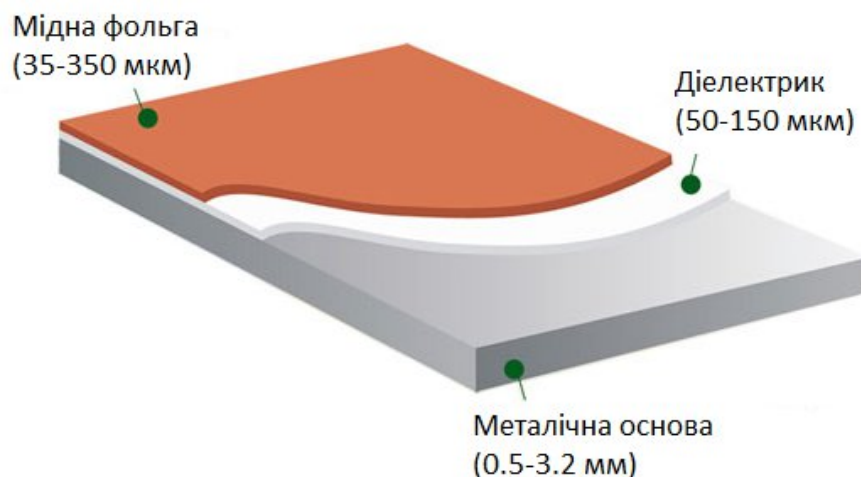


Рис. 1.1. Основні матеріали для виготовлення друкованих плат.

До першої групи матеріалів друкованих плат відносять: тверді діелектрики (склотекстоліт, поліімід, гетинакс, ламінат та ін.) різних параметрів, що йдуть на виготовлення основи односторонніх, двосторонніх і багатошарових плат; діелектричні матеріали із смол призначені для зв'язку шарів у багатошарових друкованих платах, а мідна фольга служить для створення електропровідного шару друкованої плати. З матеріалів цієї групи проводиться основа, на яку надалі наноситься покриття друкованої плати. До другої групи варто віднести: захисні або паяльні маски – спеціальні покриття, що наносяться на поверхню ДП для

того, щоб захистити струмопровідні доріжки від незапланованого замикання та окислення, а також фоторезисти та маркувальні фарби.

До групи допоміжних матеріалів відносять паяльні пасти та підкладковий матеріал, що зменшує величину задирок при сверлінні і дозволяє притримувати високий клас точності ДП.

**Паяльна маска.** Для монтажу електричних компонентів на друкованих платах, вимагається процес складання. Цей процес може бути зроблено вручну або за допомогою спеціалізованої техніки. Процес складання вимагає застосування припою для розміщення компонентів на платі. Для уникнення або запобігання припою, що приведе до випадкового короткого замикання двох доріжок з різних мереж, виробники друкованих плат застосовують обробку або лак, що називається паяльною маскою, на обох поверхнях дошки. Найбільш поширеним кольором паяльної маски, що використовується в друкованих платах, є зелений колір, за ним ідуть червоний та синій.

У програмному забезпеченні EDA (Electronic design automation), зазвичай існує правило, пов'язане з розміщенням паяльної маски. Це правило визначає відстань, що існує між контактними площадками та паяльною маскою (рис. 1.2 (а)).

**Контурний шар елемента.** Наведення контуру це процес, при якому виробник друкує інформацію на паяльній масці для полегшення процесів збірки, перевірки і ремонту. Як правило, контур друкується із зазначенням контрольних точок, а також положення, орієнтацією і посиланням на електронні компоненти, які є частиною схеми. Також він може бути використаний для будь-яких цілей, які можуть знадобитися дизайнеру, наприклад, нанесення назви компанії, інструкції по конфігурації (це широко використовується в старих материнських платах ПК) і т.д. Контурні лінії можна друкувати на обох поверхнях плати. На рисунку 1.2 (б) показано ділянку ланцюга, все надруковане білою лінією належить до контурного шару.

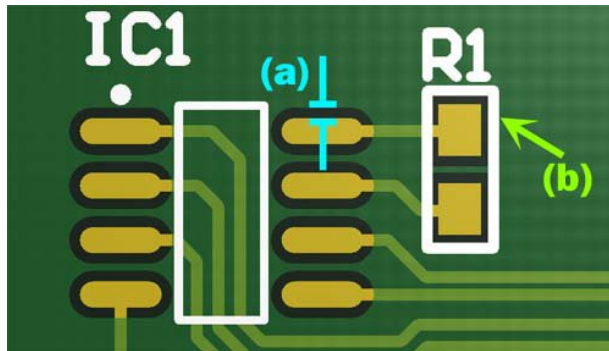


Рис. 1.2. Паяльна маска (а) та контурний шар (б).

Друковані плати можуть бути зроблені з декількох шарів (рис. 1.3)

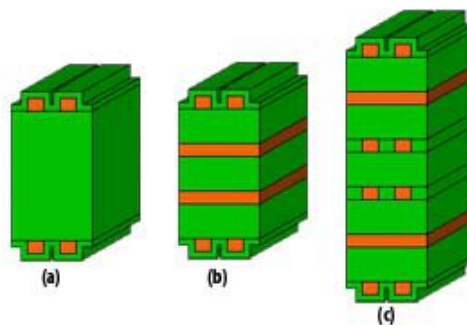


Рис. 1.3. Двошарова (а), 4-ьох шарова (б), 8-ми шарова (с) ДП.

**Контактні площадки.** Площадка є невеликою мідною поверхнею на друкованій платі, що дозволяє припаяти компонент до плати. Є два типи контактних площадок: наскрізний отвір і SMD (поверхневого монтажу).

Площадки наскрізного отвору призначені для введення штирів компонентів, тому вони можуть бути спаяні з протилежного боку, з якого був вставлений компонент.

SMD площадки призначені для поверхневого монтажу пристрою, або іншими словами, для пайки компонента на тій же самій поверхні, на якій вона розміщена.

На рисунку 1.4 зображено чотири компонента. Компоненти IC1 і R1 мають 8 і 2 SMD площадки відповідно, в той час як обидва компонента Q1 і PW мають по 3 наскрізні отвори.

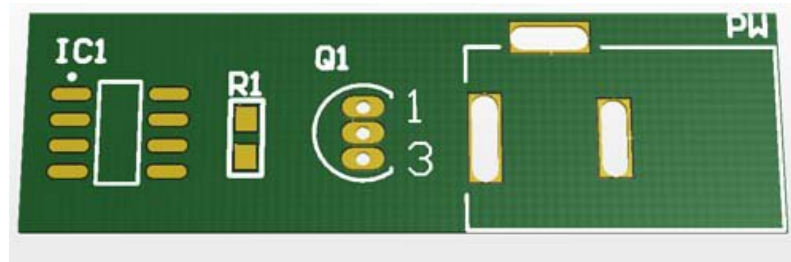


Рис. 1.4. Контактні площадки компонентів.

**Пакети компонентів.** Сьогодні на ринку можна знайти велику різноманітність електронних пакетів компонентів. Зазвичай є декілька типів пакетів для одного пристрою. Наприклад, ви можете знайти таку ж інтегральну схему в QFP і LCC пакетах.

В основному існують 3 великі групи електронних пакетів:

1.		<p><i>Thru-Hole (Наскрізний отвір).</i> Це всі ті компоненти, що призначені для установки через металізовані отвори в друкованій платі. Цей вид компонента припаюється до протилежної сторони плати, з якої був вставлений компонент. Як правило, ці компоненти змонтовані тільки на одній поверхні плати.</p>
2.		<p><i>SMD/SMT (Пристрої поверхневого монтажу).</i> Це компоненти, які припаяні на тій же стороні плати, з якої був розміщений компонент. Перевага цього типу в тому, що компоненти можуть бути встановлені з двох сторін друкованої плати. Крім того, ці компоненти мають менші розміри, ніж компоненти наскрізного отвору, що дозволяє створювати більш дрібні і більш щільні друковані плати. Ці типи компонентів можуть бути використані для частот до 200 [МГц] (основна частота синхронізації).</p>
3.		<p><i>BGA (Ball grid array).</i> Ці типи компонентів часто використовуються для штирьових інтегральних схем з високою щільністю. Для пайки їх друкованих плат потрібно мати спеціалізоване обладнання, відповідно до</p>

		якого штифти виконані з кульок припою, що повинні бути розплавлені для виготовлення електричного контакту з контактними площадками.
--	--	---

**Мідні доріжки.** Доріжка є провідним шляхом, що використовується для з'єднання 2-х точок в друкованій платі. Наприклад, для підключення двох виводів (рис. 1.5) або для підключення виводу і отвору, або між перехідними отворами. Доріжки можуть мати різну ширину в залежності від струмів, що протікають через них.

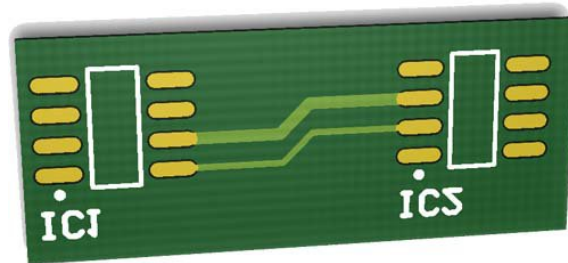


Рис. 1.5. Доріжки, що з'єднують виводи двох інтегральних схем.

**Металізовані отвори.** Коли з'єднання повинно бути виконане від компонента, який розташований на верхньому шарі друкованої плати до іншого, розташованого на нижньому шарі, використовуються отвори наскрізного доступу. Це металізований отвір, який дозволяє струму проходити через плату. На рисунку 1.6 зображено 2 доріжки, які починаються на виводах компонента на верхньому шарі і закінчуються на виводах іншого компонента на нижньому шарі. Для проведення струму від верхнього шару до нижнього шару, отвори використовуються для кожної доріжки. Доріжки і площадки, які належать до нижнього шару візуально відображаються сірим кольором, так що ви можете відрізнити їх від тих, які знаходяться на верхньому шарі.

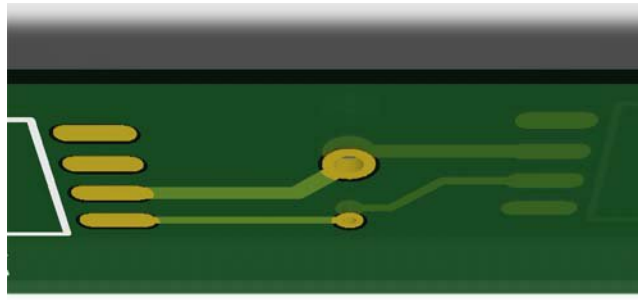


Рис. 1.6. Дві інтегровані схеми розміщені на протилежних сторонах плати та з'єднані наскрізними металізованими отворами.

Друкована плата, зображена на рисунку 1.7 відображає доріжку, яка належить до верхнього шару, проходить через плату за допомогою наскрізного отвору, а потім продовжується у вигляді доріжки, що належить до нижнього шару.

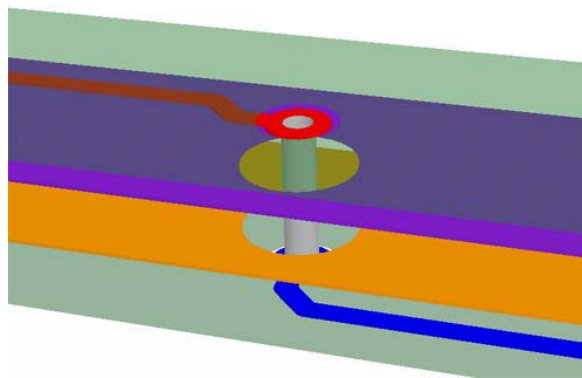


Рис. 1.7. Мідна доріжка, що переходить з верхнього шару плати на нижній.

## 1.2. Засоби для проектування друкованих плат

В даний час в діяльність проектних організацій швидко проникає комп'ютеризація, що піднімає проектну роботу на якісно новий рівень, при якому різко підвищуються темпи і якість проектування, більш обгрунтовано вирішуються багато складних інженерних завдань, які раніше розглядалися лише спрощено. Багато в чому це відбувається завдяки використанню ефективних спеціалізованих програм, які можуть бути як самостійними, так і у вигляді додатків до загальнотехнічних програм. Діяльність по створенню програмних продуктів і технічних засобів для автоматизації проектних робіт має загальну назву – САПР.

САПР (англ. CAD, Computer-Aided Design) – програмний пакет, призначений для проектування (розробки) об'єктів виробництва (або будівництва), а також оформлення конструкторської та (або) технологічної документації.

Компоненти багатофункціональних систем САПР традиційно групуються в три основні блоки CAD, CAM, CAE. Модулі блоку CAD (Computer Aided Design) призначені в основному для виконання графічних робіт, модулі CAM (Computer Aided Manufacturing) – для вирішення завдань технологічної підготовки виробництва, модулі CAE (Computer Aided Engineering) – для інженерних розрахунків, аналізу і перевірки проектних рішень.

На сучасному етапі розвитку суспільства однією з пріоритетних задач є подальший розвиток методів автоматизованого проектування на базі нових інформаційних технологій.

Використання промислових САПР в навчальному процесі дозволяє працювати з технічними засобами САПР, використовувати САПР в практичній роботі, навчати прийомам експлуатації системи і методам автоматизованого проектування, в якому той, хто навчається приймає активну участь.

Зараз основною проблемою при проектуванні друкованих плат, є їх підвищена складність і різке скорочення термінів проектування при постійно зростаючих вимогах до їх якості. Поява мікросхем в корпусах з малим кроком, з кульковими виводами (BGA), зростання вимог до швидкодії схем та електромагнітної сумісності, вдосконалення технології виробництва та виготовлення друкованих плат на імпортному обладнанні, призводить до використання САПР P-CAD, що володіє цілим рядом принципово нових можливостей. Щоб підвищити продуктивність праці проектувальника, в системі P-CAD було перероблено багато інтерфейсних елементів.

P-CAD є потужною системою автоматизованого проектування друкованих плат радіоелектронних і обчислювальних пристроїв.

Програма здатна виконати весь цикл розробки ДП, інтерактивне розміщення елементів і автотрасування провідників, пошук помилок на будь-

якій стадії проекту, підготовку документації, перевірку цілісності всіх сигналів, аналіз перехресних спотворень. Зручна довідкова система і призначений для користувача інтерфейс значно полегшують ознайомлення з програмою новачкам.

P-CAD складається з двох автономних модулів – Schematic (редактор електричних схем) і PCB (редактор друкованих плат). Проекти схем можуть містити до 999 аркушів, а проекти плат – до 999 шарів розміром 60х60 дюймів. Існують можливості інтерактивного розведення диференціальних пар для мінімізації електромагнітних завад, мультимаршрутне трасування по заданих параметрах, ортогональне перетягування провідників. Крім основних підпрограм P-CAD має допоміжні: Library Executive (менеджер бібліотек), Symbol Editor (редактор символів елементів), Pattern Editor (редактор посадочних місць, корпусів елементів) і деякі інші. Бібліотеки P-CAD зберігають більше 27 тисяч елементів, сертифікованих за стандартом ISO 9001. Повністю підтримуються формати Gerber і ODB ++. Серед останніх покращень P-CAD – додавання потужного трасувальника Situs з середовища проектування Altium Designer, пакета CAMtastic для підготовки друкованої плати до виробництва і пакетів аналогового і цифрового моделювання nVisage і Xspice.

У 1996 році компанія ACCEL Technologies представила публіці першу версію P-CAD під назвою ACCEL EDA. Продукт придбав популярність серед проектувальників цифрових пристроїв. 17 січня 2000 року ACCEL Technologies була поглинена провідним розробником САПР Protel International. У березні 2000 року ACCEL EDA змінила назву на P-CAD. На сьогоднішній день вона є найзнаменитішим середовищем проектування в пострадянських державах.

Система автоматизованого проектування використовує англomовний інтерфейс. Перевірених або офіційних русифікаторів немає. Використання шрифтів True Type дозволяє робити написи українською та російською мовами.

Влітку 2006 року власник програми австралійська компанія Altium офіційно заявила, що припиняє розвиток P-CAD. Розробникам було запропоновано перейти на Altium Designer – більш потужний продукт компанії. Навесні 2008

року компанія оголосила про припинення фірмової (англомовної) технічної підтримки. Після 30 червня 2008 року легально придбати P-CAD можна.

Основні можливості P-CAD:

- зручний інтерфейс, схожий на більшість популярних програм для Windows;
- зберігання проектної інформації в бінарних і текстових файлах;
- зручна довідкова система;
- проект схеми може містити 999 аркушів, проект плати – до 999 шарів (11 з них стандартні);
- кількість доріжок в проекті – до 64000;
- кількість вентилів в компоненті – до 5000;
- максимальна кількість виводів у компонента – 10000;
- максимальні розміри листа схеми або креслення друкованої плати 60x60 дюймів;
- підтримка дюймової і метричної систем виміру;
- граничне розширення 0.0001 дюйма (0.1 мила) або 0.01 мм (10 мікрон);
- мінімальний кут повороту компонентів на платі – 0.1 град;
- довжина назв компонентів – до 30 символів, максимальний обсяг текстових написів і атрибутів – до 20000 символів;
- механізм перенесення змін друкованої плати на схему і навпаки (Engineering Change Order, ECO);
- бібліотеки компонентів, що містять більше 27000 елементів і сертифіковані за стандартом ISO 9001.

До складу даного програмного комплексу входить декілька тісно інтегрованих між собою модулів, взаємодію яких зображено на рис.1.8.



Рис.1.8. Структура системи проектування P-CAD.

В програмі P-CAD 2006 є можливість конвертувати файли в формат DXF, доступний таким системам як OrCAD, КОМПАС, AutoCAD і PRO Engineer, SolidWorks, а також навпаки. Здійснюється підтримка форматів ODB++ і Gerber. При експорті можна передавати інформацію про об'єкти, ланцюги та отвори. Користувач може передавати всю інформацію або тільки з обраних шарів. При формуванні Gerber-файла (і ODB++) P-CAD 2006 дозволяє представляти написи, виконані за допомогою шрифтів True Type в полігональному вигляді (кодування G36/G37), що дозволяє значно розширити кількість використовуваних шрифтів.

Порядок виконання робіт з проектування друкованих плат визначений в описі процесу "Проектування друкованих плат", який є керівним документом НПФ VD MAIS.

Роботи з проектування друкованих плат виконуються відповідно до вимог стандарту ISO 9001: 2008.

Проектування ДП виконується в САПР на базі програмних засобів Expedition PCB, P-CAD 2002-2006, Altium Designer 10, відповідно до стандарту ЕСКД або IPC (Інституту друкованого монтажу, США).

### **1.3. Висновки до 1 розділу**

В даному розділі проведено характеристику об'єкта проектування, розглянуто основні поняття, що стосуються ДП. Також описано програмний засіб, який допомагає створити плату та змодельовати її.

Програма P-CAD застосовується для створення різноманітних компонентів, будуються посадочні місця для них, складається схема, на основі якої пізніше проводять трасування у графічному редакторі PCB.

## 2. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

### 2.1. Розробка друкованих плат

Основні характеристики схеми залежать від топології ДП. Навіть при якісному проектуванні робота схеми може виявитись посередньою через погано продуману чи неакуратну друковану плату. Бути впевненим в тому, що схема покаже розрахункові параметри, можна тільки тоді, коли наперед продумано і звернено увагу на основні моменти на протязі всього процесу розробки топології ДП. Електрична схема – це необхідна, але недостатня умова хорошої топології. При її розробці не варто скупитися на додаткову інформацію на кресленні і уважно відслідковувати напрям проходження сигналу. Неперервність проходження сигналу зліва направо, скоріш за все, дасть той же ефект і на друкованій платі. Максимум корисної інформації в схемі забезпечить оптимальну роботу розробників, технарів, інженерів, які, при виникненні яких-небудь труднощів, зможуть в них легко розібратись, не розшукуючи розробника.

Додаткова інформація, яку крім звичайних позиційних позначень, розсіювання потужності і допусків варто наносити на схему:

- форми сигналів;
- механічну інформацію про корпус чи розміри;
- довжина доріжок, площадки, де не можна розмішувати деталі;
- деталі, які повинні бути на верхній стороні ДП, можна додати інструкцію по налаштуванню;
- діапазони номіналів елементів;
- теплову інформацію;
- короткий опис роботи схеми і т.д.

Для створення ДП, розробнику потрібно вказати такі дані:

- короткий опис функцій схеми;
- ескіз плати, на якій показані положення входів і виходів;
- конструктив плати (товщина, кількість шарів, деталі сигнальних шарів і суцільних шарів);

- сигнали, які повинні бути на кожному шарі;
- розміщення критичних елементів;
- критичні доріжки;
- лінії з узгодженим імпедансом (критичним опором);
- доріжки однакової довжини;
- розміри елементів;
- доріжки, далеко чи близько одна від одної;
- елементи на верхній та нижній частинах плати.

При розміщенні схеми на платі важливо все: від компонування окремих елементів до вибору того, які доріжки повинні бути розміщені поруч.

Як правило, визначається місце розташування входів, виходів і живлення. Особливу увагу варто приділити топології: розміщенню критичних елементів – як окремих доріжок, так і схеми загалом. Визначення місця розташування основних компонентів і шляхів проходження сигналу з самого початку дає впевненість, що схема буде працювати як потрібно. Це дозволяє зменшити вартість, вирішити проблеми і зменшити тривалість розведення плати.

Паразитні реактивності – це приховані ємності та індуктивності, що діють у високочастотних ланцюгах. Сюди відносяться індуктивності, утворені выводами елементів і довгими доріжками; ємності між контактними площадками і землею, шаром живлення і доріжками; взаємодія через перехідні отвори і багато інших факторів.

Шар землі діє як загальний опорний потенціал, забезпечує екранування, дозволяє відводити тепло і зменшує паразитну індуктивність (проте збільшує паразитну ємність).

В ідеалі один шар ДП повинен служити як шар землі. Найкращі результати виходять тоді, коли його цілісність не порушена. Не потрібно старатись видалити частину шару землі, щоб проводити по ньому сигнали. Він зменшує індуктивність доріжок, видаляючи магнітне поле між собою і провідником. Якщо ділянка шару землі під доріжкою видалена, доріжка отримує небажані паразитні індуктивності під або над ним.

Так як шар землі, як правило, має більшу площу і поперечний переріз, його опір зберігається мінімальним. На низьких частотах струм протікає шляхом найменшого опору, але на високих частотах – шляхом найбільшого опору. Тим не менше, є винятки, і інколи менший шар заземлення працює краще. Це стосується і високошвидкісних операційних підсилювачів, якщо видалити частину землі під вхідними і вихідними контактними площадками.

Паразитна ємність, що вводиться шаром землі на вході, добавляється до вхідної ємності операційного підсилювача, зменшує запас по фазі і може стати причиною нестабільності.

Аналогові і цифрові ланцюги, включаючи їх землю і підкладки, по можливості повинні бути розділені. Різкі фронти імпульсів створюють піки струму, що течуть по шару землі і створюють перешкоди, погіршуючи аналогові параметри схеми.

На друкованих платах електронних схем можуть одночасно бути присутні найрізноманітніші сигнали – аналогові і цифрові, з високою і низькою напругою, високим і низьким струмом – від постійного струму до гігагерцових частот. Не дати їм інтерферувати один з одним – важка задача.

Важливо наперед продумати план обробки сигналів на платі, відмітити, які з них чутливі, і визначити кроки для збереження їх недоторканості. Шари землі, крім надання опірного потенціалу для електричних сигналів, можна також використовувати і для екранування. Коли потрібно ізолювати сигнали, першим ділом слід забезпечити достатню відстань між доріжками сигналів. Розглянемо декілька практичних методів:

- мінімізація довжини доріжок на суміжних шарах допоможе запобігти ємнісному зв'язку;
- мінімізація довжини паралельних ліній і запобігання близького сусідства між сигнальними доріжками на одному і тому ж шарі зменшить індуктивний зв'язок;
- сигнальні доріжки, що потребують особливої ізоляції, повинні проходити на різних шарах, і якщо неможливо рознести подальше, тоді

перпендикулярно одна другій між ними варто прокласти шар землі. Перпендикулярне розведення мінімізує ємнісний зв'язок, а земля утворює електричний екран.

## **2.2. Тепловий розрахунок при розробці друкованої плати**

Розроблені за останні 20 років методи обчислюваної гідро- і газодинаміки дозволяють моделювати тривимірне розподілення тепла, що виводиться в навколишнє середовище, що оточує плату, і передбачати значення температури корпусів і р-n-переходів напівпровідникових приборів на платі в реальних робочих умовах. Проектувальники зазвичай використовують ці призначені значення для оцінювання відповідності характеристик створюваного приладу його технічним умовам шляхом порівняння значень температури, отриманих в результаті моделювання теплового розподілення, з максимальними заданими значеннями. Якщо значення робочої температури перевищує задане, то очевидно можлива деградація характеристик напівпровідникового компонента, а в гіршому випадку – ризик його відмови в результаті термомеханічного впливу. Шляхом моделювання тривимірного розподілення температури і температурного поля плати можна отримати детальну і корисну інформацію про теплові властивості плати, але цей метод не дозволяє зрозуміти фізику виникнення надлишкового тепла і чим викликано отримане розподілення температур.

Вектори теплового потоку дозволяють визначити шляхи усунення надлишкового тепла, але при цьому знати напрям вектора і значення температури недостатньо для встановлення причини виділення цього надлишкового тепла. Неможна й визначити найкращі шляхи відведення тепла чи потрібне для покращення робочих характеристик пристрою коригування конструкції плати.

За характером шляху поширення теплового потоку від різноманітних його джерел до навколишнього середовища можна зробити висновки про значення температури джерел і всіх точок на цьому шляху. Шлях теплового потоку

тривимірний і неоднорідний, на деяких ділянках його поширення ускладнено, на інших – полегшено. Ділянки з великим тепловим опором, в яких з важкістю поширюється велика кількість тепла, утворюють так звані вузькі шийки. Шляхом зміни конструкції системи можна позбутись частини таких вузьких шийок, полегшити поширення тепла від джерела до навколишнього середовища, і таким чином, зменшити збільшення температури на цілому шляху теплового потоку. Крім цього, існують і нереалізовані шляхи поширення теплового потоку по ділянках з меншою, ніж на інших ділянках плати, температурою. Таким чином, доробка конструкції дозволяє не тільки полегшити проблему виникнення вузьких шийок, а й ввести теплові, так звані «коротко замикаючі», шляхи відведення тепла, що дозволяє обійти ділянки з великим тепловим опором.

Без виявлення таких вузьких шийок і визначення коротко замикаючих їх шляхів, розробники друкованих плат стикаються з важким вибором: або необхідністю запрошувати експертів для вирішення теплових проблем, або надіятись на можливість ведення тепловідводів після збірки друкованої плати. Оскільки при моделюванні не можна визначити напрям поширення теплового потоку, інженери-теплотехніки при вирішенні задачі покращення теплового режиму друкованої плати з мікросхемами зазвичай спираються на свій досвід і технічну оцінку отриманих результатів. І сьогодні їх задача, як правило, полягає в розробці експериментів, які дозволили б оцінити шляхи поширення теплового потоку і автоматично оптимізувати конструкцію на основі даних, отриманих при CFD-моделюванні (рис. 2.1). А це займає багато часу і ресурсів, які можуть бути спрямовані на вирішення інших, не менш важливих задач.

### **2.3. Техніка розведення друкованих плат**

Аналогова схемотехніка суттєво відрізняється від цифрової, тому ця частина схеми має бути відокремлена від іншої частини, а для розведення елементів необхідно використати спеціальні методи та правила. Шуми, що виникають через неідеальні характеристики ДП, найбільш помітні у високочастотних аналогових схемах, але проблеми загального вигляду, що

описуються далі, можуть впливати навіть на роботу пристроїв (їх якісні характеристики), що працюють в звуковому діапазоні частот.

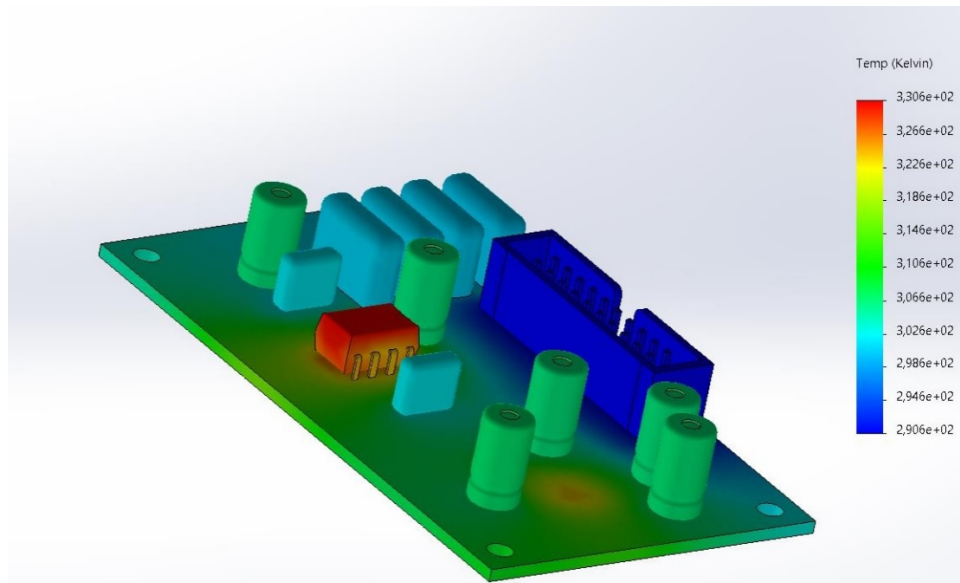


Рис. 2.1. Розподілення температури на друкованій платі.

#### *Друкована плата, як компонент схеми*

Дуже рідко трапляється так, щоб ДП аналогової схеми розвели так, щоб вона не пошкоджувала роботу самої схеми. Незважаючи на це, усі впливи аналогової схеми можна мінімізувати настільки, щоб характеристики пристрою були такими ж, як і характеристики моделі та прототипу.

#### *Макетування*

При розробці цифрових схем, розробники можуть виправляти помилки та недоліки на платі, добавляючи на неї перемикачі або видаляючи лишні провідники, змінюючи роботу запрограмованих мікросхем, що дозволяє перейти далі до розробки наступної плати. З аналоговою схемою це відбувається по-іншому. Не всі розповсюджені помилки можна виправити з добавленням перемичок чи видаленням зайвих провідників. Вони можуть і будуть приводити в неробочий стан друковану плату повністю.

Дуже важливо для розробника цифрових схем, що використовує такі способи виправлення, зрозуміти проблему завчасно, до передачі проекту в виробництво. Приділивши трошки більше уваги при розробці, і обговоренні можливих варіантів допоможуть не тільки запобігти перетворенню друкованої

плати в непотріб, а й зменшити вартість розробки через грубі помилки в невеликій аналоговій частині схеми. На пошук помилок і їх виправлення можна витратити сотні годин. Макетування може скоротити цей час до одного дня або менше. Необхідно макетувати всі свої аналогові схеми.

### *Джерела шумів і перешкод*

Найбільш поширеними основними елементами, що можуть обмежити якісні х-ки схеми, є шуми. Вони можуть як випромінюватись від джерела і заважати елементу, так і наводитись на нього. Аналогову схему досить часто на ДП розташовують біля швидкодіючих цифрових компонентів, враховуючи цифрові сигнал-процесори (DSP).

Високочастотні логічні сигнали створюють великі радіочастотні завади (RFI). Є надзвичайно багато джерел, що випромінюють шум, наприклад: ключові джерела живлення цифрових систем, мобільні телефони, телебачення, джерела живлення ламп денного світла, ПК, грозові розряди і т.д.

### *Категорії друкованих плат*

Важливою справою є вибрати конструкцію ДП, що буде визначати загальні механічні х-ки при загальному використанні пристрою. Для виготовлення ДП можна використати матеріали, що мають різний рівень якості. Звісно, було б дуже зручно для розробника, якби друковані плати вироблялись неподалік. Це б дало можливість легко здійснювати контроль за основними параметрами матеріалу ДП. До основних параметрів належать питомий опір та діелектрична стала, але також може знадобитись знання й таких параметрів, як: займистість, високотемпературна стабільність, коефіцієнт гігроскопічності.

Шаруваті матеріали позначаються індексами FR (flame resistant, опірність до займання) і G. Матеріал з індексом FR-1 володіє найбільшою горючістю, а FR-5 – найменшою. Матеріали з індексами G10 і G11 володіють особливими характеристиками. Матеріали друкованих плат наведено в табл. 2.1.

Не варто використовувати ДП категорії FR-1. На яких залишаються ушкодження від теплового впливу потужних компонентів. Плати цієї категорії більш схожі на картон.

Плати категорії FR-4 часто використовують при виготовленні промислового устаткування, в той час, як плати категорії FR-2 використовують у виробництві побутової техніки. Ці дві категорії стандартизовані в промисловості, а друковані плати FR-2 і FR-4 часто підходять для більшості додатків. Інколи недостатньо хороші характеристики цих категорій заставляють використовувати інші матеріали. Наприклад, для дуже високочастотних додатків в якості матеріалу ДП їх краще замінити фторопластом і навіть керамікою. Проте, чим рідкісніший матеріал друкованої плати, тим вищу ціну за нього хочуть виробники.

Таблиця 2.1.

## Категорії матеріалів друкованих плат

<b>Категорія</b>	<b>Опис компонентів</b>
FR-1	папір, фенольна композиція: пресування і штампування відбувається при кімнатній температурі, має високий коефіцієнт гігроскопічності
FR-2	папір, фенольна композиція: може застосовуватись для односторонніх друкованих плат, з невисоким коефіцієнтом гігроскопічності
FR-3	папір, епоксидна композиція: для розробки з хорошими механічними і електричними характеристиками
FR-4	склотканина, епоксидна композиція: характерні чудові механічні та електричні властивості
FR-5	склотканина, епоксидна композиція: мають високу міцність при підвищених температурах, не загоряються
G10	склотканина, епоксидна композиція: високі ізоляційні властивості, найвища міцність склотканини, з низьким коефіцієнтом гігроскопічності
G11	склотканина, епоксидна композиція: висока міцність на вигин при підвищених температурах, висока опірність розчинників

Вибираючи матеріал для ДП велику увагу варто приділити показнику гігроскопічності, тому що він може негативно вплинути на бажані х-ки плати – поверхневий опір, витік, високовольтні ізоляційні властивості, механічну міцність. Також не варто нехтувати робочою температурою. Ділянки з високою температурою можуть зустрічатися в несподіваних місцях, наприклад, поруч з великими цифровими інтегральними схемами, перемикання яких відбуваються на високій частоті. Якщо такі ділянки розташовані безпосередньо під аналоговими компонентами, підвищення температури може позначитися на зміні характеристик аналогової схеми.

#### **2.4. Проектування друкованих плат**

Електронні обчислювальні машини (ЕОМ) значно змінились за останні роки. Тепер вони стали надійнішими та стійкішими у використанні, збільшилась область їхнього застосування. ЕОМ стали системами, що можуть забезпечити роботу користувачів, які працюють в різних напрямках. Тепер багато речей залежать від успішного вирішення проблеми автоматизації проектування, в тому числі і науково-технічний прогрес в області створення нових засобів радіоелектроніки та обчислювальної техніки. У порівнянні з сучасною апаратурою, ефективність роботи людини значно поступається та зростає кількість помилок.

У загальному вигляді завдання розміщення полягає у визначенні оптимального критерію положення елементів і зв'язків між ними в монтажному просторі типової конструкції. При цьому повинні виконуватись задані конструктивно-технологічні обмеження. У такій постановці завдання розміщення можна сформулювати як цілочисельне програмування, проте через велику розмірність її практична реалізація недоцільна. Задачу розміщення умовно розбивають на дві: розміщення конструктивних елементів і трасування зв'язків між ними.

При такому підході, задача розміщення зводиться до знаходження оптимального розташування елементів і зовнішніх контактів в монтажній

області типової конструкції. У ряді алгоритмів розміщення елементів виконується без урахування їх зв'язків із зовнішніми виводами, тому елементи, які мають зв'язки з зовнішніми виводами, можуть виявитися на значній відстані від них, що ускладнить подальше трасування з'єднань.

Початкові дані для задачі розміщення: схема з'єднання елементів, метричні параметри і топологічні властивості монтажного простору.

Головна мета розміщення – створення найкращих умов для трасування. Через умовності поділу завдань розміщення і трасування важко встановити для завдання розміщення такий критерій оптимізації, який в достатній мірі задовольняв би вимогам трасування. В даний час використовують критерії:

- мінімум сумарної довжини всіх з'єднань або довжини найдовшої доріжки;
- мінімум кількості перетинів доріжок при довільній їх конфігурації;
- максимум кількості доріжок з найпростішою конфігурацією;
- максимально близьке розташування модулів, що мають найбільшу кількість зв'язків між собою.

Зазначені критерії лише якісно сприяють вирішенню головного завдання розміщення. Найбільш поширений критерій мінімуму сумарної довжини з'єднань, так як при його оптимізації побічно мінімізуються довжина зв'язків і число їх перетинів, знижуються спотворення сигналів.

Алгоритми розміщення можна звести до таких основних груп:

- алгоритми вирішення задач математичного програмування, які є моделями завдання розміщення;
- послідовні алгоритми;
- ітераційні алгоритми;
- алгоритми, що використовують безперервно-дискретні методи оптимізації.

Трасування полягає у визначенні конкретної геометрії друкованого або провідного монтажу, що реалізує з'єднання між елементами схеми. Початковими даними для трасування є: список ланцюгів, метричні параметри і топологічні

властивості типової конструкції і її елементів, результати вирішення задачі розміщення, за якими знаходяться координати виводів елементів. Формальна постановка задачі трасування і методи її вирішення в значній мірі залежать від виду монтажу (провідний або друкований) і конструктивно-технологічних обмежень, що визначають метричні параметри і топологічні властивості монтажного простору.

У процесі проектування друкованих плат, виділяють наступні три основних етапи:

#### 1) Підготовка схеми електричної принципової

Процес проектування друкованої плати починається зі створення бібліотеки компонентів для проекту. На цьому етапі ведеться пошук і вивчення документації на використовувані компоненти.

Кожен компонент бібліотеки містить умовно-графічне позначення компонента для редактора схем, і посадочне місце для редактора топології.

Комплексний підхід полягає в тому, що вже на цьому етапі здійснюється підготовка стратегії трасування провідників майбутньої друкованої плати, визначаються класи ланцюгів і задаються необхідні технологічні параметри, а так само формуються дані необхідні для підготовки конструкторської документації.

Після завершення робіт з введення схеми здійснюється перевірка на наявність помилок і відповідність заданим параметрам, і в разі успішного проходження тесту генерується список ланцюгів для передачі в програму трасування. З цього моменту виключається будь ймовірність виникнення помилок на подальших етапах проектування .

#### 2) Трасування друкованої плати

Етап трасування друкованої плати є найбільш трудомістким у всій послідовності етапів.

На етапі попереднього розміщення компонентів визначається можливість проектованої плати відповідати необхідним технічним параметрам, проводиться

корекція цих параметрів (як з метою поліпшення, так і з метою оптимізації), і вибирається найкращий варіант.

Після того як вирішення питання розміщення компонентів закінчено починається процес трасування провідників, залежно від стратегії прийнятої на етапі підготовки схеми.

Трасування провідників може відбуватися різними способами, за допомогою спеціалізованих програм в автоматичному режимі, в інтерактивному режимі, в ручному режимі.

У процесі трасування провідників проводиться перевірка на наявність помилок і відповідність всім закладеним технологічними параметрами. Після закінчення процесу трасування провідників і позитивному результаті перевірки, процес трасування провідників можна вважати успішним.

### 3) Підготовка конструкторської документації

В залежності від вимог, зазначених у технічному завданні, на заключному етапі відбувається підготовка конструкторської документації, складається перелік елементів (специфікація), і формуються складальні креслення необхідні для монтажу радіоелементів.

На складальних кресленнях додатково зазначаються вимоги по монтажу певних компонентів (запаювання шлейфів, установка радіаторів, дані моткових виробів) та інші особливості. Вказуються компоненти, що мають не однозначний варіант установки.

Результатом виконання всіх етапів проектування буде друкована плата.

Трасувальник Cadence Spectra Expert займає сьогодні лідируючу позицію серед систем для автоматичного та інтерактивного трасування друкованих плат і складних інтегральних схем. Він розроблений для ДП високої щільності, які вимагають складних правил проектування. Трасувальник використовує сильний безсітковий алгоритм, що дозволяє ефективно використовувати простір для проведення доріжок. В результаті збільшується виробництво та зменшується стадія проектування.

Всі системи проектування друкованих плат (layout system) зберігають інформацію в своїх унікальних форматах, але автотрасувальник Specstra зберігає проекти в одному своєму форматі. Всі файли, які може читати або записувати автотрасувальник – це текстові файли. Вони наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

## Текстові файли програми Specstra

Тип файлу	Розширення	Опис
Проект	.DSN	Створюється при трансляції проекту з системи проектування ДП. Містить інформацію про межі плати, визначення шарів і стеків контактних майданчиків, дані компонентів, список ланцюгів, попереднє розведення і правила проектування.
Сесія	.SES	Створюється трасувальником. Містить вказівник на початковий файл проекту, дані про розміщення і трасування, інформацію про секції компонентів, підсекції, виводи.
Шляхи	.RTE	Створюється трасувальником. Містить дані, які можуть бути передані в вашу систему проектування ДП і прочитані автотрасувальником.
Ланцюги	.W	Створюється трасувальником. Містить дані про трасування, які можуть бути прочитані тільки автотрасувальником.

Specstra Expert є частиною систем Allegro PCB (проектування інтегральних мікросхем) і підсистеми контролю цілісності сигналів (Specstra Quest signal integrity). Також вона інтегрована в інші, найбільш популярні системи PCB CAD, включаючи серію продуктів Cadence OrCAD Layout.

Specstra – це набір інструментів для автоматизації проектування ДП. Її інструменти можна використовувати для автоматичного та інтерактивного

проектування складних друкованих плат з компонентами для поверхневого монтажу та монтажу в отвори.

Серед інструментів даного продукту можна знайти графічний користувацький інтерфейс і адаптивну ShapeBased технологію. Планарні контактні площадки, наскрізні контактні площадки, доріжки й інші елементи схеми моделюються як базисні графічні образи. Кожен образ має асоційовані з ним правила, такі як відступи між компонентами та їх орієнтацію, ширину доріжок, часові правила, електричні шуми і поперечні електричні наведення.

Переваги технології ShapeBased:

- точне моделювання контактних площадок, виводів;
- використання точних розмірів образів через максимізацію доступного простору і пристосування набору образів, виводів і розмірів компонентів;
- підтримка складних ієрархічних правил проектування дозволяє пришвидшити процес виготовлення деталей;
- безсіткове трасування і мінімальна сітка для доріжок дозволяє зменшити кількість сигнальних шарів.

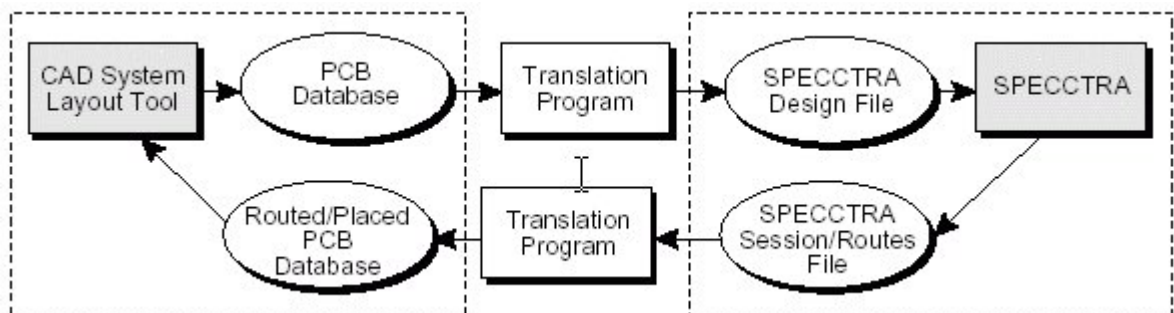


Рис. 2.2. Передача даних між трасувальником та системою проектування друкованих плат.

Трасувальник Specctra використовує підхід, що називається адаптивним трасуванням. Трасувальник намагається з'єднати всі зв'язки за перше проходження трасування, допускаючи лише наявність конфліктів відступів та перетинів. В кожному додатковому проходженні трасувальник зменшує

кількість конфліктів, використовуючи алгоритми розсуення і повторного прокладення.

З кожним кроком Specstra збирає інформацію та вивчає проблемні ділянки для того, щоб їх усунути і завершити трасування.

Для початку роботи з системою необхідно загрузити дані про ДП, створені в основній САПР або в попередніх версіях Specstra. Ці проектні дані складаються із одного або декількох файлів.

Головні властивості Specstra Expert:

- система доступна на платформах Windows NT і Unix з ліцензією, що допускає роботу на будь-якій із платформ;
- підтримка правил обробки високошвидкісних сигналів і обмежень для затримок, поперечних наведень, контроль повних опорів, дифференціальних пар, планування топології шляхів, включаючи віртуальні контакти компонентів;
- трасування вибраних доріжок в реальному часі з врахуванням властивостей затримок, поперечних наведень, імпеданса і дифференціальних пар;
- автоматичне розподілення доріжок з автоматичним підключенням додаткових перехідних отворів;
- 45-градусне або ортогональне трасування;
- повна підтримка структури Microvia;
- рекурсивний засіб введення фасок і отримання результатів, близьких до результатів ручного трасування;
- планування інтерактивного трасування і автоматичного розміщення компонентів;
- автоматичне розміщення компонентів на шарі.

Топологічний трасувальник TopoR (Topological Router) відрізняється тим, що не має переважних напрямків трасування, кратних  $45^\circ$ . Трасування під довільними кутами забезпечує більш економічне використання комутаційного простору.

Додаткова перевага забезпечується використанням згладжування провідників дугами або апроксимуючими дугу лініями.

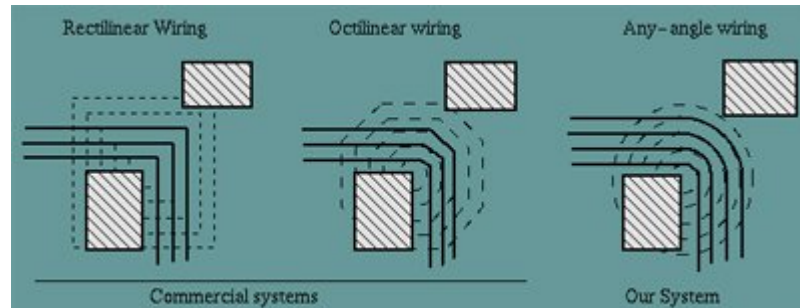


Рис. 2.3. Використання трасування зі згладженням дуг.

При використанні трасування, кратного  $45^\circ$ , зазори нерівномірні і їх мінімальна величина приблизно на 30% менше.

Таким чином, використовувана САПР ТороR трасування під довільними кутами зі згладжуванням дуг забезпечує найбільш ефективне використання комутаційного простору плати.

САПР ТороR лідирує в області високооптимізованих алгоритмів проектування одношарових друкованих плат. Завдяки ефективним алгоритмам мінімізації кількості і довжини перемичок забезпечуються результати, які можна порівняти з ручним трасуванням. Розповсюджені, в тому числі першокласні, САПР друкованих плат з такого роду завданнями не справляються.

ТороR – це незамінний інструмент для проектування гнучких друкованих плат.

Уміння мінімізувати кількість міжшарових переходів робить ТороR найкращим автотрасувальником при конструюванні гнучких друкованих плат.

Гнучкі друковані плати є наборами сполучних кабелів, які можуть містити одношарові, двошарові і багатшарові структури. Плати можуть бути як повністю гнучкими, так і являти собою комбінацію жорстких і гнучких частин. Типовими вимогами до провідників в частині що згинається є:

- перпендикулярність до напрямку вигину;
- "шахове" розташування на суміжних шарах;

- металізовані перехідні отвори не допускаються.

Завдяки унікальним алгоритмам трасування САПР ТороR забезпечує рекордні показники по мінімізації кількості міжшарових переходів і сумарної довжини провідників на проєктованій друкованій платі.

Як результат, ТороR дозволяє спроектувати ту ж саму друковану плату з меншою кількістю шарів, і/або меншого розміру, і/або більш дешево у виробництві, і/або володіє кращими показниками по електромагнітній сумісності, в тому числі за рахунок збільшених зазорів між провідниками.

В даний час, коли в діяльність проєктних організацій швидко проникає комп'ютеризація, що піднімає проєктну роботу на якісно новий рівень, при якому різко підвищуються темпи і якість проєктування, більш обґрунтовано вирішуються багато складних інженерних завдань, які раніше розглядалися лише спрощено. Багато в чому це відбувається завдяки використанню ефективних спеціалізованих програм, які можуть бути як самостійними, так і у вигляді додатків до загальнотехнічних програм. Діяльність зі створення програмних продуктів і технічних засобів для автоматизації проєктних робіт має загальну назву – САПР.

САПР (англ. CAD, Computer-Aided Design) – програмний пакет, призначений для проєктування (розробки) об'єктів виробництва (або будівництва), а також оформлення конструкторської та/або технологічної документації.

Компоненти багатofункціональних систем САПР традиційно групуються в три основні блоки CAD, CAM, CAE. Модулі блоку CAD (Computer Aided Design) призначені в основному для виконання графічних робіт, модулі CAM (Computer Aided Manufacturing) – для вирішення завдань технологічної підготовки виробництва, модулі CAE (Computer Aided Engineering) – для інженерних розрахунків, аналізу та перевірки проєктних рішень.

Існує велика кількість пакетів САПР різного рівня. Значного поширення набули системи, в яких основна увага зосереджена на створенні "відкритих" (тобто допускають розширення) базових графічних модулів CAD, а модулі для

виконання розрахункових або технологічних задач (відповідні блокам САМ і САЕ) залишаються для розробки користувачам або організаціям, спеціалізованим на відповідному програмуванні. Такі додаткові модулі можуть використовуватися і самостійно, без САД-систем, що дуже часто практикується в будівельному проектуванні. Вони самі можуть представляти великі програмні комплекси, для яких розробляються свої додатки, що дозволяють вирішувати більш вузькі завдання.

Одним з найбільших постачальників у світі програмного забезпечення для будівництва, машинобудування, ринку засобів інформації є компанія Autodesk, Inc. Починаючи з 1982 року компанія розробила широкий спектр рішень для архітекторів, інженерів, конструкторів, що дозволяють їм створювати цифрові моделі. За допомогою технології Autodesk, що використовуються для візуалізації, моделювання і аналізу поведінки конструкцій на ранніх стадіях проектування можна не лише побачити модель на екрані, але й випробувати її.

- SolidWorks – продукт компанії SolidWorks Corporation, система автоматизованого проектування, інженерного аналізу та підготовки виробництва виробів будь-якої складності і призначення. Вона являє собою інструментальне середовище, призначене для автоматизації проектування складних виробів в машинобудуванні і в інших галузях промисловості. Має засоби для 3D проектування друкованих плат Circuitworks на основі проведеного моделювання в Pcad. Тому твердотільне моделювання, яке реалізовано в Solidworks, розширило можливості з проектування друкованих плат за допомогою сукупності прийомів і інструментів (програмних та апаратних), призначених для зображення об'ємних об'єктів.

Методи 3D моделювання:

- Моделювання сплайна – це моделювання математично гладкими лініями - сплайнами.
- Полігональне моделювання – це розстановка кутів, вершин багатокутників в тривимірному просторі.

Тривимірне зображення на площині відрізняється від двовимірного тим, що включає побудову геометричної проекції тривимірної моделі сцени на площину (наприклад, екран комп'ютера) за допомогою спеціалізованих програм. При цьому модель може як відповідати об'єктам з реального світу (автомобілі, будівлі, та ін.), так і бути повністю абстрактними.

Для отримання тривимірного зображення на площині потрібні наступні етапи:

- Моделювання – створення тривимірної математичної моделі сцени і об'єктів в ній.
- Рендеринг (візуалізація) – побудова проекції відповідно до обраної фізичної моделі.

3D моделі створюються в CAD-системах (або в CAD/CAM-системах) наявними в них засобами геометричного моделювання. Модель зберігається в системі як деякий математичний опис і відображається на екрані у вигляді просторового об'єкта.

Побудова просторової геометричної моделі виробу є центральним завданням комп'ютерного проектування. Саме ця модель використовується для подальшого вирішення завдань формування креслярсько-конструкторської документації, проектування засобів технологічного оснащення, розробки керуючих програм для верстатів з ЧПК. Крім того, ця модель передається в системи інженерного аналізу (CAE-системи) і використовується там для проведення інженерних розрахунків. За комп'ютерної моделі за допомогою методів і засобів швидкого прототипування може бути отриманий фізичний зразок виробу. 3D модель може бути не тільки побудована засобами даної CAD-системи, але, в окремому випадку, прийнята з іншої CAD-системи через один з узгоджених інтерфейсів, або сформована за результатами обміру фізичного виробу-прототипу на координатно-вимірювальній машині.

## **2.5. Висновки до 2 розділу**

У другому розділі розглянуто як розробляються ДП для високочастотних схем, як впливає теплова характеристика елемента на ДП, показано техніку розведення друкованих плат. Було проаналізовано найпопулярніші системи для автоматичного трасування: Specstra та TopoR.

Також наведено сучасні системи для автоматизованого моделювання, а саме Solidworks, та згадано основні методи 3D моделювання.

### 3. 3D МОДЕЛЮВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

#### 3.1. Вибір середовища для 3D моделювання ДП

SolidWorks API (Application Programming Interface) - це інтерфейс, що дозволяє розробляти власні програми для системи SolidWorks. API-інтерфейс містить безліч функцій, які можна викликати із програм Microsoft Visual Basic, Microsoft Visual C ++, Microsoft Visual Studio або з файлів-макросів SolidWorks. Ці функції надають програмісту прямий доступ до функціональних можливостей SolidWorks.

За допомогою API-додатків можна вирішувати безліч різних завдань, наприклад такі як: інтеграція SolidWorks з іншими програмними пакетами, розробка спеціалізованих модулів, що додають до базових можливостей SolidWorks додаткову функціональність і різні інші завдання. API - додатки дозволяють отримати безліч конфігурацій однієї деталі або збірки, тим самим виграти величезну кількість часу при прийнятті конструкторських рішень.

Розробка API-додатка може здійснюватися на рівні створення макросу в SolidWorks, або на рівні окремого додатка, написаного на мові C# або VisualBasic. Всі динамічні бібліотеки, необхідні для роботи з API-додатками автоматично встановлюються разом з SolidWorks. Як правило, якщо необхідно розробити повноцінний додаток, для геометричних побудов зручніше використовувати програмний код, записаний в макрос SolidWorks. Для початку роботи з макросами, необхідно в програмному пакеті SolidWorks відобразити панель інструментів «Макрос».

##### 3.1.1. Процес створення та запису макросів





Макроси – це сценарії, які дозволяють запускати операції в програмному забезпеченні SolidWorks автоматично. За допомогою макросу можна автоматизувати будь-яку дію, яка виконується у використовуваному додатку. Макрос можна записати на різних мовах програмування.

Можна створити макрос і запрограмувати його поза програмним забезпеченням SolidWorks або можна записати макрос, який фіксує послідовність дій і команд при їх виконанні в програмному забезпеченні SolidWorks. Його можна запустити з панелі інструментів Макрос або меню Інструменти.

Спочатку потрібно додати панель макросів, що виглядає наступним чином:



Варіанти роботи з макросами:

- Створити макрос ;
- Редагувати макрос ;
- Записати макрос ;
- Виконати макрос .

Створення нового макросу відрізняється від запису макросу. При створенні нового макросу він програмується користувачем безпосередньо в програмі сканування макросів, наприклад, Microsoft Visual Basic. При записи макросу він створюється всередині програми SolidWorks.

Для створення нового макросу:

Натисніть 'Створити макрос' (панель інструментів "Макрос") або натисніть Інструменти> Макрос> Новий. Введіть ім'я файлу. Натисніть Зберегти. Відкриється програма для редагування макросів, готова для програмування нового макросу.

Можна записати операції, що виконуються за допомогою інтерфейсу користувача SolidWorks, і відтворювати їх, використовуючи макроси SolidWorks.

Ці макроси містять виклики, еквівалентні викликам функцій API, які здійснювалися при виконанні операцій за допомогою інтерфейсу користувача. Макрос може записати вибори за допомогою миші, вибори в меню і введену за допомогою клавіатури інформацію.

Файли макросів елементів створюють обумовлені додатком елементи, які можна додати в модель SolidWorks. Ступінь їх впливу на модель визначається програмами, які налаштовуються користувачами і які поставляються сторонніми розробниками програмного забезпечення.

### 3.1.2. Розміщення елементів на платі засобами SolidWorks API

API-додаток можна розробляти безпосередньо в Visual Studio, використовуючи при цьому програмний код, згенерований при записі макросу.

Для створення додатку у Visual Studio на мові C#, спочатку необхідно додати певні бібліотеки. Далі прописуємо код, який буде відкривати програму SolidWorks.

Для припинення запису макросу і його збереження натискаємо «Зупинити запис макросу» і вказуємо шлях збереження. В результаті отримуємо згенерований код на мові C #, який ми можемо використовувати в своєму Windows Form додатку. Однак в проект необхідно додати деякий код для створення нового файлу деталі. Фрагмент коду виглядає наступним чином:

```
Document = "C:\\ProgramData\\SolidWorks\\SolidWorks\\templates\\ Сборка.asmdot";
swModelDoc = (ModelDoc2)swApp.OpenDoc6(document,
(int)swDocumentTypes_e.swDocASSEMBLY,
(int)swOpenDocOptions_e.swOpenDocOptions_Silent, "", ref errors, ref warnings);
```

Основні методи, зміна формальних параметрів яких може вплинути на геометрію даної моделі:

- Метод InsertSketch класу SketchManager служить для додавання ескізу в активній площині. В якості формального параметра приймає значення типу bool. Перш ніж створювати новий ескіз слід вибрати площину, на якій він буде розміщений.

```
swModel.Extension.SelectByID2("Сверху", "PLANE", 0, 0, 0, false, 0, null, 0);
swModel.SketchManager.InsertSketch(true);
```

- Метод CreateLine класу SketchManager служить для створення нової лінії ескізу в режимі редагування ескізу. Приймає 6 формальних параметрів –

координати кінцевої і початкової точки лінії. Аналогічно методу CreateLine існують методи для створення інших елементів ескизу. Приклад використання методу CreateCornerRectangle та CreateCircle:

```
swModel.SketchManager.CreateCornerRectangle(0, 0, 0, l, w, 0);
swModel.SketchManager.CreateCircle(0.004, w - 0.004, 0, 0.004, w - 0.004 + 0.00135, 0);
```

- Метод EditDimensionProperties класу swDoc служить для редагування властивостей нанесеного розміру. Приймає безліч формальних параметрів, кожен з яких відповідає за певний стан будь - якої властивості розміру.

- Метод AddDimension класу swDoc служить для створення нового розміру і в якості формальних параметрів приймає координати граничних точок розміру. Для коректного використання необхідно явне приведення до типу DisplayDimension.

### 3.2. Розроблення підсистеми для проектування ДП

Середовищем для створення підсистеми було обрано Visual Studio Community через те, що це безкоштовне, інтегроване середовище розробки для створення додатків для Windows, Android і iOS, а також web-додатків. Це безкоштовне середовище розробки, і воно може бути використане індивідуальними розробниками для створення власних додатків, а також для проектів з відкритим кодом, наукових досліджень і освіти.

Visual Studio Community дозволяє розробляти програми з використанням наступних мов програмування: C++, C#, Visual Basic, F#, JavaScript, TypeScript, Python.

Вимоги до обладнання:

- процесор з частотою 1.6 ГГц (або вище);
- 1 Гб оперативної пам'яті (1,5 Гб при роботі на віртуальній машині);
- 6 Гб вільного простору на жорсткому диску;
- жорсткий диск (5400 об/хв);
- відеоадаптер з підтримкою DirectX 9, мінімально допустимий дозвіл екрана – +1024 x 768.

### 3.2.1. Вибір середовища для створення інтерфейсу

Windows Presentation Foundation (WPF) являє собою великий API-інтерфейс для створення настільних графічних програм, які мають насичений дизайн та інтерактивність. На відміну від старішої технології Windows Forms, WPF включає нову модель побудови призначених для користувача додатків (в основі WPF лежить потужна інфраструктура, заснована на DirectX).

Це означає можливість застосування розвинених графічних ефектів, не платячи за це продуктивністю, як це було в Windows Forms. Фактично навіть стають доступними такі розширені засоби, як підтримка відеофайлів і тривимірний вміст. Використовуючи ці засоби (при наявності хорошого інструменту графічного дизайну), можна створювати дуже гарні та якісні, призначені для користувача, інтерфейси і візуальні ефекти, які неможливо було б створити в Windows Forms.

При розробці WPF додатків необхідно думати зовсім інакше, ніж при розробці додатків за технологією Windows Forms. Розробник повинен сконцентрувати свою увагу на перевагах нових можливостей зв'язування, що надаються мовою XAML, і розглядати свій код не як контролер призначеного для користувача інтерфейсу, а як обслуговуючий механізм. Тепер код не повинен "проштовхувати" дані в призначений для користувача інтерфейс і говорити йому, що робити. Замість цього для користувача інтерфейс повинен питати у коду, що робити, і посилати йому запити на дані (тобто "виштовхувати" їх з нього). Різниця майже непомітна, але спосіб визначення презентаційного шару додатка змінюється радикально. Уявіть собі, що призначений для користувача інтерфейс тепер начальник. Код може (і повинен) приймати рішення, але більше не повинен ініціювати дії.

Переваги, що пропонує WPF для розробника:

- використання традиційних мов .NET-платформи – C# і VB.NET для створення логіки додатка;
- можливість декларативного визначення графічного інтерфейсу за допомогою спеціальної мови розмітки XAML, заснованому на xml і представляє

альтернативу програмному створенню графіки та елементів управління, а також можливість комбінувати XAML і C# / VB.NET;

- незалежність від розширення екрану: оскільки в WPF всі елементи вимірюються в незалежних від пристрою одиницях, додатки на WPF легко масштабуються під різні екрани з різним розширенням;
- нові можливості, яких складно було досягти в WinForms, наприклад, створення тривимірних моделей, прив'язка даних, використання таких елементів, як стилі, шаблони, теми і ін.;
- добре взаємодіє з WinForms, завдяки чому, наприклад, в додатках WPF можна використовувати традиційні елементи управління з WinForms.
- великі можливості по створенню різних додатків: це і мультимедіа, і двомірна і тривимірна графіка, і багатий набір вбудованих елементів управління, а також можливість самим створювати нові елементи, створення анімацій, прив'язка даних, стилі, шаблони, теми і багато іншого;
- апаратне прискорення графіки – незалежно від того, чи працюєте ви з 2D або 3D, графікою або текстом, всі компоненти програми транслюються в об'єкти, зрозумілі Direct3D, і потім візуалізуються за допомогою процесора на відеокарті, що підвищує продуктивність, роблячи графіку більш плавною.
- створення додатків під безліч ОС сімейства Windows – від Windows XP до Windows 10.

Також варто враховувати, що в порівнянні з додатками на Windows Forms обсяг програм на WPF і споживання ними пам'яті в процесі роботи в середньому трохи вище. Але це з лишком компенсується більш широкими графічними можливостями і високою продуктивністю при відображенні графіки.

WPF є частиною екосистеми .NET і розвивається разом з фреймворком .NET і має ті ж версії. Перша версія WPF 3.0 вийшла разом з .NET 3.0 і операційною системою Windows Vista в 2006 році. З тих пір платформа послідовно розвивається. Остання версія WPF 4.6 вийшла паралельно з .NET 4.6 в липні 2015 року, ознаменувавши дев'ятиріччя даної платформи.

### 3.2.2. Особливості роботи підсистеми

Представлена підсистема працює за наступним алгоритмом (рис. 3.1).

Для початку роботи з підсистемою користувач має ввести вхідні дані. Це довжина, ширина та висота плати. Після цього здійснюється побудова плати (якщо дані введено вірно: нема від'ємних значень, відсутні символи і т.д.). Якщо користувач не помилився і його задовольняє плата заданих розмірів, тоді можна переходити до наступного кроку. В іншому випадку, якщо плата виявилась замалою чи зavelикою, можна вернутись до першої сторінки та задати інші значення.

Наступним кроком є добавлення плати в збірку, де ми зможемо розташовувати на ній потрібні елементи.

Тепер потрібно перейти до другої сторінки підсистеми, де можна обрати елементи з бібліотеки. Після вибору елемента користувач має ввести координати, де саме елемент має знаходитись, також потрібно ввести робочу температуру і натиснути кнопку для розміщення елемента. Якщо нам більше не треба елементів на платі, тоді на цьому робота з підсистемою закінчується. В іншому ж випадку переходимо знову до вибору та розміщення елементів.

Якщо при розміщення двох елементів, що сильно нагріваються поруч, тоді система видасть попередження, що ці елементи краще розмістити на більшій відстані один від одного. Тоді користувач може ввести нові координати та відсунути елемент далі. Так він може бути впевненим, що його схема буде працювати справно, після розміщення усіх потрібних елементів.

Коли всі елементи розташовано на платі, користувач, за допомогою системи SolidWorks може побачити як це все буде виглядати завдяки реалістичному 3D відображенню плати з елементами.

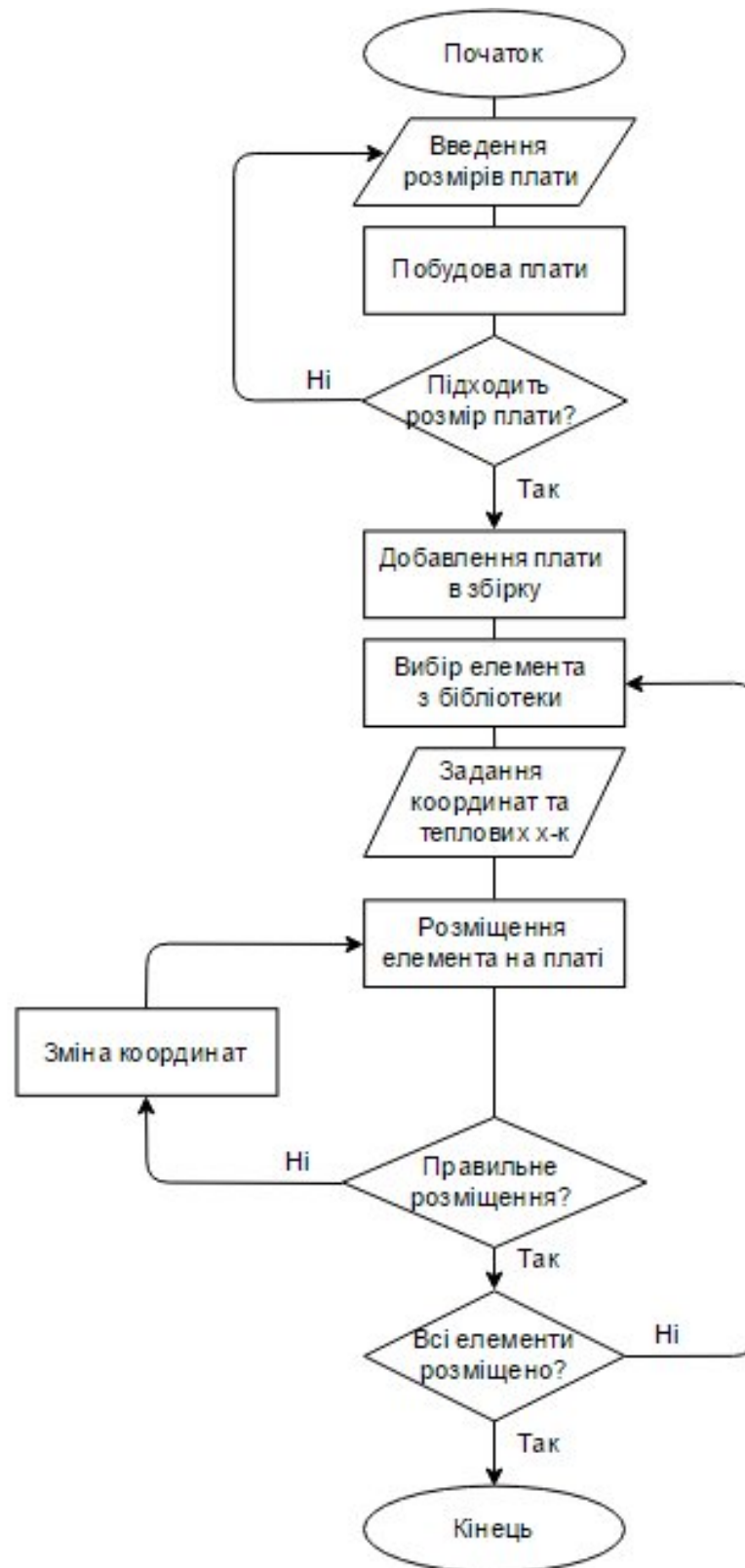


Рис. 3.1. Представлення алгоритму роботу підсистеми.

Для того, щоб почати роботу з підсистемою, користувачу необхідно мати встановлену програму SolidWorks. Підсистема йде як додаток до неї, тому що нам необхідно візуалізувати плату та розміщені на ній елементи.

Спочатку запускаємо підсистему та бачимо наступний інтерфейс (рис.3.2.).

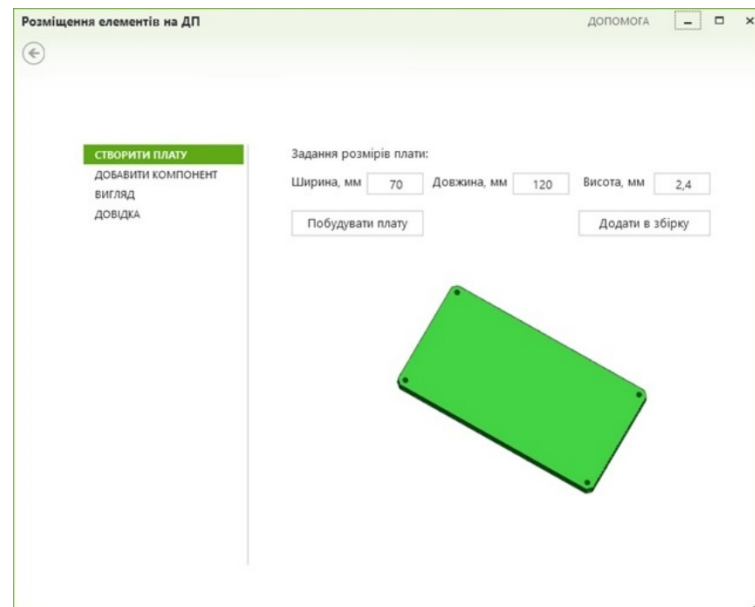


Рис. 3.2. Сторінка "Створити плату".

Зверху вікна програми можна побачити назву підсистеми; зліва кнопки навігації для перемикавання між сторінками: "Створити папку", "Добавити компонент", "Вигляд", "Довідка". Справа відображається сторінка, відповідно до того, на яку кнопку натиснув користувач.

Першою відкривається сторінка, що належить до кнопки "Створити плату". Там задаються вхідні дані плати, необхідні для її створення. Можна залишити дефолтові параметри: ширина – 70 мм, довжина – 120 мм та висота – 2,4 мм, а також можна задати свої значення.

Назва другої сторінки говорить сама за себе. Ми бачимо, що там є необхідні поля для того, щоб розмістити елемент на друкованій платі, попередньо вибравши його із бібліотеки компонентів (рис. 3.3.). Можна задати координати, де необхідно розташувати елемент. За замовчуванням буде вказано допустиму граничну температуру елемента (температура, при якій елемент працює без дефектів) та потрібно задати робочу температуру.

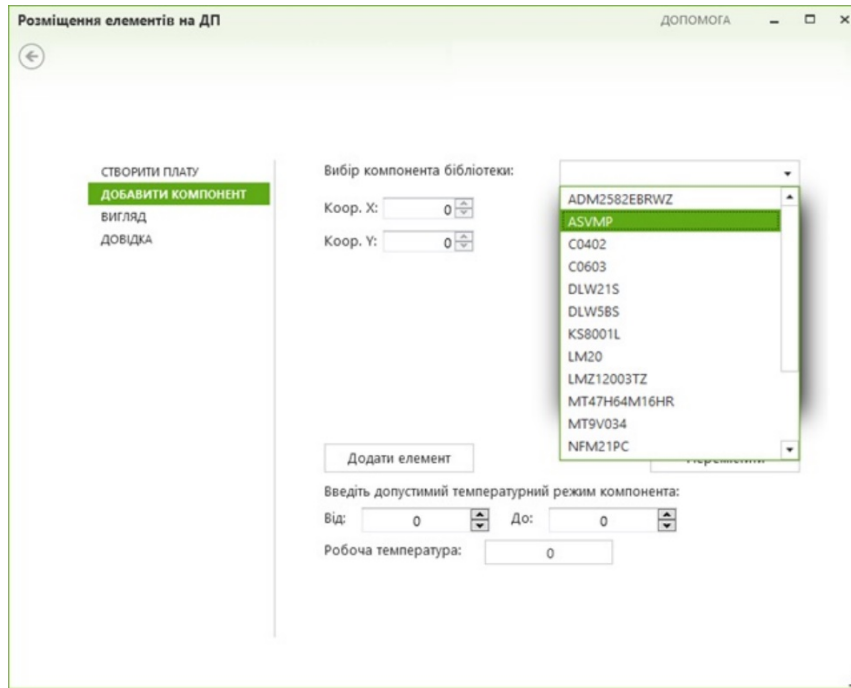


Рис. 3.3. Сторінка "Добавити компонент"

На сторінці "Вигляд" можна змінити кольорову гаму підсистеми, вибрати колір, яким буде підсвічуватись обрана сторінка. Ще можна змінити фон з білого на чорний та зменшити чи збільшити шрифт.

### 3.2.3. Створення друкованої плати

Для того, щоб створити друковану плату необхідно на першій сторінці натиснути кнопку "Побудувати плату", коли задано її розміри (рис. 3.4.).

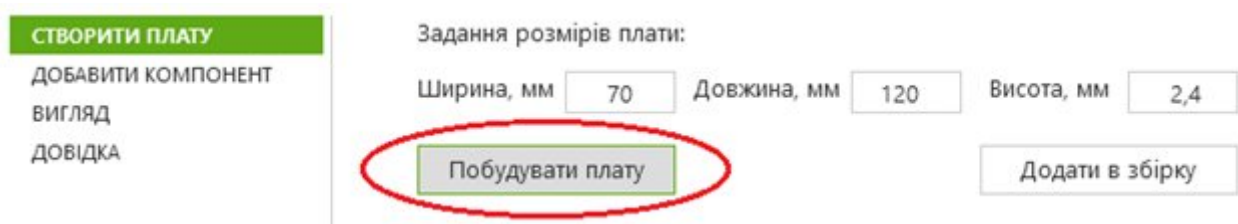


Рис.3.4. Кнопка для побудови плати.

На рисунку 3.5. можна побачити результат виконання програми, що здійснює побудову плати. Розміри взяті за замовчуванням.

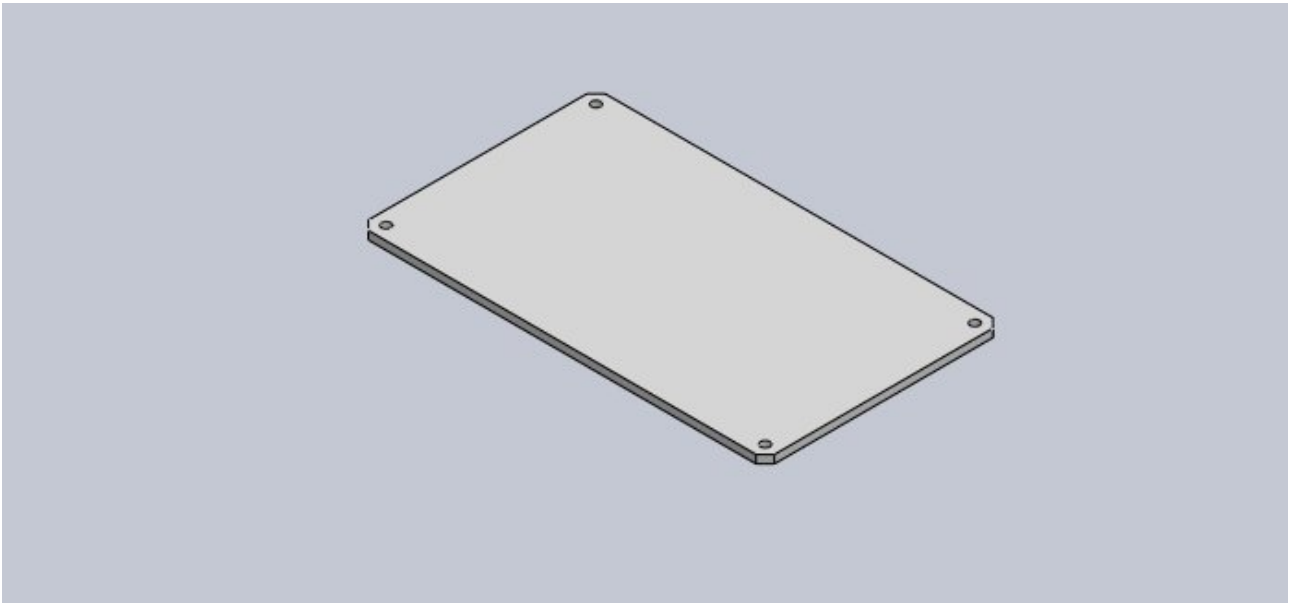


Рис. 3.5. Побудова плати по розмірах за замовчуванням.

Також можна побудувати плату, задавши власні розміри. В даному випадку це 50x50x2 мм. Результат виконання побудови квадратної плати зображено на рисунку 3.6.

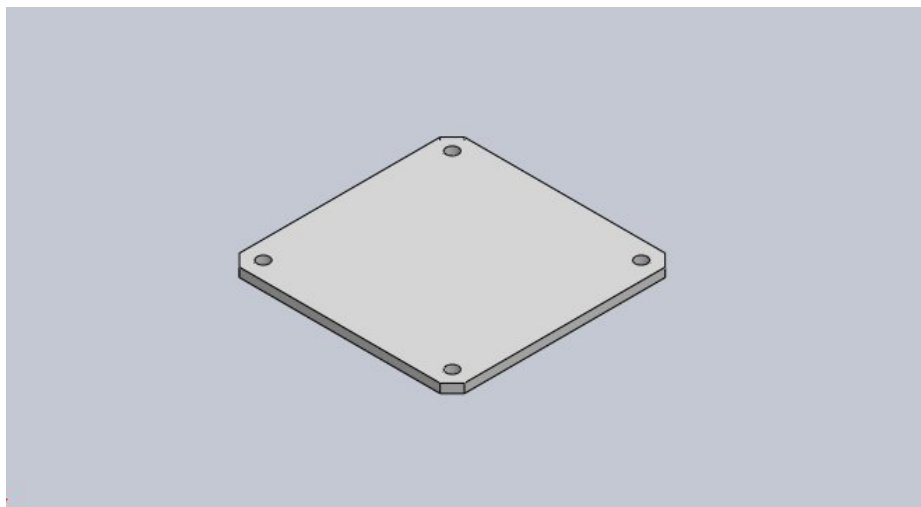


Рис.3.6. Побудова квадратної плати.

Для того, щоб з платою можна було далі працювати, потрібно додати плату у збірку, спеціально призначеною для цього кнопкою (рис. 3.7). Після цього переходимо до процесу розміщення елементів на платі.

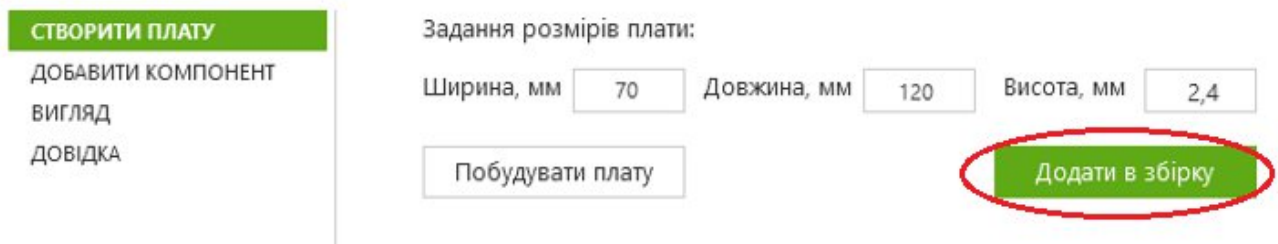


Рис. 3.7. Кнопка для добавлення плати в збірку.

### 3.2.4. Розміщення елементів на платі

Після створення друкованої плати та добавлення її у збірку можна почати розстановку елементів на ній.

Переходимо на наступну сторінку "Добавити компонент" та вибираємо із бібліотеки потрібний елемент (рис. 3.8.).

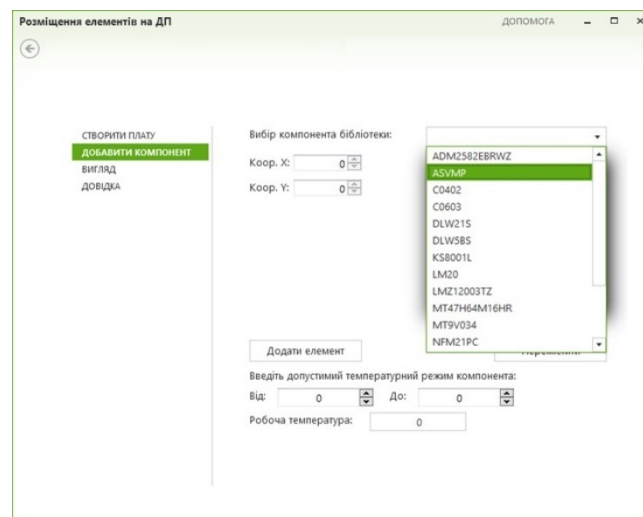
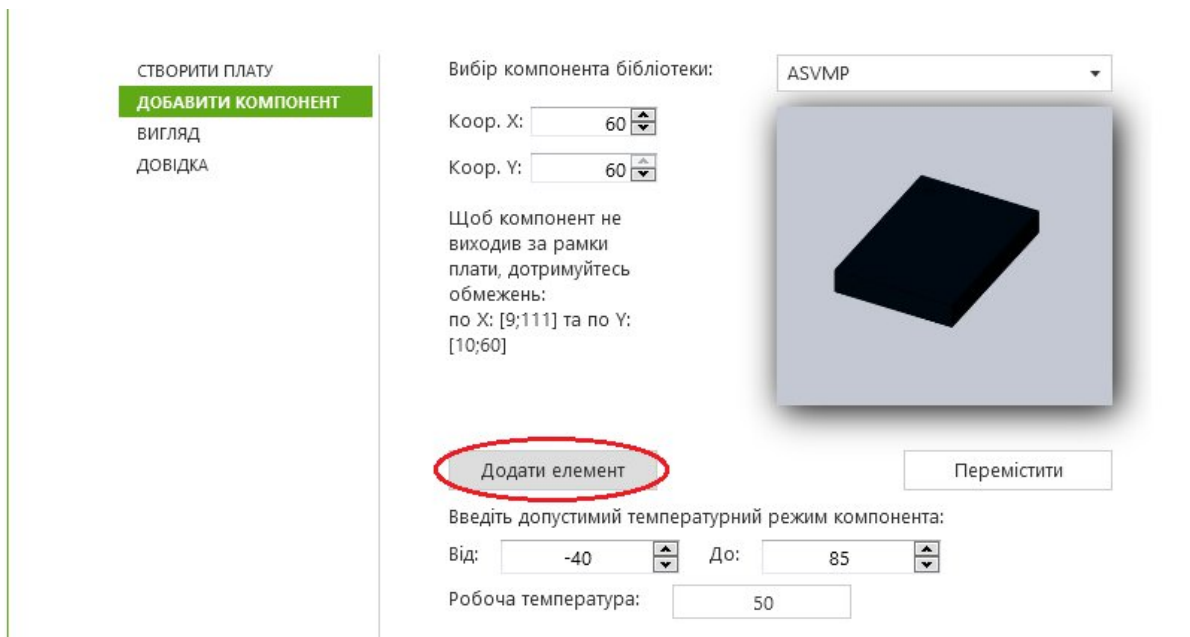


Рис. 3.8. Вибір компонента із бібліотеки.

Коли компонент обрано, можна побачити, що деякі параметри задані по замовчуванню (рис. 3.9.). Це координати по осі X та осі Y. Звичайно, їх можна змінити. Трохи нижче бачимо підказку, яка допомагає розмістити елемент так, щоб не виходити за межі плати. Також справа, під назвою елемента, з'являється фотографія самого елемента.

Внизу задана гранична допустима температура елемента, не виходячи за межі якої, елемент буде працювати як належне, без перебоїв. Користувач повинен ввести робочу температуру елемента, щоб потім можна було порівняти

її з температурою сусіднього елемента та вирішити, чи можуть елементи знаходитись поруч.



СТВОРИТИ ПЛАТУ  
ДОБАВИТИ КОМПОНЕНТ  
ВИГЛЯД  
ДОВІДКА

Вибір компонента бібліотеки: ASVMP

Коор. X: 60  
Коор. Y: 60

Щоб компонент не виходив за рамки плати, дотримуйтесь обмежень:  
по X: [9;111] та по Y: [10;60]

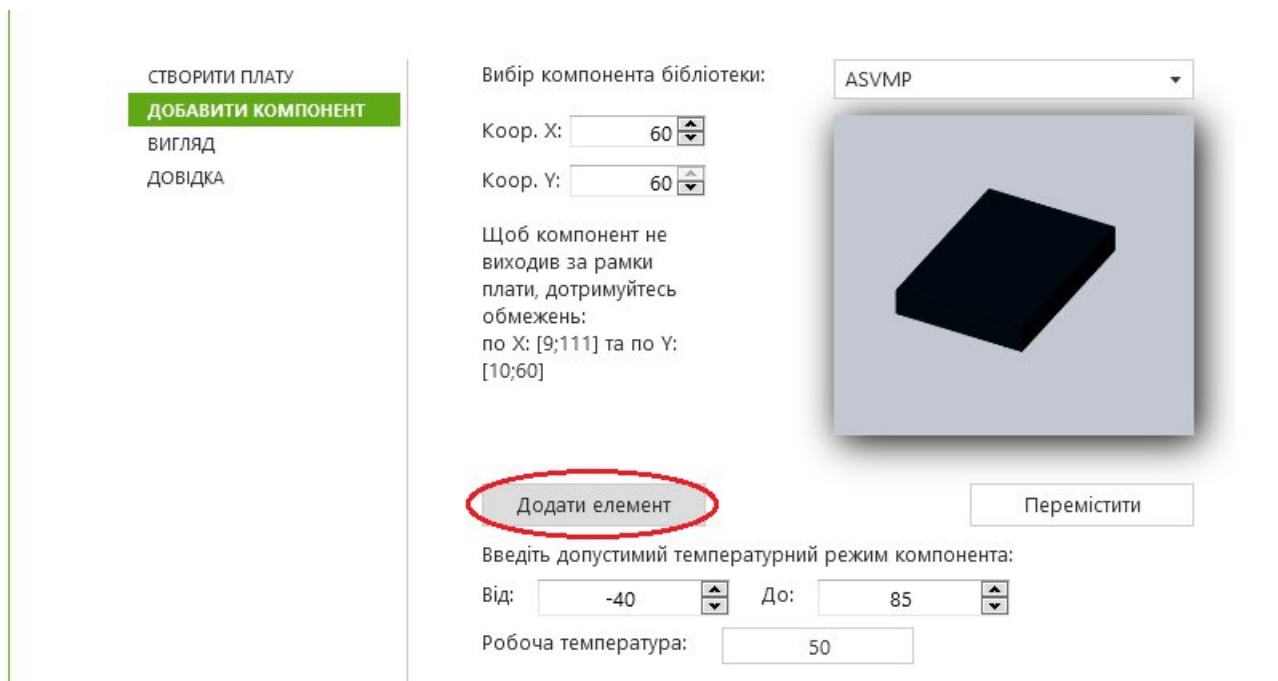
Додати елемент

Перемістити

Введіть допустимий температурний режим компонента:  
Від: -40 До: 85  
Робоча температура: 50

Рис. 3.9. Вибраний компонент ASVMP.

Коли координати центру елемента встановлено та задано робочу температуру елемента, потрібно натиснути на кнопку "Додати елемент" (рис. 3.10.).



СТВОРИТИ ПЛАТУ  
ДОБАВИТИ КОМПОНЕНТ  
ВИГЛЯД  
ДОВІДКА

Вибір компонента бібліотеки: ASVMP

Коор. X: 60  
Коор. Y: 60

Щоб компонент не виходив за рамки плати, дотримуйтесь обмежень:  
по X: [9;111] та по Y: [10;60]

Додати елемент

Перемістити

Введіть допустимий температурний режим компонента:  
Від: -40 До: 85  
Робоча температура: 50

Рис. 3.10. Кнопка для добавлення елемента на плату.

На рисунку нижче (рис.3.11) можна побачити, що елемент розмістився на платі.

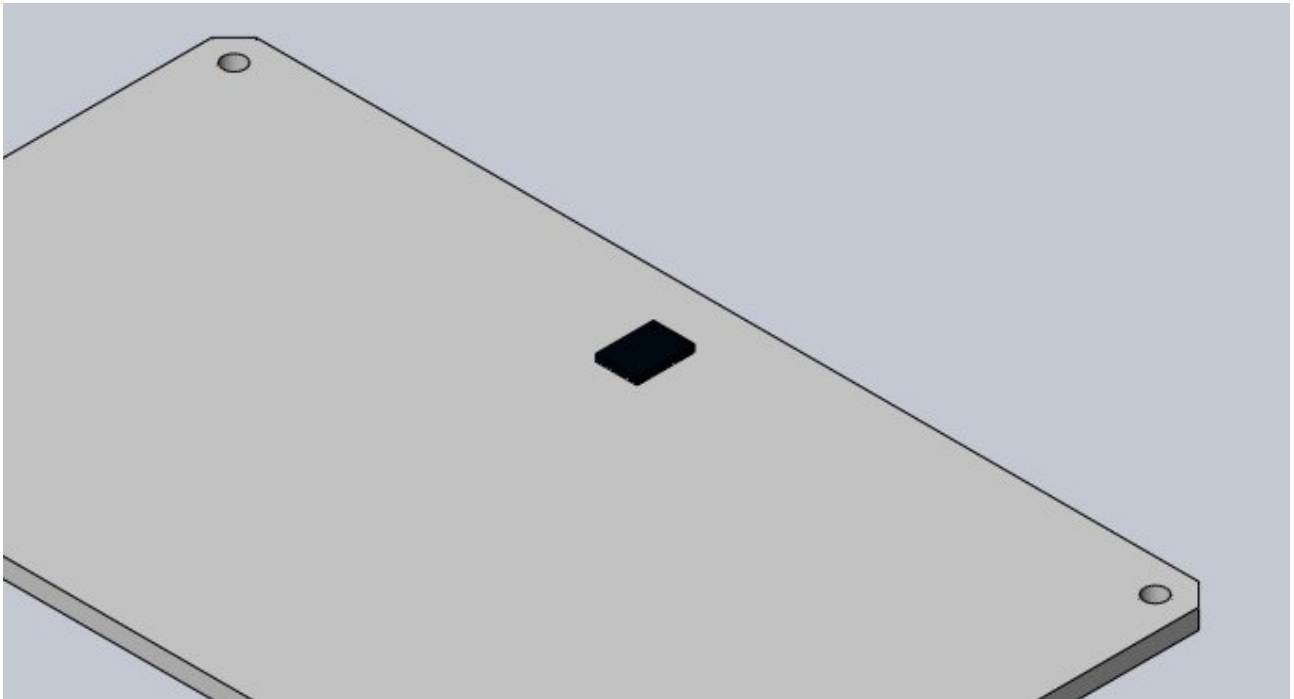


Рис. 3.11. Елемент ASVMP розміщено на платі.

Тепер поспробуємо розмістити поруч інший елемент, який буде сильно нагріватись (рис. 3.12).

Тоді з'явиться повідомлення, що не можна дані два елемента розміщати поруч і їх необхідно розсунути. Повідомлення з попередженням зображено на рисунку 3.13.

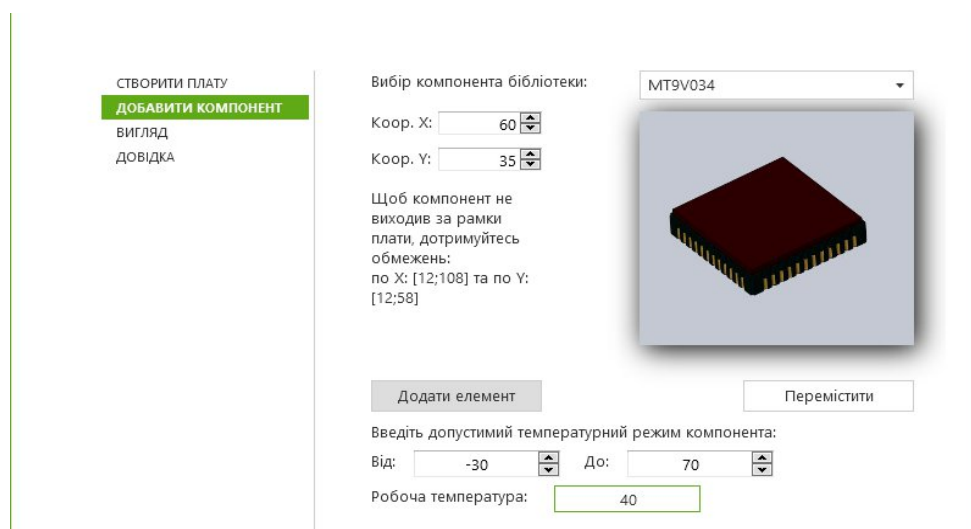


Рис. 3.12. Вибір іншого компонента з бібліотеки.

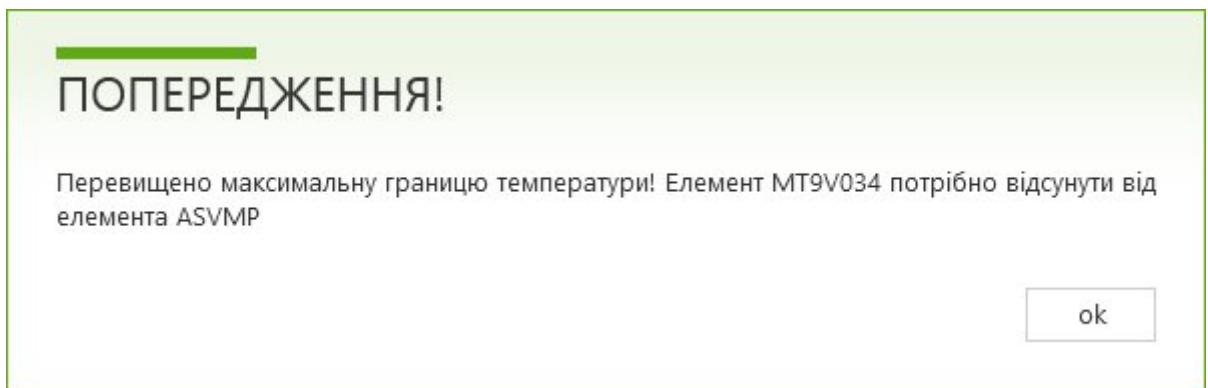


Рис. 3.13. Повідомлення про неправильне розміщення елемента.

Після зміни координат елемента бачимо, що тепер він розміщений на платі, але вже далше від першого елемента, щоб не перешкоджати роботі один одного (рис. 3.14.).

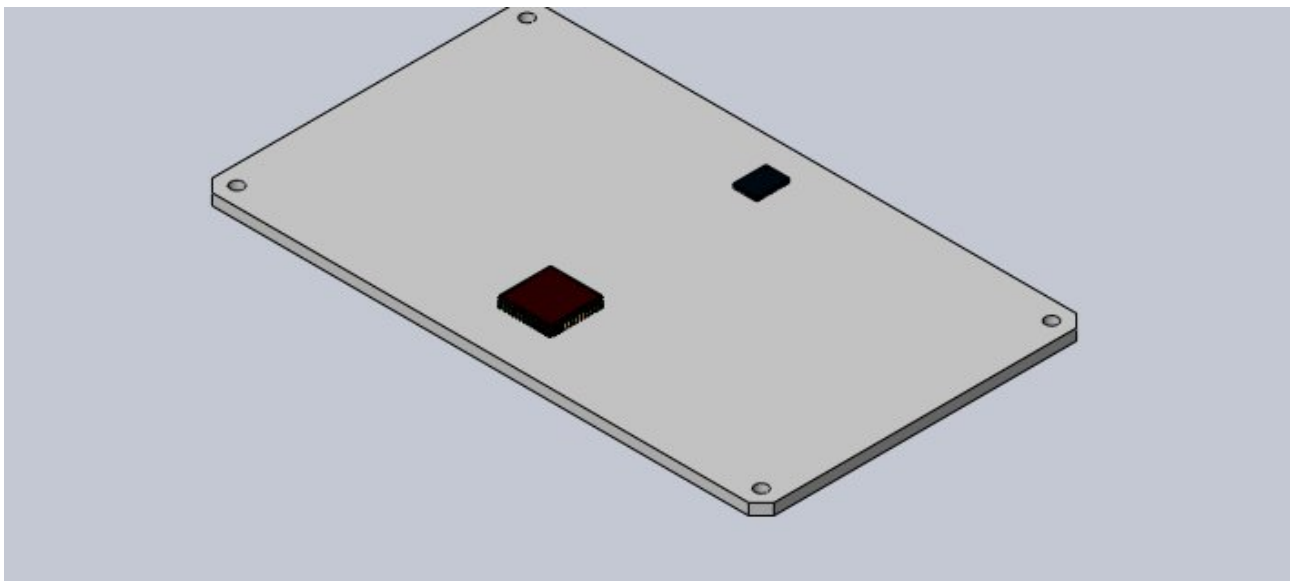


Рис. 3.14. Правильне розміщення другого елемента.

Якщо ми вже розмістили елемент правильно відносно його теплової характеристики, але нам хочеться змінити його положення знову, для цього є кнопка "Перемістити" (рис. 3.17), результат виконання якої можна побачити на рисунку 3.18.

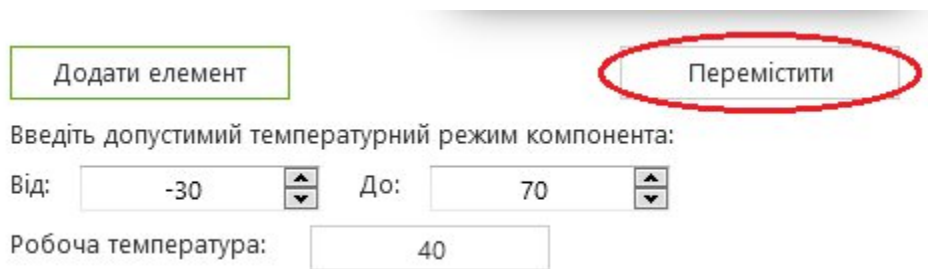


Рис. 3.17. Кнопка для переміщення елемента на платі.

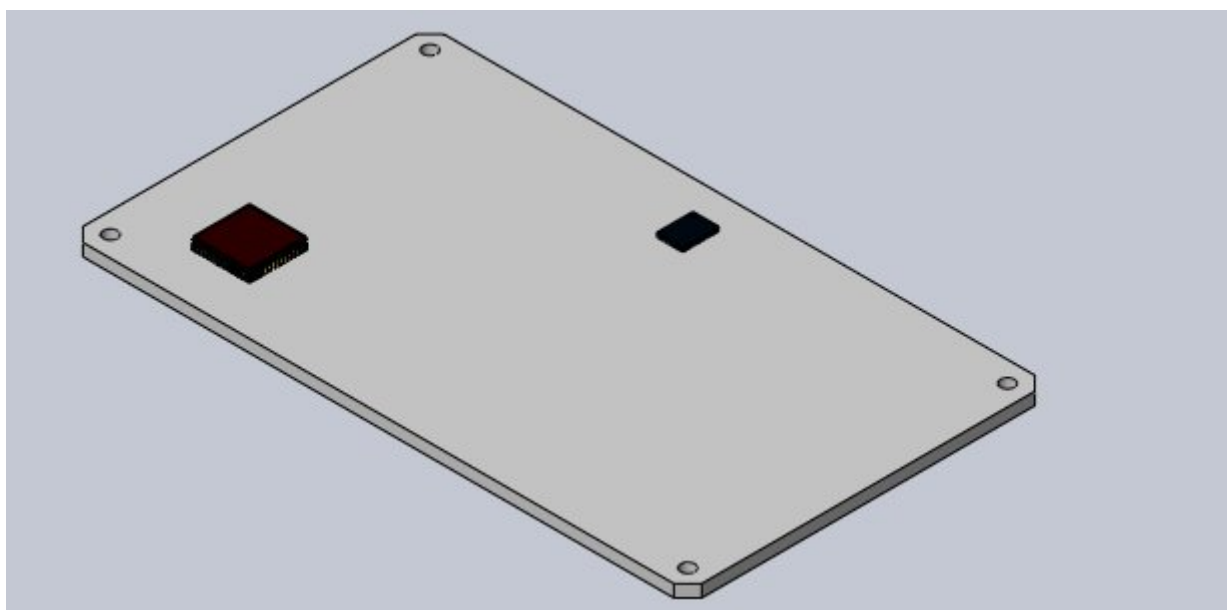


Рис. 3.18. Переміщення елемента.

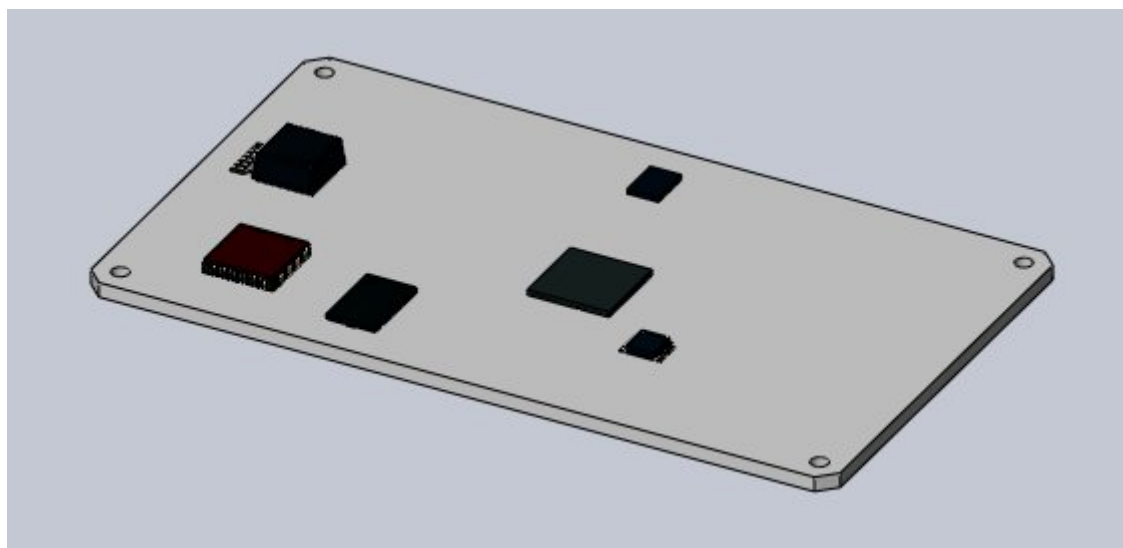


Рис. 3.19. Елементи, розміщені на платі.

### **3.3. Висновок до розділу 3**

У цьому розділі представлено, які середовища були обрані для проектування ДП, автоматизації проектування та для створення інтерфейсу програми. Далше іде детальний опис підсистеми для того, щоб спростити знайомство користувача з нею.

Підсистема допомагає створити плату, розмістити на ній елементи та демонструє це в системі SolidWorks.

## ВИСНОВКИ

Метою цієї кваліфікаційної роботи було дослідження методів і засобів 3D моделювання. Також необхідно було розглянути процес розміщення елементів на друкованих платах.

У процесі виконання цієї роботи було досліджено які є найпопулярніші методи для автоматизації проектування та моделювання, розглянуто процес створення друкованих плат, від створення схеми електричної принципової до процесу трасування.

У світі розвитку ІТ-технологій, стало дедалі поширенішим моделювання об'єктів для подальшого аналізу, можливості перевірити як створена модель буде поводитись в реальних умовах, наскільки міцною є, яку температуру витримає, чи не зламається при ударі чи падінні.

В першому розділі описано об'єкт проектування, розглянуто які програмні засоби та інструменти використовуються для проектування ДП. В другому розділі детальніше описано розробку ДП, тепловий розрахунок, який при цьому використовується. Розглянуто алгоритми та методи, за допомогою яких компоненти розміщуються на ДП. Вказано існуючі системи 3D моделювання. Третій розділ показує можливості програм SolidWorks, Visual Studio, методи та технології, які були використані для створення логіки та інтерфейсу підсистеми. Описано результат створення підсистеми для розміщення елементів на ДП.

Результатом виконання кваліфікаційної роботи стала автоматизована підсистема, що допомагає спростити розміщення компонентів на ДП, які можна вибрати з бібліотеки. Для правильнішого розміщення елементів підсистема враховує не лише те, щоб елемент не вийшов за межі плати, але й його теплові характеристики.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Concepts and terminology used in Printed Circuit Boards (PCB). [Електронний ресурс] - Режим доступу: URL: <http://www.pcb.electrosoft-engineering.com/04-articles-custom-system-design-and-pcb/01-printed-circuit-board-concepts/printed-circuit-board-pcb-concepts.html>
2. PCB Fabrication Data, Karel Tavernier, 2015
3. В.А. Овчинников, А.Н. Васильєв, В.В. Лебедєв Проектування друкованих плат. Навчальний посібник. Видання перше. Тверь 2005.
4. Високоякісне автоматичне трасування. [Електронний ресурс] - Режим доступу: URL: <http://eda.eremex.ru/products/topor/competitiveadvantages/autorouting.html>
5. Конструювання друкованих плат. [Електронний ресурс] - Режим доступу: URL: <http://opticstoday.com/katalog-statej/stati-na-ukrainskom/konstruyuvannya/konstruyuvannya-drukovanix-plat.html>
6. FlorensWasser, NormanHendrich, DanielAhlers, JianweiZhang Topology-aware routing of 3D-printed circuits Additive Manufacturing Volume 36, December 2020, 101523 <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101523>
7. A.H. Espera, J.R.C. Dizon, Q. Chen, R.C. Advincula, 3D-printing and advanced manufacturing for electronics, Prog. Addit. Manuf. (2019) 245–267, <https://doi.org/10.1007/s40964-019-00077-7>.
8. Nevliudov, I., Razumov-Fryzyuk, E., Nikitin, D., Bliznyuk, D., Strelets, R. (2021), "Technology for creating the topology of printed circuit boards using polymer 3D masks", Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, No. 1 (15),P. 120–131. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2021.15.120>
9. Trochimczuk R., A. Łukaszewicz, M. Melnyk, A. Kernytskyy Design of mechatronics systems using CAx environment /. Methods and tools in CAD. – Białystok: Publishing House of Białystok University of Technology, 2021. 7-14. DOI:10.24427/978-83-66391-87-1\_01

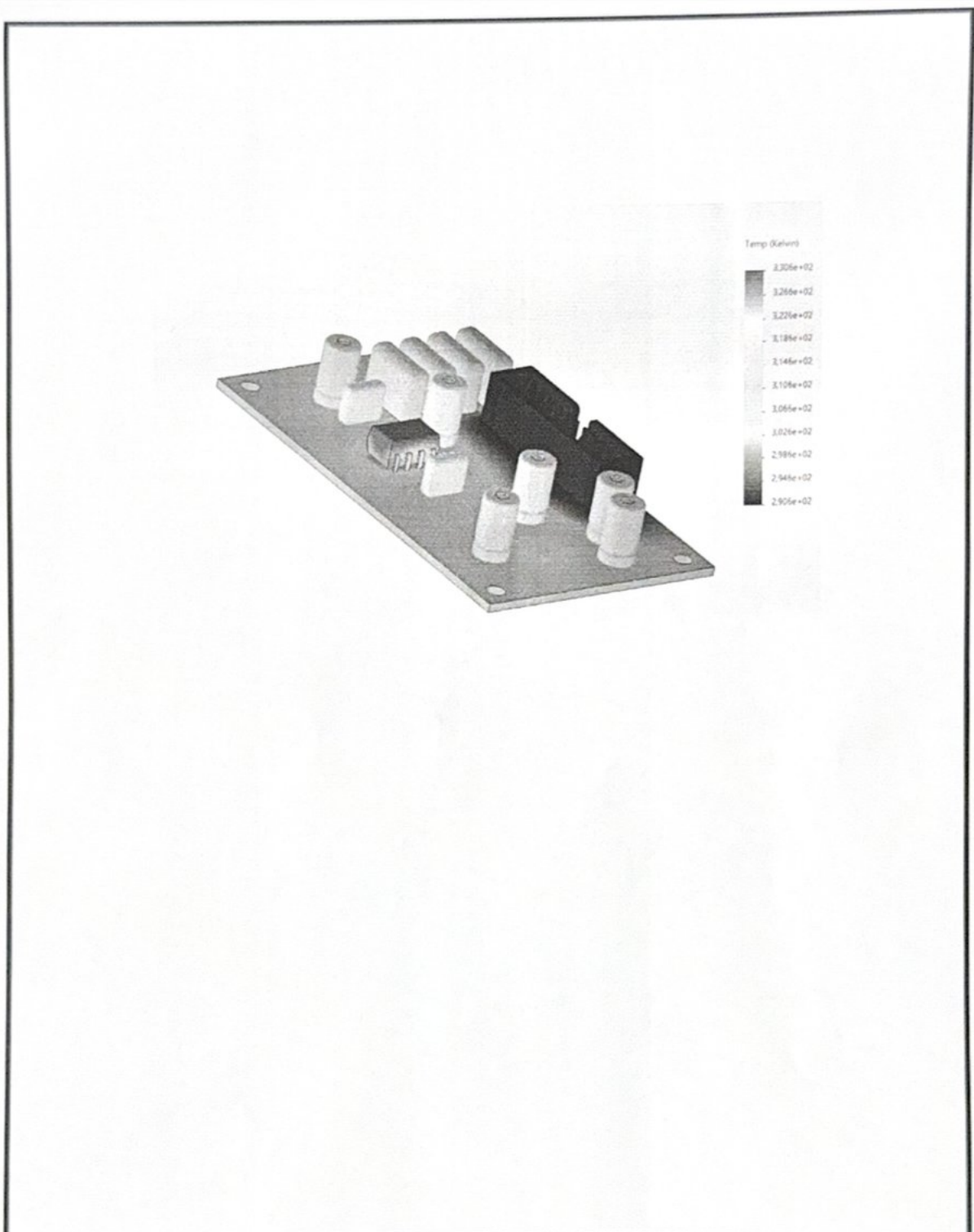
10. A. Łukaszewicz, G. Skorulski, R. Szczebiot, The main aspects of training in the field of computer-aided techniques (CAx) in mechanical engineering, Proceedings of 17th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development, May 23-25, 2018, Jelgava, Latvia, 865-870. DOI: 10.22616/ERDev2018.17.N493
11. Kusiak A. Smart manufacturing. *Int J of Prod Res* 2018; 56(1-2): 508–517.
12. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1351644>
13. N. Evstatieva and B. Evstatiev, "Modelling the Temperature Conditions of a Printed Circuit Board," 2021 12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/ATEE52255.2021.9425281.
14. N. Vakrilov, A. Stoyanova and B. Bonev, "3D Thermal Modelling and Verification of Power Electronic Modules", 42nd International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), 2019 DOI:10.1109/ISSE.2019.8810307
15. Umesh Shinde, Rahul Somalwar, Namesh A. Kale, Ashish J Nandeshwa, Antariksh V. Mendh. Short paper on CNC based PCB milling machine considering human safety. *Journal of Research in Engineering and Applied Sciences*. July 2020, 5(3):104-107 DOI:10.46565/jreas.2020.v05i03.005
16. Shilpa, V. Jean, and S. H. Mahmood. "Design and Implementation of Three-Axis Cost Efficient CNC PCB Milling Machine." *International Conference on Recent Trends in Electrical, Control and Communication (RTECC)*. IEEE, 2018 DOI:10.1109/RTECC.2018.8625647
17. Syed Usama BUKHARI, Ioan BONDREA, Remus BRAD Automated PCB Inspection System. *TEM Journal*. Volume 6, Issue 2, May 2017 Pages 380-390, ISSN 2217-8309, DOI: 10.18421/TEM62-25.
18. Kamble, P., Khoje, S., & Lele, J. Implementation of paper PCB using conductive ink 2D plotter. *International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA)*, 2018 DOI:10.1109/ICCUBEA.2018.8697781
19. Abdalla Milad Faraj, Hisham Fathi Ali, Abdussalam Ali Ahmed, Mohammed Khaled Akel. CNC machine for image and PCB layout drawing *Global Journal of*

Engineering and Technology Advances, 2022, 11(02), 013–024.  
<https://doi.org/10.30574/gjeta.2022.11.2.0078>

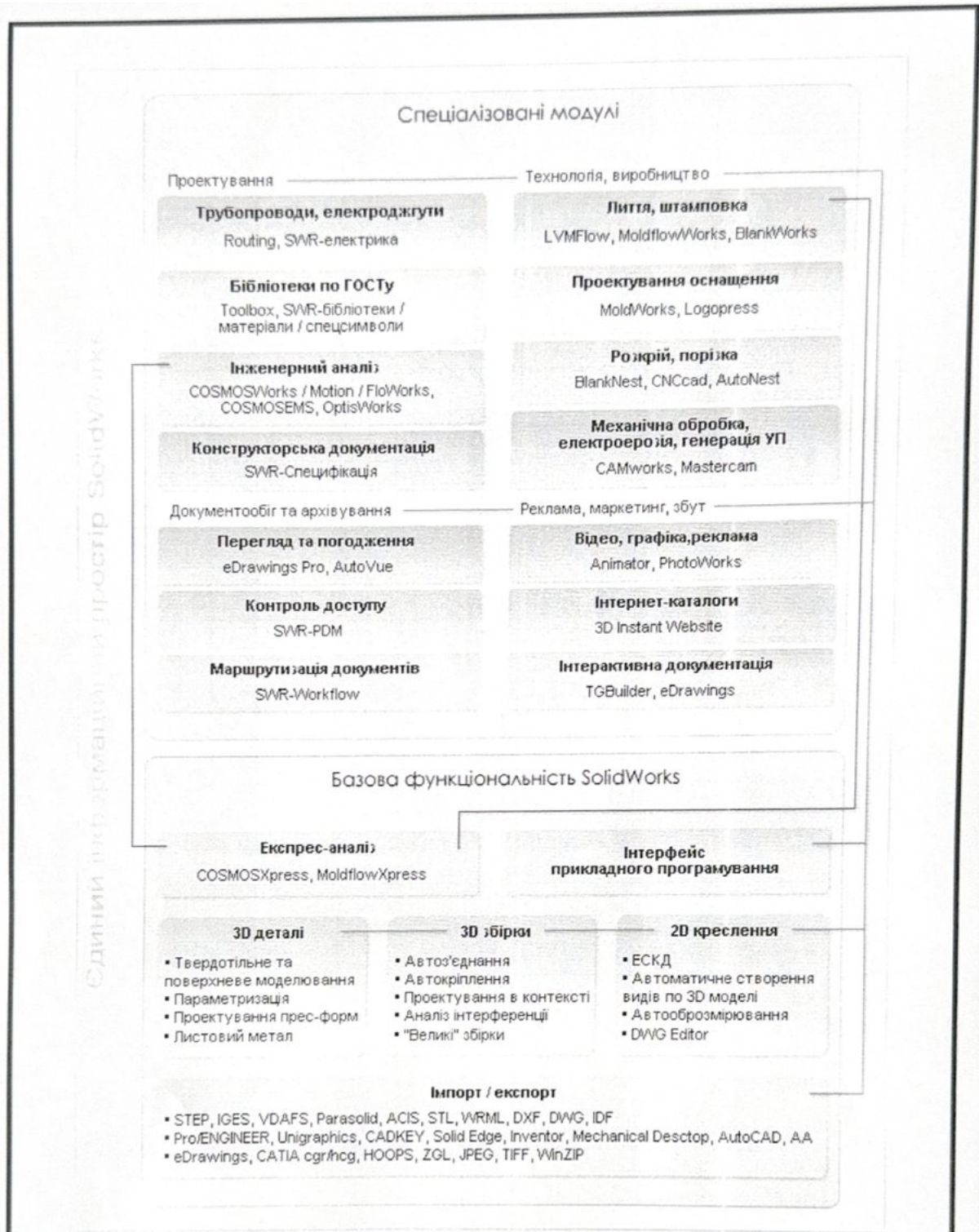
20. Allaparthi, M., Rajik Khan, M., Teja, B., 2018. Three-dimensional finite element dynamic analysis for micro-drilling of multi-layered printed circuit board. Materials Today: Proceedings 5.2, 7019-702  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.365>

21. Lin, D. T., Wang, C. Y., Fu, L. Y., 2019. Cryogenic auxiliary drilling of printed circuit boards. Circuit World 45.4, 279-286.  
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.10.007>

22. Проектування друкованих плат [Електронний ресурс] - Режим доступу:  
URL: <http://refer.in.ua/major/294/175864/>





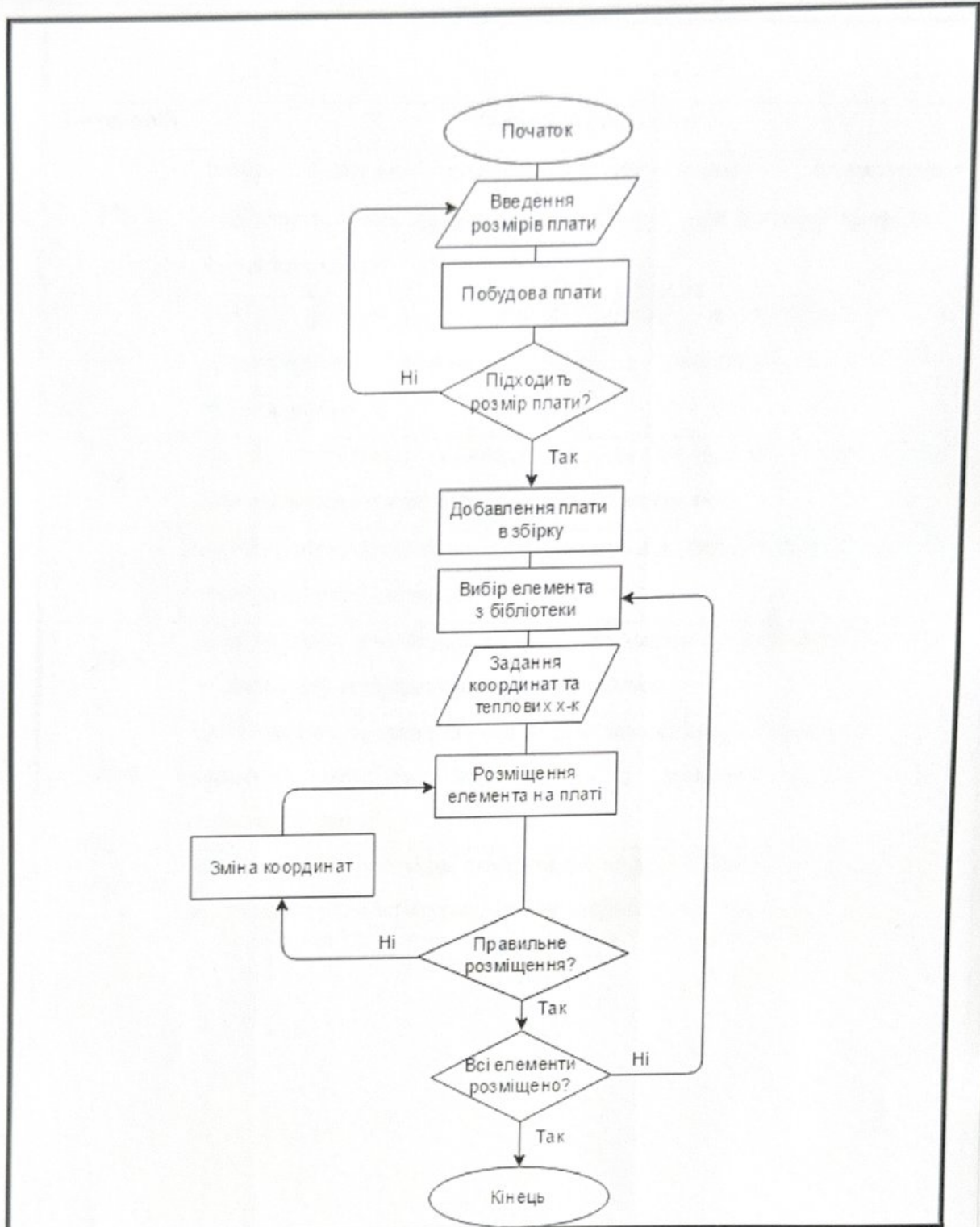
					<b>Бакалаврська робота</b>		
					3D моделювання друкованих плат в САПР		
					Літера	Маса	Масштаб
					Д		
					Аркуш 1		Аркушів 6
					Тепловий аналіз друкованої плати		
					НУ“ЛП” ІКНІ, ст. гр. КН-412		
Зм	Лист	Прізвище	Підпис	Дата			
Дипломн.		Баган О.І.	<i>[Signature]</i>				
Керівник		Колесник К. К.	<i>[Signature]</i>				
Консул.							
Консул.							
Реценз.							
Зав. каф.		Лобур М.В.					



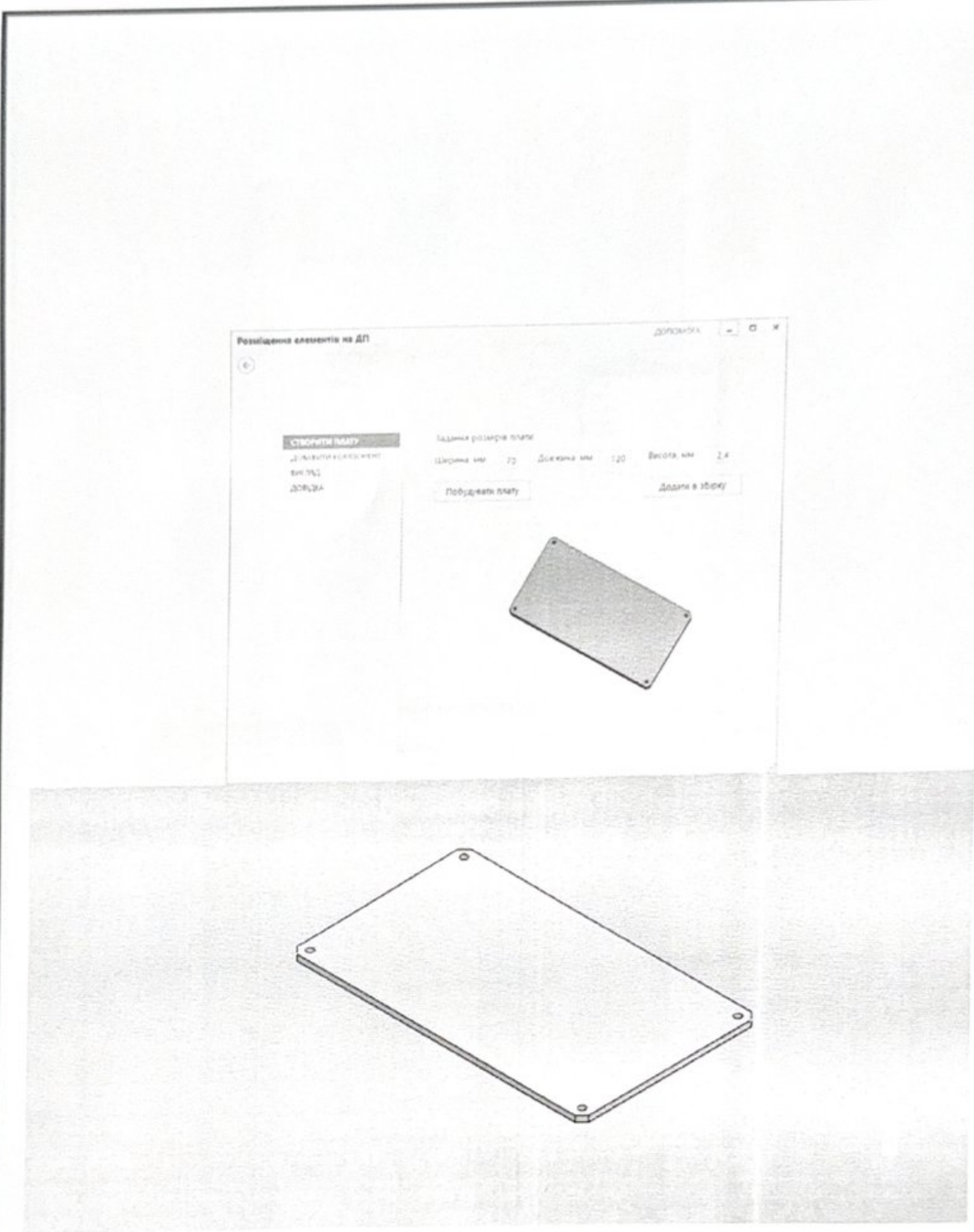
<b>Бакалаврська робота</b>											
Зм	Лист	Прізвище	Підпис	Дата	3D моделювання друкованих плат в САПР	Літера	Маса	Масштаб	Д	Аркуш 2	Аркушів 6
		Баган О.І.									
		Колесник К. К.									
		Консул.			Структурна схема програмного комплексу SolidWorks						
		Консул.									
		Реценз.									
		Зав. каф.	Лобур М.В.								НУ "ЛП" ІКНІ, ст. гр. КН-412

Категорія	Опис компонентів
FR-1	папір, фенольна композиція: пресування і штампування відбувається при кімнатній температурі, має високий коефіцієнт гігроскопічності
FR-2	папір, фенольна композиція: може застосовуватись для односторонніх друкованих плат, з невисоким коефіцієнтом гігроскопічності
FR-3	папір, епоксидна композиція: для розробки з хорошими механічними і електричними характеристиками
FR-4	склотканина, епоксидна композиція: характерні чудові механічні та електричні властивості
FR-5	склотканина, епоксидна композиція: мають високу міцність при підвищених температурах, не загоряються
G10	склотканина, епоксидна композиція: високі ізоляційні властивості, найвища міцність склотканини, з низьким коефіцієнтом гігроскопічності
G11	склотканина, епоксидна композиція: висока міцність на вигин при підвищених температурах, висока опірність розчинників

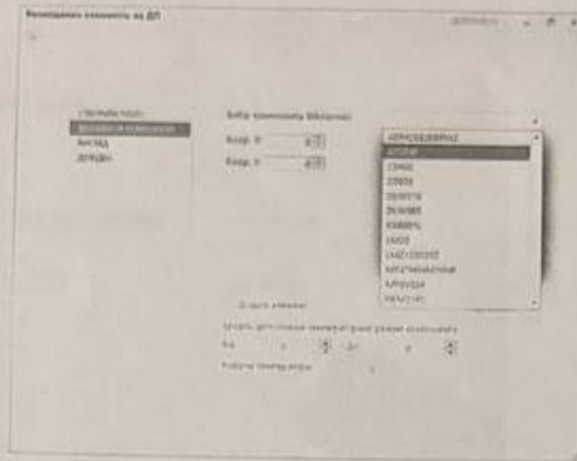
					Бакалаврська робота		
Зм	Лист	Прізвище	Підпис	Дата	3D моделювання друкованих плат в САПР		
Дипломн.		Баган О.І.			Літера	Маса	Масштаб
Керівник		Колесник К. К.			Д		
Консул.					Аркуш 3		Аркушів 6
Консул.					Категорії матеріалів друкованих плат		
Реценз.					НУ"ЛПТ" ІКНІ, ст. гр. КН-412		
Зав. каф.		Лобур М.В.					



					<b>Бакалаврська робота</b>		
					3D моделювання друкованих плат в САПР		
Зм	Лист	Прізвище	Підпис	Дата	Літера	Маса	Масштаб
Дипломн.		Баган О.І.	<i>[Signature]</i>		Д		
Керівник		Колесник К.К.	<i>[Signature]</i>				
Консул.					Аркуш 4	Аркушів 6	
Консул.					НУ"ЛІП" ІКНІ, ст. гр. КН-412		
Реценз.							
Зав. каф.		Лобур М.В.					



					<b>Бакалаврська робота</b>		
					3D моделювання друкованих плат в САПР		
					Літера	Масщ	Масштаб
Зм	Лист	Прізвище	Підпис	Дата	Д		
Дипломн.		Баган О.І.					
Керівник		Колесник К. К.					
Консул.					Аркуш 5	Аркушів 6	
Консул.					НУ"ЛП" ІКНІ, ст. гр. КН-412		
Реценз.							
Зав. каф.		Лобур М.В.					



СТВОРИТИ ПЛАТУ

**ДОБАВИТИ КОМПОНЕНТ**

ВНГЛЯД

ДОВІДКА

Вибір компонента бібліотеки

Коор. X:

Коор. Y:

Щоб компонент не виходив за рамки плати, дотримуйтесь обмежень:  
по X: [9;11] та по Y: [10;60]

ASVMP



Додати елемент

Перемістити

Введіть допустимий температурний режим компонента:

Від:  До:

Робоча температура:

Зм	Лист	Прізвище	Підпис	Дата
Дипломн.		Баган О.І.		
Керівник		Колесник К. К.		
Консул.				
Консул.				
Реценз.				
Зав. каф.		Лобур М.В.		

## Бакалаврська робота

3D моделювання друкованих плат в САПР

Вибір компонента з бібліотеки

Літера	Мас ш	Масштаб
Д		
Аркуш 6		Аркушів 6

ІКНІ, САП  
ст. гр. КН-412